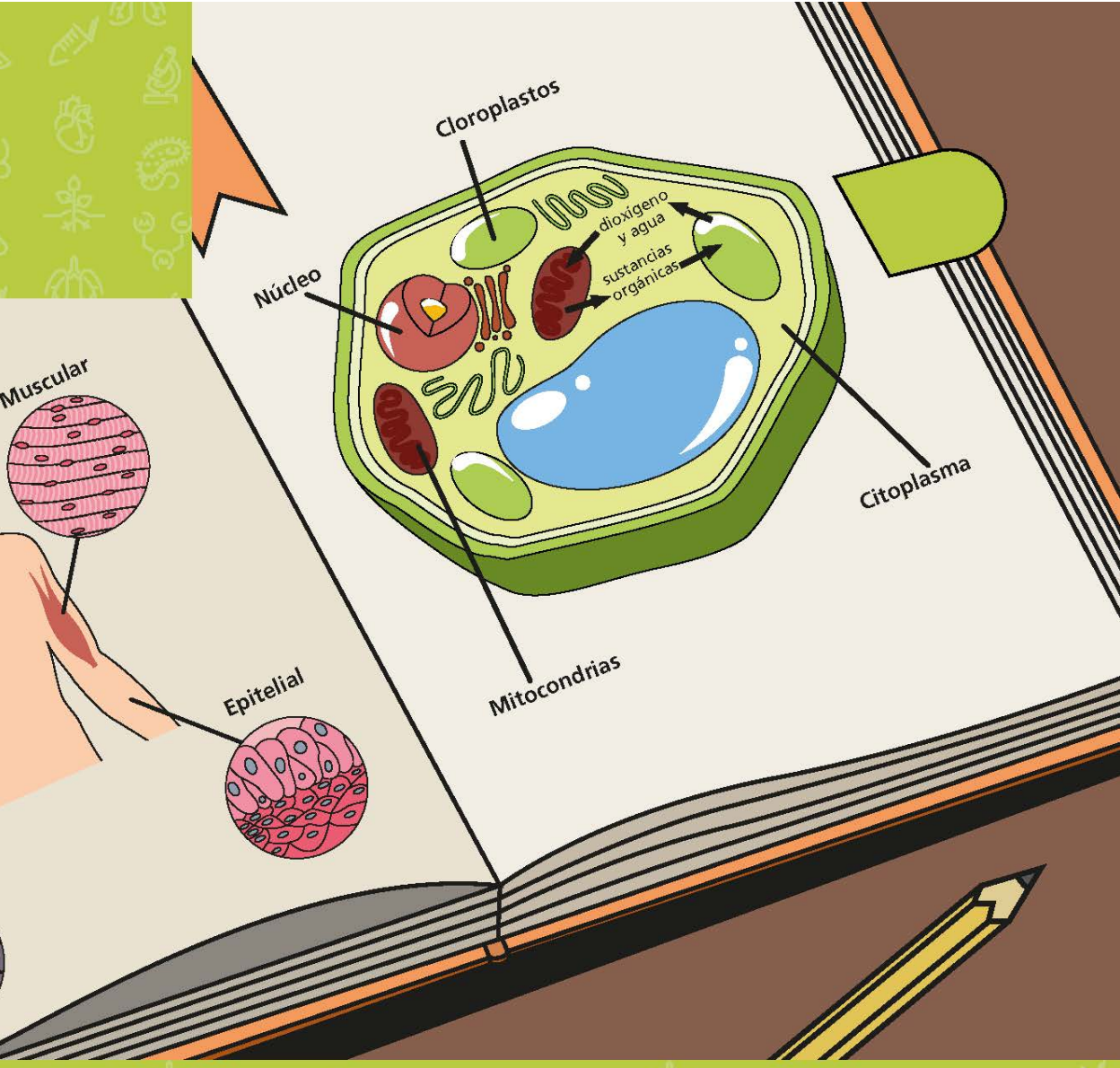


BIOLOGÍA

onceno grado

BIOLOGÍA 5

onceno grado

Dr. C. Luis Roberto Jardinot Mustelier
Dr. C. Raquel Rodríguez Artau
Dr. C. Yolexis Cardona Soberao
M. Sc. Hugo Enrique Hechavarría Durruthy
M. Sc. Lilian Hernández Blanco
M. Sc. José Fundora León

EDITORIAL
PUEBLO Y EDUCACIÓN

Este material forma parte del conjunto de trabajos dirigidos al Tercer Perfeccionamiento Continuo del Sistema Nacional de la Educación General. En su elaboración participaron maestros, metodólogos y especialistas a partir de concepciones teóricas y metodológicas precedentes, adecuadas y enriquecidas en correspondencia con el fin y los objetivos propios de cada nivel educativo, de las exigencias de la sociedad cubana actual y sus perspectivas. Ha sido revisado por la subcomisión responsable de la asignatura perteneciente a la Comisión Nacional Permanente para la revisión de planes, programas y textos de estudio del Instituto Central de Ciencias Pedagógicas del Ministerio de Educación.

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización previa y por escrito de los titulares del ***copyright*** y bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, así como su incorporación a un sistema informático.

Material de distribución gratuita. Prohibida su venta

Colaboradores:

- M. Sc. Vladimir Pérez Padrón ■ M. Sc. María Elena Abreu Borbón ■ M. Sc. María Elena Abreu Borbón ■ M. Sc. Otmara C. Morejón Sánchez ■ Lic. Dionisio Díaz Fis

Edición y corrección:

- Nereyda Contreras Hernández

Diseño de cubierta, ilustración y emplane:

- Instituto Superior de Diseño

Diseño:

- Instituto Superior de Diseño (ISDi):
  Adriana Vigil Hernández ■ Alessandra Fuentes Tiel ■ Jennifer González Espinosa ■ Thalia Ibarra Villavicencio ■ Laura Ramos García ■ Ernesto Alejandro Gilart Ruiz ■ María Fernanda Lemus González ■ Aldahir Santana Guzmán ■ Litsary Zamora Rodríguez ■ Samira González González ■ Marian Ramos Rodríguez ■ Kamila Carpio Crespo ■ DCV María Paula Lista Jorge ■ M. Sc. Maité Fundora Iglesias ■ Dr. C. Ernesto Fernández Sánchez

© Ministerio de Educación, Cuba, 2024

© Editorial Pueblo y Educación, 2024

ISBN 978-959-13-4813-5 (Versión impresa)

ISBN 978-959-13-4814-2 (Versión digital)

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

ÍNDICE

Prólogo.....VII

1 **Introducción a la Biología 5**.....1

1.1 La integridad biótica y el metabolismo son características esenciales de la vida.....1

1.2 Los organismos pluricelulares pueden estar integrados por tejidos, órganos y sistemas de órganos.....6

1.3 La asignatura Biología 5 estudia el mantenimiento y la autoperpetuación de la vida.....12

2 **La autorregulación de los sistemas vivientes en interacción con el medio ambiente**.....17

2.1 La salud y la conservación de los sistemas vivientes dependen del mantenimiento de la homeostasia mediante la autorregulación.....18

2.2 La regulación hormonal participa en la modulación del funcionamiento de los vegetales y animales en interrelación con el ambiente.....25

2.3 La regulación nerviosa da respuestas adaptativas a los estímulos y contribuye a la homeostasia.....47

2.4 La regulación inmunitaria contribuye a la homeostasia, mediante respuestas adaptativas.....68

2.5 La integración neuroinmunoendocrina proporciona mayor eficiencia de la respuesta adaptativa a los cambios ambientales.....85

3 **Las funciones vegetativas y el metabolismo de los sistemas vivientes**.....103

3.1 El mantenimiento de la vida de los organismos depende del metabolismo y de la interrelación entre las funciones vegetativas y el medio ambiente....104
3.2 Los organismos desarrollaron adaptaciones a la nutrición que les permiten obtener los nutrientes y liberar la energía necesaria en el metabolismo....108
3.3 Los organismos obtienen la energía mediante diferentes procesos metabólicos celulares....131
3.4 Los organismos desarrollaron adaptaciones que les permiten la respiración celular....144
3.5 Los organismos desarrollaron adaptaciones que hacen posible el transporte continuo de sustancias en su interior....158
3.6 Las sustancias tóxicas del metabolismo deben ser expulsadas del organismo mediante diversas adaptaciones en la excreción....182
3.7 En el funcionamiento del organismo se integran las funciones vegetativas y la regulación de la homeostasia....190

4 La reproducción de los sistemas vivientes en la perpetuación de la vida....214
4.1 La reproducción permite la perpetuación de la vida....215
4.2 En el ciclo de vida de las células eucariotas ocurren procesos de división por mitosis y meiosis de gran importancia en la reproducción de los organismos....219
4.3 Las diversas formas de reproducción de los organismos han posibilitado su adaptación a las variadas condiciones del medio ambiente....231
4.4 La reproducción y la sexualidad humanas son procesos regulados....248

5 La herencia en los sistemas vivientes....278
5.1 La herencia comprende la estabilidad y el cambio en la información genética de los caracteres durante la reproducción de los organismos....280
5.2 Las leyes de la herencia expresan regularidades acerca de la transmisión de la información genética a la descendencia....281

5.3 Los genes ligados al sexo se localizan en los cromosomas sexuales y se distribuyen a las células hijas durante la meiosis.....311
5.4 La herencia depende del funcionamiento dinámico del genoma en interacción con factores ambientales.....323
5.5 Diferentes factores ambientales también pueden ocasionar variaciones en el material genético y su funcionamiento.....357
5.6 La ingeniería genética ha impuesto nuevos retos y perspectivas a la sociedad.....381

6 Conclusiones.....426
6.1 La unidad y la diversidad en las funciones de los organismos es resultado del proceso evolutivo.....426
6.2 La integridad biótica permite explicar el funcionamiento del organismo en interacción con el medio ambiente.....429

Glosario.....439
Bibliografía.....449

Prólogo

Este libro constituye el texto básico de la asignatura Biología 5, que responde al currículo básico obligatorio para todos los educandos de onceno grado, segundo año del preuniversitario cubano. En él se exponen las concepciones y experiencias aportadas por destacados profesores y metodólogos de la educación preuniversitaria y universitaria cubanas, basadas en otros procesos de perfeccionamiento de los planes de estudio de la Educación General. Es el resultado del trabajo conjunto de los autores, de la cooperación de otros especialistas de la Subcomisión de Biología, adjunta a la Comisión Nacional de Planes y Programas del Instituto Central de Ciencias Pedagógicas, y de otros colaboradores que han aportado valiosas sugerencias al perfeccionamiento del programa de estudio y a la redacción de los capítulos del texto.

En este libro se profundizan y actualizan los contenidos impartidos en otros niveles, a la luz de los avances de las ciencias biológicas hasta inicios del siglo XXI y de los enfoques didácticos actuales, en correspondencia con los logros de la pedagogía cubana, lo que quedó contextualizado en el documento Concepción de la disciplina Biología del subsistema de Educación General.

Su contenido responde a las exigencias de la formación integral del bachiller, plasmadas en los objetivos de la educación preuniversitaria que han sido precisados en el Plan de Estudio, en la tercera etapa de perfeccionamiento del Sistema Nacional de Educación en Cuba.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el libro quedó estructurado en seis capítulos que siguen la lógica deductiva iniciada en décimo grado, con las generalizaciones de esencia acerca de las características de los sistemas vivientes y la alta complejidad en cada uno de los niveles de organización de la vida, que se tratarán con mayor profundidad en el libro de texto de Biología 6 de duodécimo grado. Así, en este grado se estudiarán

el mantenimiento de la compleja organización de los organismos vivos y la dinámica de su funcionamiento interno, en lo que se integran la **autorregulación** y las funciones vegetativas en interrelación con el medio ambiente, a partir de los **procesos** de los niveles celular y molecular implicados en esto, y su perpetuación en el espacio y el tiempo, donde intervienen la reproducción y la herencia.

El capítulo 1 tiene un carácter introductorio para la nivelación de contenidos estudiados en secundaria básica y décimo grado del preuniversitario, que resultan necesarios para la comprensión de las nuevas temáticas a abordar en este grado, por lo que constituye una consolidación de conocimientos importantes como las características de la vida, la relación estructura-**propiedades**-funciones de las células, tejidos y órganos, el origen de la pluricelularidad, la organización estructural y funcional de los organismos y su funcionamiento como un todo centrando el análisis en el organismo vegetal y humano.

El capítulo 2 da inicio al estudio de nuevos contenidos sobre la compleja organización de los organismos vivos y la importancia de la función de autorregulación en el mantenimiento de la homeostasia. El abordaje a estos contenidos se hace, desde las plantas hasta los animales más complejos, con un enfoque integrador y evolutivo, y en estos últimos se define la regulación neuroinmunoendocrina como expresión de la autorregulación. Todo esto permite el estudio de las moléculas, células, tejidos, órganos y sistemas de órganos (regulación hormonal, nerviosa e inmunitaria) con enfoque evolutivo, e insertar la **integridad biótica** en el entramado de niveles de organización de la materia viva, como una generalización esencial, en la formación de la concepción científico-materialista acerca de los sistemas vivientes.

El enfoque ecosistémico de la disciplina, tan necesario en la formación de la conciencia sobre el cuidado del medioambiente, se muestra en las constantes referencias que se hacen a las interacciones del organismo con este.

También se utilizan elementos de la vida cotidiana para estimular la adopción de estilos de vida saludables, útiles en la formación de la cultura general del educando,en aras de mantener la **salud** individual y colectiva.

El capítulo 3 se refiere al estudio de las funciones vegetativas (nutrición, respiración, transporte de **sustancias** y excreción), importantes por

permitir el suministro de los elementos del medio ambiente, necesarios en el metabolismo celular y el mantenimiento de la vida. El análisis de estas funciones se realiza desde un enfoque explicativo integrador, en estrecha relación con la función de autorregulación anteriormente estudiada, con lo que ya se está en condiciones de comprender y explicar, bajo esta misma óptica, los procesos metabólicos celulares de fotosíntesis, fermentación y respiración, en los niveles celular y molecular, y las relaciones estructura-propiedades-funciones que en estos se manifiestan.

En el capítulo 4 se inicia el estudio de la perpetuación mediante la reproducción, como una característica esencial de la vida. Esta función también se aborda desde una perspectiva integradora, profundizándose en el nivel celular, se continúa con el estudio de la relación que se establece entre el organismo y el medio ambiente durante la reproducción, y se expone el impacto del **cambio climático** en dicha función; todo esto con una intención educativa ambientalista que contribuya a formar en los educandos una cultura conservacionista a favor del medio ambiente. Por el vínculo que existe entre la función de reproducción y otras temáticas relacionadas con la salud y la sexualidad, se asocian estos temas, para dar continuidad y desarrollar otros aspectos afines tratados en grados y niveles anteriores.

A partir de conocimientos adquiridos en estos grados anteriores, el capítulo 5 trata la perpetuación de la vida desde la genética, y ubica la herencia en el marco de la función de reproducción, con una lógica de presentación que va del fenómeno a su esencia. Por esta razón este capítulo se inicia con el análisis de los contenidos de la llamada genética clásica a nivel de organismo, más adelante en el estudio del nivel celular, se aborda la teoría cromosómica de la herencia, y se continúa con los procesos que hacen posible este fenómeno en el nivel molecular, en el que se involucran, de manera integrada, una gran diversidad de moléculas. Se expone el vínculo entre los procesos de la herencia, su regulación y el medio ambiente, así como su importancia en el origen de las mutaciones.

En este capítulo se profundiza en los conocimientos introducidos en décimo grado, sobre las innovaciones derivadas de la ingeniería genética y la biotecnología. Al abordarse los contenidos de la genética molecular con un enfoque politécnico, el educando comprenderá los fundamentos de su uso en la medicina, la agricultura, la industria alimentaria, el saneamiento

ambiental, la conservación de la biodiversidad, y otros sectores en los que se emplea esta novedosa tecnología.

En el sexto capítulo, de conclusiones, se retoman generalizaciones esenciales desarrolladas en los capítulos anteriores, como la unidad y diversidad de los organismos con un enfoque evolucionista, y la integridad biótica a nivel de organismo, en interrelación con los demás niveles inferiores y con el medio ambiente.

Cada capítulo contiene los textos básicos de los epígrafes, y las ilustraciones que facilitan su comprensión durante el estudio independiente, que deberá ser la vía fundamental para tus estudios, junto a otros recursos como los ***softwares*** educativos, materiales de internet y la bibliografía complementaria que existe en bibliotecas y otras instituciones de tu comunidad. Además, en diferentes secciones se muestran recuadros con curiosidades, notas históricas, aplicaciones, ayudas, lecturas complementarias y otros aspectos que te serán de gran interés.

Al final de cada epígrafe aparecen ejercicios con diferentes niveles de exigencia, problemas vinculados con la vida y actividades prácticas que desarrollarás en tu autopreparación y en el autocontrol de tu aprendizaje; otras se realizarán en clases, prácticas de laboratorio, áreas exteriores del centro o en la comunidad, lo que te permitirá vincular los contenidos teóricos con la práctica.

Al final del libro se incluye un Glosario con el significado de algunas palabras que pueden ser de difícil comprensión, y que aparecen destacadas en negritas dentro del texto.

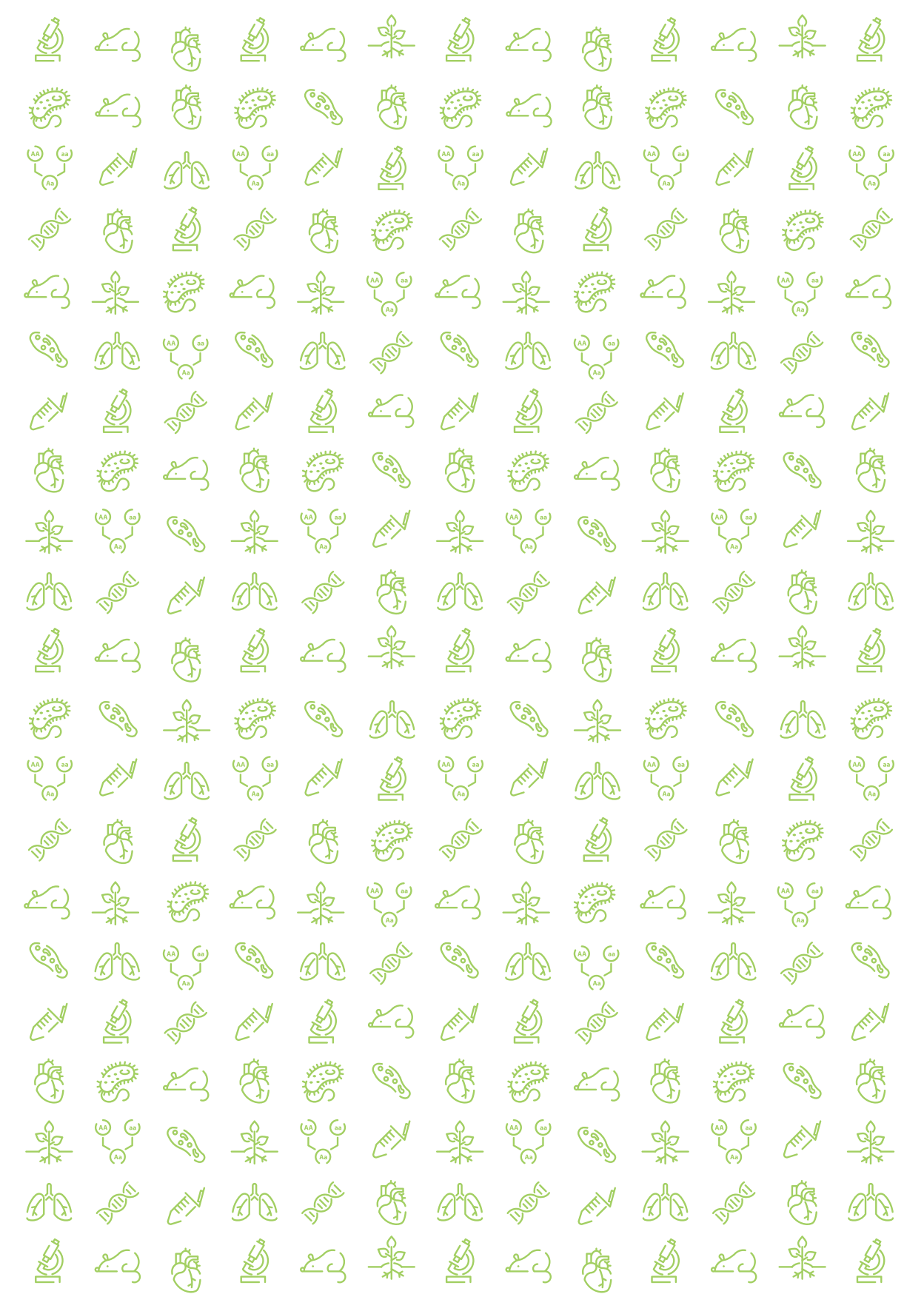
Es necesario que comprendas la necesidad de conservar en buen estado este libro que ha sido escrito, editado, impreso y puesto en tus manos con el esfuerzo de nuestro estado socialista, y que será utilizado por otras generaciones de educandos que te seguirán. Por lo tanto, deberás extremar su cuidado y mantenerlo limpio, forrado, sin anotaciones personales, ni roturas.

Esperamos que sea útil en tu preparación con vistas a futuros estudios universitarios y para la vida; de ser así, estaremos muy satisfechos por haber contribuido a tu formación integral como educando de preuniversitario.

Por último, queremos agradecer la colaboración de muchos profesores y metodólogos del MINED, CINESOFT, la Universidad de Oriente, la Universidad Central Martha Abreu, la Universidad de La Habana, la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, la Universidad de Camagüey, y la Universidad Agraria Fructuoso Rodríguez de Mayabeque, de

los centros experimentales, las direcciones municipales y provinciales de educación y de otras instituciones como la Academia de Ciencias de Cuba, que, partiendo de las experiencias de perfeccionamientos anteriores han realizado valiosos aportes en el diseño del programa y en la confección de esta obra, desde una concepción metodológica de la disciplina.

Los autores



CAPÍTULO 1

Introducción a la Biología 5

En la asignatura Biología 5 continuarás estudiando las características esenciales de la vida en la Tierra que le dan unidad al mundo vivo, como parte de la diversidad en que esta se manifiesta. Estos aprendizajes son muy importantes en tu formación integral como bachiller, pues contribuyen a que desarrolles una concepción científica y moral acerca de los fenómenos bióticos y del comportamiento humano con relación a estos.

Este primer capítulo tiene como finalidad la consolidación de contenidos precedentes, necesarios para comprender los que se introducen, que responden a los objetivos de este grado. Por eso se fundamenta en conceptos y habilidades desarrollados en décimo grado y en la secundaria básica, que deberás retomar al iniciarte en aprendizajes más profundos. Aquí te ofrecemos un resumen de esos contenidos que podrás ampliar en el libro de texto de Biología 4 de décimo grado o en otros que encuentres en la biblioteca, en internet o en los ***softwares*** educativos disponibles en tu institución.

1.1 La integridad biótica y el metabolismo son características esenciales de la vida

Según estudiaste en décimo grado, la vida en nuestro planeta se caracteriza por una serie de cualidades esenciales que te recordamos a continuación:

- Su elevada complejidad, organizada en niveles de jerarquía creciente.
- Integridad en su funcionamiento como un todo.
- Autorregulación de su funcionamiento, mediante la irritabilidad, el metabolismo y la homeostasis, que posibilita el mantenimiento de esta última, en interrelación con el medio ambiente.

- Los organismos vivos se reproducen y desarrollan mediante la transmisión a su descendencia de la información genética que poseen, en interacción con factores ambientales; así logran la perpetuación y evolución a través del tiempo, dando como resultado una extraordinaria diversidad y adaptación a nuevas condiciones ambientales.

En décimo grado estudiaste la alta complejidad de la materia viva en los diferentes niveles de organización, desde las biomoléculas hasta la biosfera y concluiste que es expresión de la integridad biótica, o sea, de las relaciones internas entre los componentes de dicha materia y de estos con el medio ambiente.

Como recordarás, la integridad de la célula se analiza teniendo en cuenta tres elementos:

1. Las relaciones estructura-propiedades-funciones que tienen lugar en cada uno de los componentes celulares: la membrana citoplasmática, el citoplasma (con sus orgánulos, el citoesqueleto y el citosol), y el núcleo, donde está la cromatina, que se transforma en cromosomas durante la división celular.
2. El intercambio constante de materia, energía e información de la célula con su medio ambiente.
3. Las interrelaciones dinámicas que se producen entre todos los componentes celulares, funcionando como un todo íntegro.

La membrana citoplasmática es una bicapa lipídica fluida en la que las proteínas se encuentran inmersas en diverso grado. Tanto los lípidos como las proteínas pueden aparecer unidos a azúcares de manera covalente, al originar los glicolípidos y las glicoproteínas. Los componentes de la membrana se distribuyen asimétricamente en su superficie; esta disposición es la que la hace permeable de forma selectiva a iones y moléculas, y permite el movimiento fluido de sus biomoléculas. Esta membrana también cumple otras funciones como la de delimitación y protección celular, de ser el sitio de intercambio de materiales, energía e información entre el interior de la célula y el medio, la de recepción de señales y emisión de una respuesta específica, y de mantenimiento del equilibrio osmótico entre el medio y el citosol.

Limitado por la membrana plasmática se encuentra el citoplasma, matriz de naturaleza coloidal que contiene diferentes biomoléculas (enzimas, glucosa, **ATP**, aminoácidos, proteínas, lípidos, nucleótidos, entre otras), generadoras de procesos de síntesis y degradación, también orgánulos y

un sistema membranoso en el que tienen lugar estas y otras reacciones bioquímicas; todos estos estrechamente relacionados. Esta constitución bioquímica y biofísica del citoplasma le confiere fluidez, posibilidad de cambios sol-gel, y propiedades catalíticas y anabólicas que constituyen la base de múltiples reacciones de síntesis y degradación de moléculas, en las que se transforma, almacena o libera la energía, y se producen las biomoléculas necesarias en la organización celular.

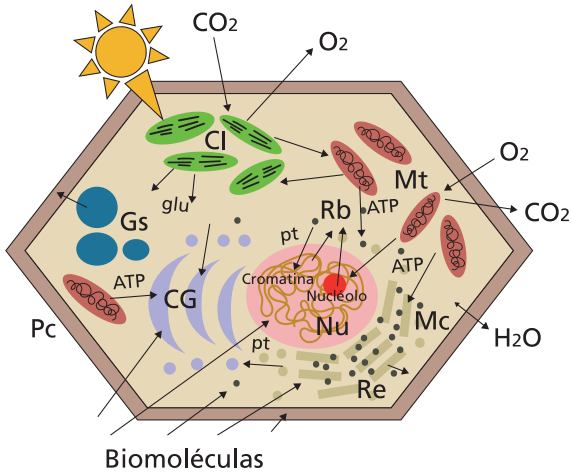
Inmerso en el citoplasma se encuentra el núcleo, envuelto por una doble membrana cubierta de poros nucleares. Contiene en su interior el jugo nuclear y la cromatina, constituida por ADN laxo que se condensa cuando esta se transforma en cromosomas. El núcleo y las biomoléculas que lo constituyen presentan propiedades únicas de gran importancia, como la permeabilidad selectiva y la capacidad anabólica, informativa y moduladora. Estas características develan la importancia de dicho componente celular en la conservación y transmisión de la información genética a las células hijas, constituyendo el centro de la regulación del funcionamiento de la célula, es decir del metabolismo, el intercambio con el medio ambiente, la división y diferenciación celular.

La célula funciona como un sistema abierto, lo que se evidencia en el intercambio de materia, energía (física o química) e información, que establece con el medio ambiente. Este intercambio, expresión de la integridad celular, permite el suministro constante de las sustancias necesarias en el metabolismo celular y la expulsión al medio de los desechos.

Un ejemplo de energía física, es la que proviene de la luz; la energía química la encontramos en los enlaces covalentes de biomoléculas que incorporan las células del medio externo, como la glucosa.

Esta información que recibe la célula del medio en forma de energía física o química, influye en la regulación de sus funciones. La célula recepciona y reacciona ante estímulos físicos (radiaciones lumínicas y caloríficas), estímulos químicos (biomoléculas o moléculas inorgánicas del medio), y también transmite información. Un ejemplo que demuestra que este intercambio de información es otra característica del funcionamiento celular, es la acción de las hormonas, los anticuerpos u otras sustancias portadoras de mensajes químicos, sobre otras células.

Los componentes celulares establecen relaciones estructurales y funcionales que hacen posible el funcionamiento de la célula de manera íntegra. Estas relaciones las puedes apreciar en la figura 1.1.



Leyenda

Gs: gránulo de secreción
Cl: cloroplasto
Pc: pared celular
Rb: ribosoma
Mt: mitocondria
Mc: membrana citoplasmática
Nu: núcleo
Re: retículo endoplasmático
ATP: trifosfato de adenosina
glu: glucosa
pt: proteína

Fig. 1.1 Interacciones entre los componentes de la célula

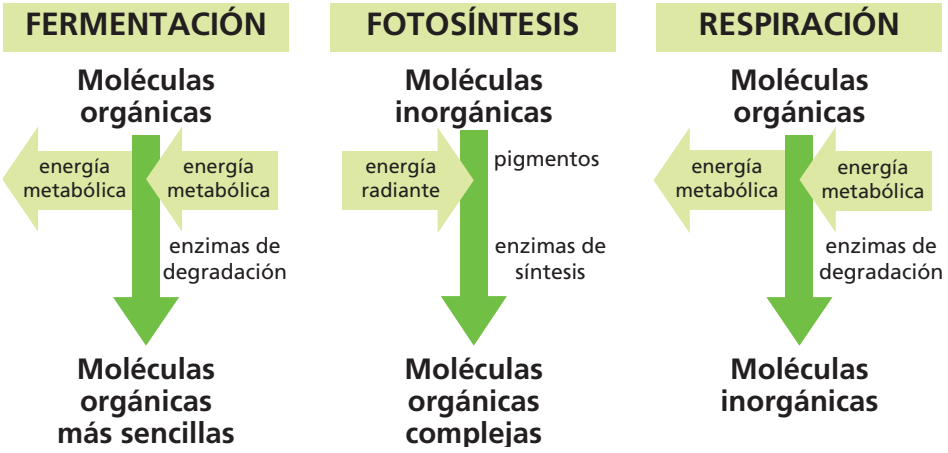
Analicemos ahora la relación entre el núcleo, el citoplasma y la membrana citoplasmática en una célula eucariota. El núcleo, por contener toda la información genética que determina la secuencia de aminoácidos durante la síntesis de proteínas en los ribosomas (situados en el citoplasma o adosados al retículo endoplasmático rugoso), regula todo el funcionamiento celular. Las proteínas que así se sintetizan, participan en el recambio de determinados componentes celulares, como la membrana o los filamentos de la matriz citoplasmática.

Las proteínas con función enzimática participan en la regulación de los procesos metabólicos que ocurren en los diferentes compartimentos del citoplasma, por ejemplo en la respiración celular, que se realiza en la matriz citoplasmática y en las mitocondrias. Estas proteínas catalizan las reacciones catabólicas con liberación de la energía necesaria en la síntesis de proteínas y en otros procesos anabólicos. Durante la ejecución de estos procesos metabólicos es necesario el intercambio a través de la membrana citoplasmática, de sustancias provenientes del medio, como aminoácidos, glucosa, agua, y otros.

El metabolismo es el conjunto de reacciones de síntesis (anabólicas) y degradación (catabólicas) que tienen lugar en la célula durante su funcionamiento. Estas reacciones son catalizadas por enzimas que aceleran su velocidad. Los diferentes componentes celulares (núcleo, orgánulos citoplasmáticos, matriz citoplasmática, membrana citoplasmática) presentan diferente composición

enzimática, de ahí que en cada uno de estos se realicen disímiles reacciones químicas que determinan las diversas funciones de cada uno de estos.

El metabolismo es expresión de la integridad biótica y del dinamismo celular, pues permite el recambio y el mantenimiento de la vida en la célula. Recuerda que el recambio es el proceso de renovación de los componentes moleculares y celulares que ocurre continuamente en las células como resultado de su funcionamiento, en el que intervienen reacciones metabólicas de síntesis y degradación.



Esquema 1.1 Semejanzas y diferencias entre los diferentes procesos metabólicos celulares

Tanto en células procariotas como eucariotas, mediante el catabolismo se transforman las moléculas complejas en otras más sencillas, y se libera la energía que es utilizada en diversos procesos celulares, como el proceso inverso de formación de componentes moleculares de la propia célula a partir de moléculas más sencillas, y en la ejecución de movimientos celulares.

Entre las vías anabólicas o de síntesis y las vías catabólicas o de degradación existe una estrecha relación, en la que los productos de unas pueden ser precursores de otras. Por ejemplo, en las células eucariotas vegetales, el dioxígeno (O_2) liberado en la fotosíntesis que se realiza en los cloroplastos, puede ser liberado a la atmósfera, o ser utilizado en la respiración celular aerobia que tiene lugar en las mitocondrias. Por otra parte, los cloroplastos pueden utilizar el dióxido de carbono (CO_2) que las plantas incorporan de la atmósfera, y el que se libera dentro de la propia célula como resultado de la respiración aerobia (figura 1.2).

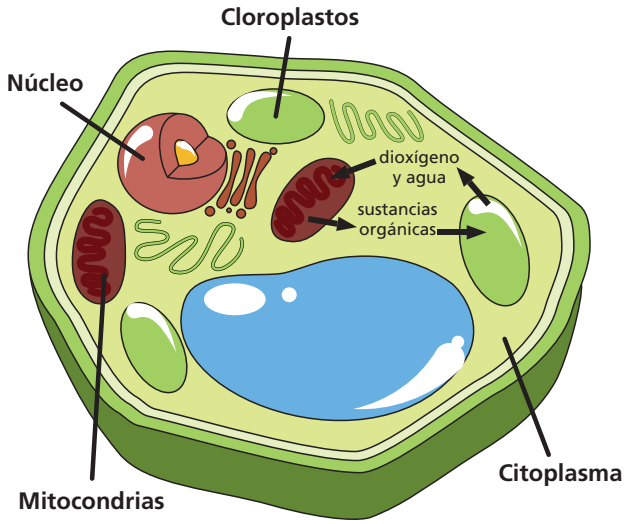


Fig. 1.2 Relación entre la fotosíntesis y la respiración en una célula vegetal

1.2 Los organismos pluricelulares pueden estar integrados por tejidos, órganos y sistemas de órganos

Como recordarás de tus estudios anteriores, las células que forman a los organismos pluricelulares presentan un **patrón** celular eucariota que durante la evolución hizo más complejas su organización, estructura y funciones, a partir de la integración por simbiosis, de diversos organismos unicelulares procariotas. Esta integración entre células, también estuvo presente en el origen de los organismos pluricelulares.

El desarrollo de la pluricelularidad tuvo lugar en el medio acuático, donde habitaban organismos primitivos unicelulares con tendencia a la agrupación por autorganización, propiedad que se ha manifestado desde la formación de las primeras biomoléculas a partir de moléculas inorgánicas.

La teoría colonial del origen de la pluricelularidad postula que a partir de colonias celulares eucariotas, se dio el primer paso a la agrupación de conjuntos celulares con un mayor grado de integración y complejidad. Algunas colonias de células se unían mediante orificios en sus paredes celulares denominadas punteaduras, que les permitían mantener la comunicación intercelular; esto condujo a la formación de organismos de mayor tamaño y organización interna, con un gran número de células fuertemente integradas.

La especialización alcanzada por determinadas células durante la formación de los organismos pluricelulares, las dotó de una complejidad estructural y funcional que les permitió una mejor adaptación a las variaciones del medio ambiente. En el transcurso de miles de años se desarrollaron los llamados pseudotejidos, que solo se dividen en dos dimensiones del espacio; más tarde estos dieron lugar a tejidos verdaderos, al desplazarse el crecimiento, a un ápice vegetativo capaz de dividirse en las tres dimensiones del espacio.

A partir de este importante paso, las células de las plantas y los animales sencillos ganaron en complejidad y grado de diferenciación, y dieron lugar al desarrollo de tejidos y órganos especializados como los que poseen los organismos en la actualidad.

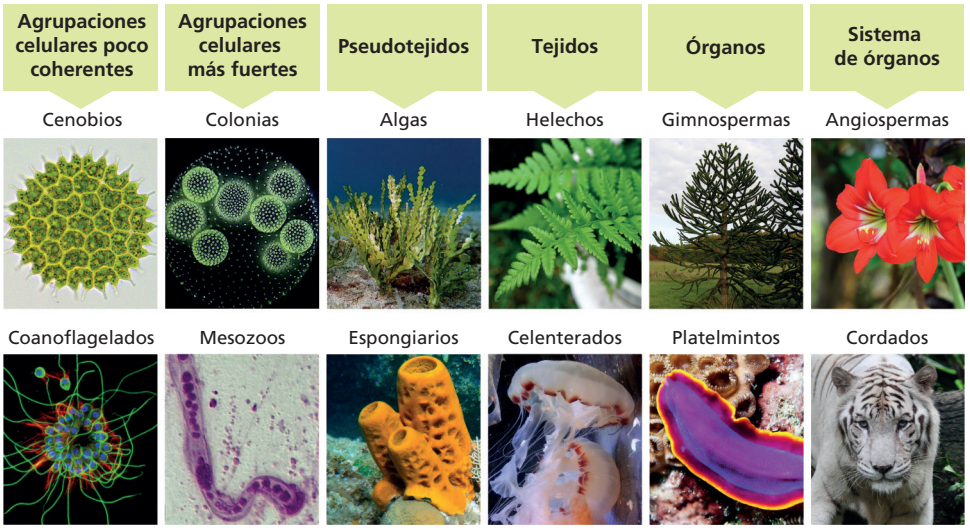


Fig. 1.3 Cambios en la complejidad de la organización celular

Desde el punto de vista ontogenético, un organismo pluricelular es el resultado de la diferenciación celular que ocurre durante el desarrollo embrionario después de la división celular, esta diferenciación incluye las transformaciones estructurales de las células hasta su especialización en diferentes funciones; a partir de esas células especializadas es que se forman los diversos tejidos, órganos y sistemas de órganos.

La diversidad de tejidos, resultante del desarrollo filogenético o del desarrollo ontogenético y con este de la especialización celular, se evidencia al estudiar su composición, estructura y funciones en plantas y animales.

Como sabes, existe una estrecha relación entre estos tres elementos (figuras 1.4 y 1.5).

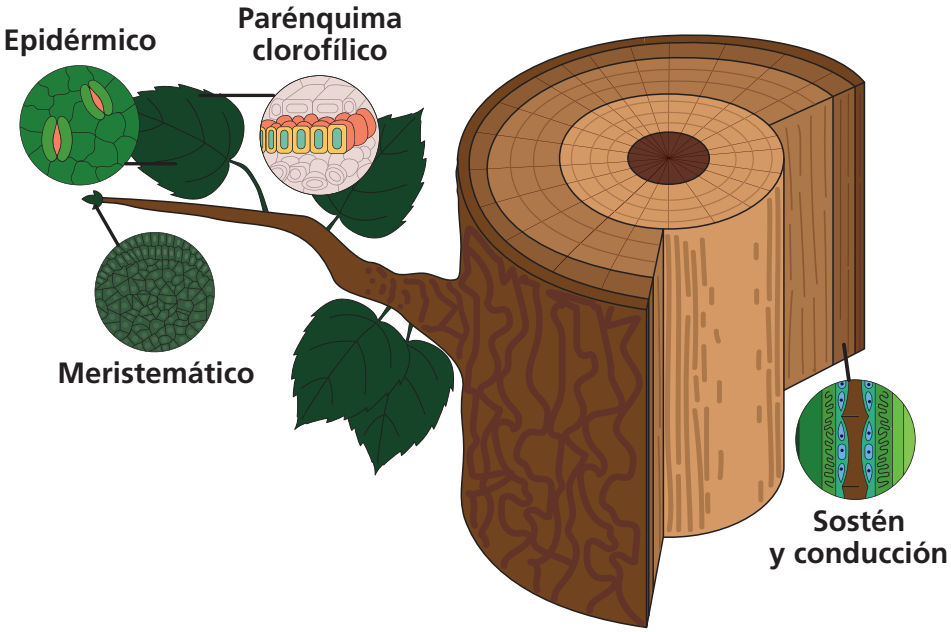


Fig. 1.4 Unidad y diversidad en los tejidos vegetales

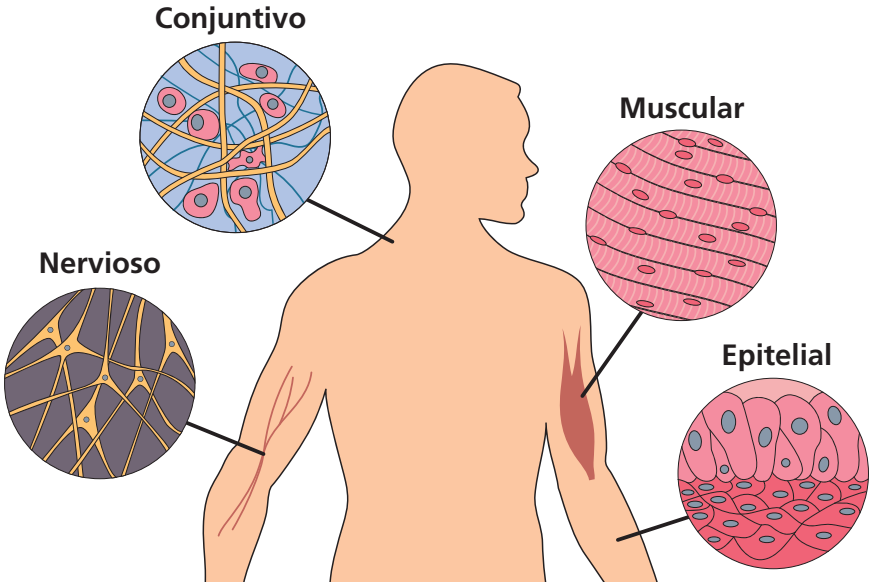


Fig. 1.5 Unidad y diversidad en los tejidos animales

Entre las células que forman un tejido se establecen relaciones de **dependencia** y coordinación, por lo que cada célula depende de la integridad del tejido del cual forma parte. Los tejidos no existen en los organismos pluricelulares de manera aislada, sino que se integran formando órganos. La función de cada órgano depende de la integración de todos los tejidos que lo constituyen, y responde a la del o los tejidos predominantes.

En cada órgano de nuestro cuerpo están presentes los cuatro tejidos básicos: epitelial, muscular, nervioso y conjuntivo, pero en cada uno predomina uno o dos tejidos, en dependencia de la o las funciones principales de dicho órgano. La correspondencia entre estructura y funciones en relación con las características del medio en que se desarrolla el organismo, es la que determina la especialización de un órgano, y le permite también el desarrollo de diversas adaptaciones durante el proceso evolutivo.

La mayoría de las plantas están organizadas estructuralmente en tejidos que interactúan entre sí formando órganos como la raíz, el tallo, las hojas, las flores y los frutos. Algunos biólogos llegan a considerar a las flores y los frutos como sistemas de órganos, dada su compleja organización estructural y funcional.

En los órganos del vegetal, como en todos los componentes de los sistemas bióticos, se evidencia la relación estructura-propiedad-función. La integración de todas las funciones de los diferentes órganos hace posible el funcionamiento del organismo vegetal como un todo, en interrelación con el medio ambiente. Estos contenidos los podrás recordar de tus estudios en sexto y séptimo grados.

La raíz, de forma alargada y ramificada en el sustrato, presenta vasos conductores y parénquima reservante en su interior, y tejido epidérmico con pelos absorbentes en la superficie, que le posibilitan realizar las funciones de absorción, transporte, fijación al suelo y almacenamiento de nutrientes.

El tallo tiene forma alargada y ramificada, y una conformación estructural que le permite realizar las funciones de transporte y sostén: en su interior cuenta con vasos conductores, parénquima reservante, colénquima y esclerénquima; y en la superficie presenta tejido epidérmico suberificado con estomas o lenticelas.

Las hojas son apéndices aplanados y anchos, constituidas en su interior por tejido parénquima clorofílico y conductor en forma de vasos. En su superficie, cuentan con tejido epidérmico con aberturas (estomas) localizados

en el envés; esto les permite realizar las funciones de nutrición e intercambio de gases con el ambiente, necesarios en el metabolismo.

Las flores presentan hojas modificadas con formas y colores llamativos. En su estructura se observan conductos (estigma), un tejido germinativo donde se forman células reproductoras (óvulo y polen) y un peciolo que las sostiene a una rama; todas estas características favorecen su función de reproducción. Los frutos también hacen posible la reproducción del vegetal y están formados por parénquima de reserva, semillas recubiertas por una epidermis, y un peciolo, que al igual que en las flores, los sostiene a una rama.

Estos órganos funcionan en estrecha interacción: las sustancias del suelo absorbidas por las raíces llegan al interior de estas, penetran por los vasos conductores (xilema) y continúan por los vasos del tallo alcanzando las ramas, por donde son conducidas hasta llegar a las hojas; en estas el agua y los minerales participan en el metabolismo, en especial en la fotosíntesis, que tiene lugar en el parénquima clorofílico. Como resultado de este proceso se obtienen sustancias orgánicas que son transportadas por otros vasos conductores (floema) hasta los órganos de almacenamiento (tallos, frutos, raíces).

Como ves, en los vegetales todos los órganos mantienen estrecha relación anatómica y funcional.

En los animales, la integración de los tejidos da origen a los órganos, estos a su vez componen los diferentes sistemas de órganos: digestivo, cardiovascular, nervioso, endocrino, renal, osteomioarticular, y otros, también presentes en el organismo humano.

Los órganos que forman un sistema de órganos poseen un origen común y en ellos existe correspondencia entre estructura y función. Estos órganos guardan una estrecha relación estructural y funcional entre ellos, de forma tal que cualquier afectación en uno afecta a todo el sistema.

La estructura de los sistemas que constituyen el organismo animal, guarda relación con sus funciones. De tus estudios en sexto y noveno grados podrás recordar los componentes estructurales y funcionales de los diferentes sistemas de órganos y sus relaciones.

El sistema osteomioarticular está integrado por huesos, músculos, cartílagos y articulaciones. Los huesos están formados por tejido conjuntivo óseo, constituido por células y sustancias extracelulares que conforman la matriz ósea, los cartílagos por tejido conjuntivo cartilaginoso, los músculos

por tejido muscular de fibras alargadas con miofibrillas, y las articulaciones se encuentran recubiertas por una cápsula cartilaginosa llena de líquido. Las propiedades que les confieren las características estructurales a estos tejidos, posibilitan que este sistema realice las funciones de locomoción, movimiento, sostén y protección.

En algunos órganos del sistema digestivo (compuesto por boca, esófago, estómago, intestinos, glándulas anexas y ano) se producen jugos con enzimas hidrolíticas, que intervienen en la **digestión** de los alimentos; este sistema participa también en la excreción de sustancias de desecho.

El sistema respiratorio comienza en las fosas nasales, continúa en vías ventilatorias tubulares tapizadas de mucosa, y termina en los pulmones, que contienen alveolos de membrana delgada y vasos sanguíneos. Este sistema es el que realiza los procesos de ventilación, intercambio de gases y excreción del dióxido de carbono resultante de la respiración celular.

El sistema cardiovascular está compuesto por unos órganos tubulares llamados vasos sanguíneos por donde circula la sangre, y otros que recogen la linfa denominados vasos linfáticos, todos organizados en un circuito cerrado que recorre los órganos. Es regido por el corazón, que está formado por tejido muscular, cuya contracción permite impulsar la sangre, y con ella las sustancias necesarias en el metabolismo celular, a todos los tejidos del organismo, en la regulación de las funciones y en la protección ante agresiones externas e internas.

El sistema renal tiene como función la excreción de desechos metabólicos. Está formado por riñones, que filtran las sales minerales y el agua contenidos en la sangre, y producen la orina. De ellos emergen los uréteres, conductos por donde circula esta orina que se almacena en la vejiga, y luego pasa a través de la uretra, terminada en un orificio por el que este líquido sale al exterior.

El sistema nervioso tiene la función de regulación nerviosa y está formado por nervios aferentes (sensitivos) y eferentes (motores); estos tienen forma alargada, están constituidos por dendritas y axones de las neuronas, y conectados a todos los órganos y centros nerviosos. En estos últimos se encuentran los cuerpos de las neuronas.

El sistema endocrino también tiene función de regulación, y la realiza a través de sus glándulas, formadas por tejido epitelial, que vierten hormonas a la sangre. Su acción es más lenta y prolongada que la del sistema nervioso.

El sistema inmunitario también ejerce una función reguladora, y lo

hace a través de diversos órganos diseminados en el cuerpo: el bazo, los ganglios, el timo, las amígdalas, las placas de Peyer, y la médula ósea de los huesos largos. Estos producen células inmunitarias que secretan anticuerpos y otras sustancias, con las que regulan el funcionamiento del propio sistema, y con las que también el organismo se protege ante diferentes agentes infecciosos.

Los sistemas de órganos de los animales funcionan de manera coordinada, en estrecha interrelación entre ellos, y con el medio ambiente. La vía fundamental de integración funcional son los diferentes sistemas de regulación (nervioso, endocrino, inmunitario), que tienen la propiedad de transmitir la información, con la que se modula el funcionamiento del organismo, y estos responden adaptándose a algún cambio ocurrido en el medio.

1.3 La asignatura Biología 5 estudia el mantenimiento y la autoperpetuación de la vida

Hasta aquí se han sintetizado los contenidos más importantes estudiados en grados anteriores, que sentarán las bases de esta asignatura y se les dará continuidad en la Biología 5. En esta se mantiene la lógica organizativa deductiva que se inició en el grado anterior, es decir, se transita de lo general a lo particular a partir de las características de la vida. Corresponde en este grado el estudio de las características tercera y cuarta de la vida, relacionadas con su mantenimiento y perpetuación en los sistemas vivientes, en interrelación con el medio ambiente. Estos fenómenos son analizados en todos sus niveles de organización de manera integrada (Esquema 1.2).

El mantenimiento de la vida es posible gracias a las funciones vegetativas y a la autorregulación. En ambas se establece una constante interacción con el medio ambiente, a partir del intercambio de materia, energía e información entre cada sistema viviente y el ambiente donde se desarrolla. En esta asignatura, ambos grupos de funciones se desarrollan en unidades separadas, pero al vincularse cada una de las vegetativas con las de regulación, se mantiene la unidad entre ellas.

La función que posibilita la perpetuación es la reproducción, y se estudia en una unidad independiente, pero vinculada a las anteriores funciones, pues se centra en el estudio de la regulación de la reproducción y la

Esquema 1.2 Sistema de conocimientos más generales de la asignatura Biología 5

sexualidad en la especie humana, tomando como base los estudios de primaria y secundaria básica sobre la anatomía y la fisiología de los sistemas reproductores. Estos temas son de gran importancia educativa en las edades en que se encuentran los educandos de este grado.

El estudio de la herencia da continuidad al de la reproducción, pues esta es una característica de los sistemas vivientes que se manifiesta durante el proceso de división celular, y en otros procesos de desarrollo individual de los organismos que serán estudiados en duodécimo grado.

Finalmente, en el capítulo de conclusiones se sistematizan conceptos claves y se generalizan otros, que están más próximos a las ideas rectoras de la disciplina, fundamentalmente las referidas a la unidad-diversidad y la integridad biótica en los organismos

Comprueba lo aprendido

1. Elabora un esquema o mapa conceptual con los conceptos principales incluidos en las seis características de la vida. Debes relacionar unos conceptos con otros siguiendo un orden lógico, en el que se demuestre la esencia de cada uno y el vínculo entre ellos como un sistema.

2. Organiza en orden de complejidad creciente los siguientes sistemas bióticos:

- Célula
- Población
- Biomolécula
- Comunidad
- Mitocondria
- Tejido
- Ecosistema
- Organismo

3. Identifica los componentes de una célula eucariota en la figura 1.6.

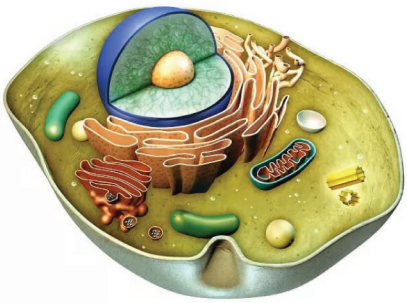


Fig. 1.6 Modelo de una célula eucariota

4. Escoge uno de los componentes señalados por ti y establece la relación estructura-propiedades-funciones que se evidencia en él.

5. Escoge tres de los componentes señalados y establece relaciones estructurales y/o funcionales entre estos.

6. Demuestra mediante tres ejemplos, cómo una célula intercambia materia, energía e información con el medio ambiente. Argumenta en cada caso.

7. ¿Por qué se plantea que el metabolismo es expresión de la integridad biótica y del dinamismo celular? Elabora esquemas que muestren las relaciones entre los dos tipos de procesos metabólicos.

8. Escribe V (verdaderos) o F (falsos) los siguientes planteamientos. En caso de que consideres algunos falsos argumenta tu respuesta.

__ Las células procariotas más complejas se constituyeron mediante la integración entre otros tipos de bacterias.

__ Los organismos pluricelulares son el resultado de la integración celular a partir de las colonias de células eucariotas.

__ La pluricelularidad es un retroceso en la complejidad de los organismos con células eucariotas.

__ Los pseudotejidos no podían formar tejidos verdaderos pues les faltaba la especialización.

__ Las células de los tejidos se dividen en dos dimensiones del espacio.

9. Argumenta la importancia que tuvo la pluricelularidad en la evolución de los seres vivos en la Tierra.

10. Escoge dos tejidos animales y dos vegetales y compáralos entre sí. Para ello debes gestionar información en otros libros y en internet. Llega a conclusiones acerca de la unidad y diversidad de los sistemas vivientes a este subnivel.

11. Escoge uno de los órganos del vegetal y explica por qué puede realizar la función ahí presentada. Luego escoge tres de los órganos y explica cómo se interrelacionan entre sí durante el funcionamiento del vegetal como un todo.

12. Escoge uno de los sistemas de órganos presentados y explica por qué puede realizar la función que se indica. Luego escoge tres de los sistemas y expresa cómo se interrelacionan entre sí durante el funcionamiento del organismo como un todo.

13. Define con tus palabras los siguientes conceptos principales, que más tarde estudiarás a profundidad en este grado:

- Autorregulación
- Mantenimiento
- Perpetuación
- Herencia

a) Intenta identificar los sistemas de órganos de tu cuerpo, implicados en estos cuatro fenómenos que se manifiestan en los seres vivos.

14. En los siguientes ejemplos identifica a cuál de los cuatro conceptos presentados en el ejercicio anterior responden:

a) Una niña tiene los ojos de color azul como su abuela, a pesar de que ambos padres tienen los ojos color pardo.

b) Un cocodrilo se alimenta de animales que captura en la laguna donde habita.

c) Cuando se toca con los dedos las hojas de la planta llamada ***Mimosa púdica***, estas se retraen y cierran, pero más tarde vuelven a su estado anterior.

d) A los pocos días de haberse limpiado el césped del instituto con un machete, aparecen nuevas planticas que se van extendiendo por la superficie del jardín.

e) Al llegar a la pubertad, los adolescentes experimentan cambios en su organismo que lo acercan a la constitución del de un adulto.

f) Los delfines salen cada cierto tiempo a la superficie del agua donde habitan.

CAPÍTULO 2

La autorregulación de los sistemas vivientes en interacción con el medio ambiente

Las adicciones al tabaco, al alcohol, y otras **drogas**, hacen que las personas disminuyan, y hasta pierdan, la voluntad y el control sobre sí mismos. Con solo probarlas, pueden generar ansias permanentes de su consumo, hasta el punto en que convierten a las personas que las consumen en sus "esclavos", produciendo serias afectaciones en las esferas física, psíquica, social y espiritual.

Fig. 2.1 No a las drogas

- ¿Por qué las drogas provocan adicción y convierten a las personas en sus esclavos?
- ¿Cómo causan alteraciones en la conducta humana, daños psíquicos y sociales?
- ¿Por qué las drogas producen graves alteraciones en la integrida del organismo humano y en la salud?

Para responder estas preguntas es necesario que estudies la autorregulación como la función que permite la integración en el funcionamiento del organismo. Con el estudio de estos contenidos aplicarás conocimientos acerca de la complejidad del nivel de organismo, relacionados con la salud y la conservación de la biodiversidad, también darás solución a situaciones de la vida diaria y respuesta a interrogantes de gran importancia teórica y práctica como las que siguen:

- ¿Qué es la homeostasia y cuál es su importancia en los sistemas vivientes?

- ¿Cómo interactúan las diferentes formas de regulación en el mantenimiento de la integridad en los sistemas vivientes?
- ¿Qué aplicaciones prácticas tiene el conocimiento de las formas de regulación de los organismos?
- ¿Qué medidas debemos tener en cuenta para evitar las enfermedades en los sistemas de control?

2.1 La salud y la conservación de los sistemas vivientes depende del mantenimiento de la homeostasia mediante la autorregulación

Los organismos funcionan como un sistema íntegro, pues cada una de las partes que los conforman está relacionada y subordinada al funcionamiento del sistema. El intercambio de sustancias, energía e información con el medio ambiente, es indispensable porque mantiene esta compleja organización y la dinámica de su función interna.

A diferencia de la materia no viva, los organismos autorregulan el intercambio con el medio ambiente y mantienen una estabilidad en su **medio interno**, que les permite vivir en diferentes condiciones ambientales.

La regulación es indispensable en la conservación de la salud y la vida de los organismos en el planeta, ya que de esta función depende en gran parte, la adaptación a las diversas condiciones del medio ambiente. Por ejemplo, los organismos de agua dulce (figura 2.2) como el joturo del Guaso, el manjuarí y la rana toro, eliminan abundante cantidad de agua como adaptación al medio ambiente, y las plantas acuáticas como el nenúfar rosa o loto, presentan grandes hojas con cutículas muy finas que facilitan la evacuación del exceso de agua. Estas adaptaciones posibilitan el control del medio interno.

Fig. 2.2 De izquierda a derecha: manjuarí, loto, rana toro

La función de regulación le permite al organismo modular su funcionamiento interno, mantener la homeostasia y adaptarse a las cambiantes condiciones del medio ambiente, como respuesta a la información que recibe desde el interior o el exterior.

La utilización de la información consiste en detectar estímulos, transformarlos en señales de diferente naturaleza, conducir y transmitir dichas señales con la información codificada, procesarlas, elaborar respuestas, conducirlas y ejecutarlas.

De la historia

A mediados del siglo XIX el fisiólogo francés Claude Bernard fue el primero en reconocer la constancia del medio interno del organismo, observando que esto hacía posible el buen funcionamiento del mismo. Al resultado de esta observación Walter B. Canon le dio el nombre de homeostasia, en 1920.

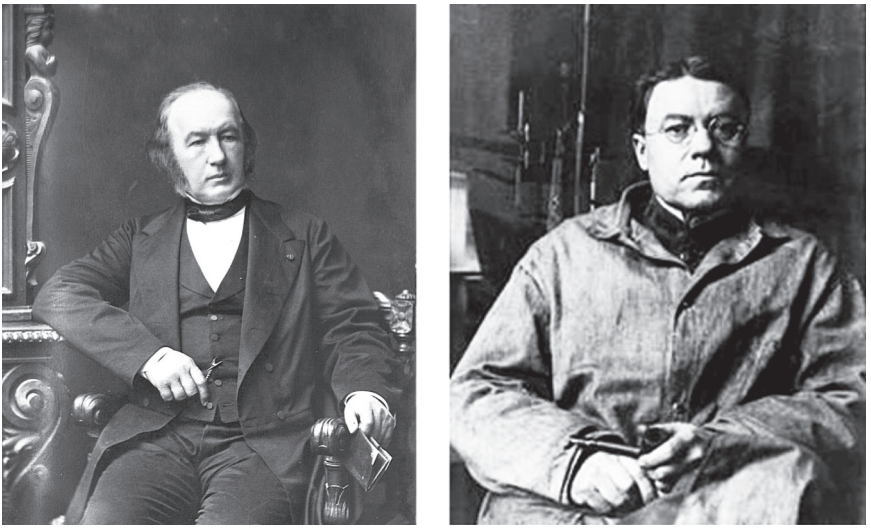


Fig. 2.3 De izquierda a derecha: Claude Bernad y Walter B. Cannon

La palabra homeostasia se deriva del griego ***homos*** (similar) y ***stasis*** (estabilidad) que significa "seguir igual", lo que parecería referirse a una situación estática, pero ya conocemos que el medio interno es dinámico, pues en él existe gran actividad metabólica y de intercambio, y que el organismo se ajusta a cambios internos y externos, por lo que mantiene la estabilidad dinámica interna ante estos cambios.

La homeostasia es el estado de equilibrio dinámico interno del organismo que hace posible su buen funcionamiento.

El mantenimiento de la homeostasia permite la ejecución de los procesos metabólicos y la adaptación a las diferentes condiciones del medio tanto externo como interno; este estado se debe a las diferentes adaptaciones que posibilitan la autorregulación.

La adaptación fisiológica de los organismos marinos a las concentraciones de sales de este medio constituye un ejemplo interesante de respuesta a los factores abióticos. Por ejemplo, los peces que habitan en el mar eliminan el exceso de sal por las branquias, y de esta forma mantienen la estabilidad del medio interno, pues las células de este tipo de organismo no sobreviven si las condiciones del medio interno no se encuentran entre los intervalos fisiológicos aceptados por estos.

En los organismos unicelulares, el medio interno o matriz está compuesto por todo lo que se encuentra en el interior de la célula: los orgánulos, el núcleo y el jugo nuclear. Pero en los pluricelulares, el medio interno está constituido también por la sustancia intercelular y por otros fluidos, por ejemplo la sangre y la linfa. Todo esto es posible, debido a que han desarrollado tejidos, y órganos, y a que ellos llevan a cabo procesos fisiológicos que les permiten mantener las condiciones internas y adaptarse a las diferentes condiciones del medio ambiente.

Los organismos tienen la capacidad innata de reaccionar ante los estímulos y responder en consecuencia, debido a la irritabilidad.

Recuerda que...

La irritabilidad es la propiedad de la materia viva, de reaccionar ante los estímulos procedentes del medio externo o interno.

Esta propiedad de las células es la que hace posible las diferentes funciones de regulación que acontecen en todos los organismos vivos, constituye una característica esencial de la vida.

Existen numerosos ejemplos de cómo se mantienen constantes determinados parámetros del medio interno de los organismos, ante cambios de diferentes factores abióticos del medio ambiente como la temperatura,

las concentraciones de agua e iones, los niveles de glucosa, el pH y los niveles de dioxígeno y dióxido de carbono.

¿Sabías que...?

La temperatura corporal del colibrí es de 41°C y esto le permite revolotear mientras extrae el néctar de las flores, batiendo sus alas a una velocidad de 80 veces por segundos (figura 2.4).

Fig. 2.4 Especie de colibrí en vuelo

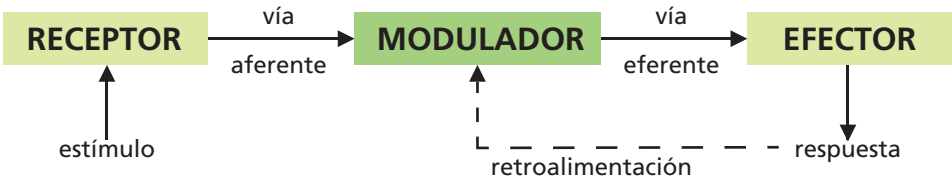
Existe una amplia diversidad de formas y adaptaciones que permiten la regulación en los organismos en dependencia de la complejidad alcanzada en la evolución. En los diferentes procesos de regulación participan moléculas, células, tejidos, órganos, y sistemas de órganos muy complejos.

Las células de los organismos pluricelulares se encuentran interconectadas de forma indirecta mediante una compleja red de vasos sanguíneos y nervios que llevan mensajes de diversa índole a los sitios apropiados; las señales químicas actúan sobre las células blanco o diana que se especializan en recibir y responder a señales específicas.

Los sistemas vivientes han desarrollado durante el proceso evolutivo diferentes formas de autorregulación, en las que intervienen sustancias tan diversas como vitaminas, hormonas, **neurotransmisores**, **citoquinas**, anticuerpos y la combinación de varias de estas. En los organismos de mayor nivel de complejidad se han desarrollado órganos y sistemas especializados en diferentes funciones de regulación: el sistema endocrino, el sistema nervioso y el sistema inmunitario.

2.1.1 ¿Cuál es el fundamento científico general de las funciones de autorregulación?

La **cibernética** ha estudiado la regulación como fenómeno general que se manifiesta en los sistemas bióticos. Esta ciencia ha descubierto un patrón general que describe su comportamiento. En el esquema 2.1 se representan las relaciones entre los componentes esenciales del patrón de regulación: el receptor, el **modulador**, el efector y diversas vías de conexión entre estos.



Esquema 2.1 Patrón general de regulación

Este patrón general de regulación explica el funcionamiento armónico de todos los organismos: unicelulares, hongos, plantas y animales (incluidos los seres humanos).

El primer componente del patrón de regulación (el receptor) tiene como función detectar los estímulos, que son variaciones energéticas procedentes del medio ambiente o del medio interno, por ejemplo: las variaciones de temperatura o de la concentración de diferentes sustancias, la iluminación, la presencia de microorganismos extraños en el interior del organismo, etc.

Estos estímulos, al ser detectados por el receptor son transformados en señales, y estas conducidas por una vía determinada hasta al modulador, que procesa la información y elabora la respuesta adaptativa. Esta respuesta es conducida en forma de señales por otra vía hasta los efectores, que son las células, tejidos u órganos encargados de ejecutar dicha respuesta (secreción, movimiento, etc.).

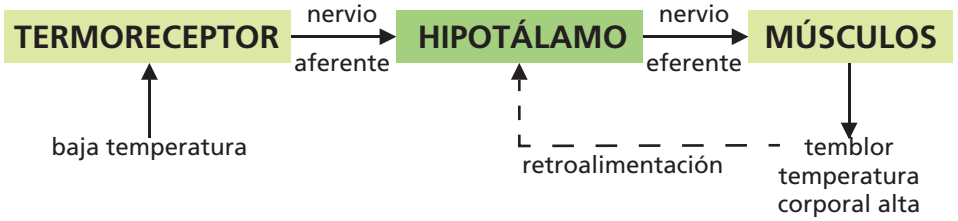
La respuesta dada a un estímulo constituye una nueva información que retorna hacia el modulador, proceso que se denomina retroalimentación. Esta puede tener efectos contrarios a la respuesta inicial, o puede reforzarla. En el primer caso, se trata de una **retroalimentación negativa**; si la respuesta provocada por la retroalimentación es del mismo sentido de

la respuesta inicial, entonces estamos en presencia de una **retroalimentación positiva.**

De esta forma, la retroalimentación hace posible que la respuesta dada a un estímulo sea modificada o sostenida, según las condiciones del organismo. Esto permite el mantenimiento de la estabilidad dinámica del medio interno, es decir la homeostasia, lo que posibilita la adaptación ante los diferentes cambios ambientales.

Son muchos los procesos que operan por retroalimentación negativa, por ejemplo, el que mantiene la temperatura interna del cuerpo humano cerca de los 36.6°C, a pesar de los cambios de temperatura que experimente el medio ambiente.

El descenso de la temperatura ambiental provoca sensación de frío, y como consecuencia se produce una respuesta adaptativa modulada por el hipotálamo que genera contracciones de los músculos esqueléticos (temblor); como resultado de esto se eleva la temperatura corporal, respuesta que contrarresta la sensación de frío proveniente del medio ambiente (Esquema 2.2).



Esquema 2.2 Retroalimentación negativa en el control de la temperatura corporal

Por el contrario, una elevación de la temperatura también es detectada por el hipotálamo, que da una respuesta diferente: se relajan los músculos, y con ello disminuye el temblor muscular.

Aplicación práctica

El cambio climático se manifiesta, entre otras cosas, por la elevación de la temperatura. Esto ha provocado problemas serios de salud que pueden ocasionar la muerte, por lo que es necesario adoptar estilos de vida que contribuyan a la adaptación ante este problema.

El choque de calor producido por la exposición continua al calor excesivo, es un ejemplo de las consecuencias de un fallo de la regulación, y puede provocar daño cerebral irreversible o la muerte. La mayoría de las muertes relacionadas con calor en adultos jóvenes y saludables suceden cuando no se les presta atención a los síntomas de agotamiento, que son claras advertencias del organismo de que algo no está bien. Entre estos síntomas se encuentran: mareo, visión borrosa, calambres musculares, debilidad, náuseas y vómitos.

La retroalimentación positiva impulsa algunos procesos fisiológicos a corto plazo, un cambio en un sistema de retroalimentación positiva produce una respuesta que intensifica el cambio original.

En los sistemas funcionales la retroalimentación positiva suele ser poco común. Un ejemplo de retroalimentación positiva es el mecanismo del parto (figura 2.5), en el que las primeras contracciones comienzan a empujar al bebé hacia el cuello del útero. La presión sobre este provoca su dilatación, las neuronas receptoras del estiramiento del cuello del útero responden a este estímulo enviando una señal al hipotálamo que activa la liberación de la hormona oxitocina, esta hace que las contracciones uterinas se produzcan cada vez más frecuentes e intensas.

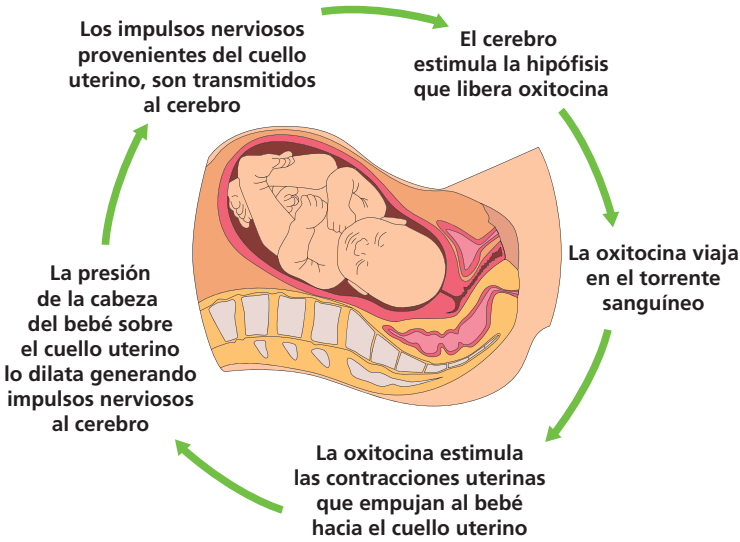


Fig. 2.5 Regulación hormonal durante el trabajo de parto

Las contracciones crean mayor presión contra el cuello del útero, lo que propicia la liberación de más hormonas. El nacimiento del bebé pone fin a

esta presión, por un mecanismo de retroalimentación negativa, se detiene el ciclo de retroalimentación positiva, y con este el trabajo de parto.

Comprueba lo aprendido

1. Observa el esquema 2.1 y explica la interrelación que existe entre los componentes del patrón general de regulación a partir de la función de cada uno.

2. Argumente el planteamiento siguiente:
Las funciones de regulación juegan un importante papel en la integridad biótica y en la adaptación de los organismos al medio ambiente.

3. Explica mediante un ejemplo en el organismo humano, cómo la retroalimentación negativa ayuda a mantener la homeostasia.

4. Compara la retroalimentación positiva y la negativa exponiendo semejanzas y diferencias. Demuestre mediante ejemplos cómo ocurren ambas.

5. Identifica en el ejemplo del parto, los diferentes componentes del patrón general de regulación. Elabora un esquema lógico para guiar tu análisis y luego descríbelo en un párrafo.

6. Elabora una lista de medidas que se deben adoptar en apoyo a los mecanismos de regulación de la temperatura del cuerpo, y así evitar los efectos de un choque de calor en nuestra salud. Justifica en cada caso, teniendo en cuenta la importancia del mantenimiento de la homeostasia.

2.2 La regulación hormonal participa en la modulación del funcionamiento de los vegetales y animales en interrelación con el ambiente

Las hormonas regulan muchos procesos funcionales entre los que podemos encontrar: el cambio de color de un crustáceo, con lo que logra

protegerse al confundirse con su entorno, la transformación de una oruga en mariposa, y de los adolescentes en adultos, el enfrentamiento de una persona al estrés crónico, el crecimiento y desarrollo de las plantas, etc.

Si observamos la **germinación** de una semilla de frijol (figura 2.6), podemos comprobar cómo ocurre el proceso de crecimiento y desarrollo de una plántula, hasta la formación de todos sus tejidos y órganos y convertirse en una planta. Este es un proceso que lleva implícito la transformación y especialización de las células, el alargamiento de los tallos, el surgimiento de las ramas, la floración y fructificación.

Fig. 2.6 Desarrollo de una planta de frijol

Seguro también has podido observar que cuando nos ponemos en contacto con una planta de dormidera (***Mimosa púdica***) sus hojas se cierran, entonces nos preguntamos:

- ¿Cómo es posible que se cierren las hojas de la dormidera al tocarla si sabemos que las plantas no poseen sistema nervioso?
- ¿Cómo se regulan los procesos de germinación, crecimiento, floración y fructificación de las plantas?

En estos procesos de regulación intervienen las hormonas, que fueron tratadas durante el estudio del organismo humano en noveno grado. El

término hormona proviene del vocablo griego ***hormon*** que significa poner en movimiento, estimular.

Las hormonas son compuestos químicos de naturaleza orgánica, sintetizadas en un tejido específico, de donde son secretadas en pequeñas concentraciones hacia los líquidos circulantes, que las transportan a un sitio específico de acción en el que regulan la actividad celular.

2.2.1 ¿Cómo logran las plantas mantener la homeostasia, si no presentan sistemas especializados en la autorregulación?

Como recordarás de grados anteriores, los animales presentan diferentes sistemas de órganos que mantienen la estabilidad dinámica interna. Las plantas sin embargo, aunque no presentan sistemas de órganos especializados en la regulación, mantienen la homeostasia durante la realización de todas sus funciones, y a pesar de la variabilidad de sus formas conservan la coordinación entre sus órganos y así regulan sus procesos funcionales.

La autorregulación en las plantas ocurre a nivel celular y de tejidos. Sus células actúan al mismo tiempo como receptor, modulador y efector, y las respuestas se producen en los tejidos; estas consisten en la germinación de la semilla, el crecimiento de la planta, la caída de las hojas, la secreción de diversas sustancias químicas, entre otras.

Las plantas mantienen su homeostasia mediante procesos reguladores internos, que pueden modificar su crecimiento y desarrollo en interacción con el medio ambiente. Las hormonas son las sustancias que provocan respuestas ante diversos cambios del medio ambiente como la iluminación, la humedad, la temperatura, la concentración de dióxido de carbono, entre otros. A las hormonas de las plantas se les denominan fitohormonas.

Las fitohormonas son compuestos orgánicos moduladores en la regulación hormonal, que se sintetizan en algunas partes de la planta y son transportados a otras, donde actúan a muy bajas concentraciones y causan una respuesta funcional en células, tejidos y órganos.

Los sitios de secreción y de acción de las fitohormonas no se distinguen con facilidad. Las hormonas vegetales pueden al mismo tiempo regular diversos procesos, por ejemplo, las **citoquininas** son hormonas que promueven el brote de las yemas y también estimulan el desarrollo de los frutos.

Al sitio de acción de las fitohormonas se le denomina célula u órgano blanco, en los que estimulan o inhiben una función; como el caso del etileno, hormona que estimula la maduración de los frutos, y también inhibe el alargamiento del tallo.

Los fisiólogos vegetales han identificado hasta el momento seis clases de hormonas vegetales: **auxinas**, ácido abscísico, citoquininas, etileno, giberelinas y brasinoesteroides (Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Diversidad de funciones de las fitohormonas

Fitohormonas	Sitios de producción	Principales acciones fisiológicas
Ácido abscísico	Casi todas las células que contengan plastidios (hojas, tallos, raíces)	Ayuda a las plantas a resistir condiciones ambientales adversas, provocan el cierre de los estomas cuando escasea el agua, evitando su evaporación. Contribuye a mantener el estado de latencia en las semillas y yemas, en momentos en que la germinación conduciría a la muerte. En condiciones de tensión enlentece el crecimiento de la planta.
Auxinas	Meristemo apical de los brotes, hojas jóvenes y semillas	Estimulan el alargamiento de las células del tallo, (fototropismo) y el crecimiento y ramificación de las raíces. **Dominancia apical**. Inciden en el desarrollo y diferenciación de los tejidos conductores del xilema y el floema, el retraso de la senectud en las hojas y el desarrollo de frutos.
Citoquininas	Varios sitios en la planta	Promueven la división celular en muchos tejidos vegetales, por lo que estimulan el brote de yemas y el desarrollo del fruto, el endospermo de la semilla y el embrión. Además, estimulan el metabolismode la planta al retrasar el envejeci-

		miento de sus partes, sobre todo las de las hojas.
Etileno	Nodos del tallo, frutos en maduración, tejido dañado o envejecido.	Es un gas a las temperaturas normales del ambiente. Su función más conocida y la más valiosa, económicamente es la maduración de los frutos. Además, estimula la separación de las paredes celulares, formando capas de abscisión que propician que las hojas, las flores y los frutos se caigan en el momento adecuado. También interviene en la inhibición del alargamiento del tallo.
Giberelinas	Hojas jóvenes y meristemos apicales de brotes, embrión en la semilla	Intervienen en la germinación de semillas y brotes de yemas, estimulan la floración, el desarrollo del fruto y el alargamiento del tallo.
Brasinoesteroides	Brotes (hojas y capullos de flores) semilla y fruto	Desempeñan un papel esencial en el desarrollo de las plantas, pues participan en los procesos de división y diferenciación celular en los tejidos jóvenes de estas durante su crecimiento; así pueden incrementar el rendimiento de los cultivos. La ausencia o el defecto de esta fitohormona, provoca graves cambios en las plantas como el enanismo severo, la disminución de la fertilidad, poco desarrollo de las raíces y otras anomalías.

Las fitohormonas pueden actuar solas, pero generalmente lo hacen en interacción, durante la regulación de un determinado proceso funcional en el que cada una de las que intervienen debe estar presente en una concentración específica. El **balance fitohormonal** es la interrelación entre las diferentes concentraciones de hormonas; un ejemplo lo podemos encontrar en la germinación y desarrollo de una planta de maní (figura 2.7).

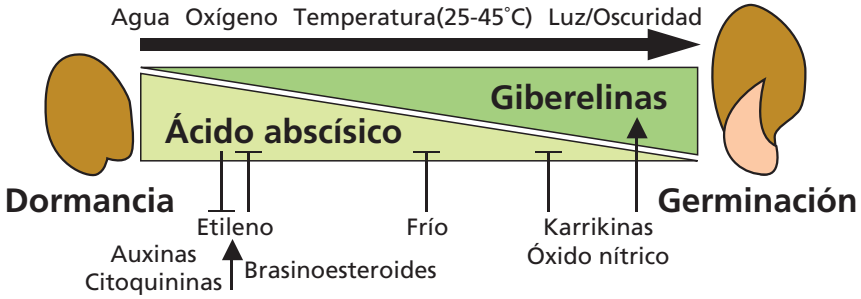


Fig. 2.7 Regulación hormonal del proceso de germinación de una semilla de maní

Después de la fecundación la semilla en desarrollo libera auxinas, giberelinas, o ambas, a los tejidos del ovario. Las citoquininas promueven la división celular dentro del ovario y de las semillas. Las células de los ovarios se multiplican y crecen, además de almacenar almidón y otras sustancias alimenticias hasta formar el fruto; las auxinas provocan el crecimiento del tallo por alargamiento de las células.

¿? ¿Sabías que...?

La dominancia apical es la inhibición que ejerce la yema apical sobre el crecimiento de las axilares mediante las auxinas. Cuando los jardineros cortan el ápice de los tallos eliminan la dominancia apical, por lo que se inhibe el crecimiento en longitud del tallo y se desarrollan las ramas laterales.

Las auxinas (del griego ***auxe***, crecimiento) constituyen el primer grupo de hormonas vegetales descubiertas que regulan el crecimiento y promueven el alargamiento de las células. Una concentración baja de auxinas estimula el crecimiento de las raíces, mientras que una concentración más alta inhibe su alargamiento; en el tallo ocurre lo contrario.

Las plantas no presentan órganos especializados en recibir estímulos, por lo que este se lleva a cabo por todos los órganos (las raíces, las hojas y los tallos) que responden a diferentes cambios del medio ambiente. Estas respuestas pueden ser movimientos de curvaturas, torsiones y plegamientos.

En su mayoría, los movimientos se pueden agrupar en los denominados **tropismos**, en los que la dirección del estímulo ambiental determina la dirección del movimiento.

La luz y la gravedad afectan la distribución de las auxinas en las raíces y en los tallos, por lo que desempeñan un importante papel en el fototropismo u orientación del crecimiento hacia la luz (figura 2.8), el gravitropismo, en que se orienta el crecimiento en dirección de la gravedad, y el tigmotropismo, en el que el crecimiento se orienta en respuesta al tacto. En este último algunas plantas enredan sus zarcillos (hojas o tallos modificados) alrededor de un soporte.

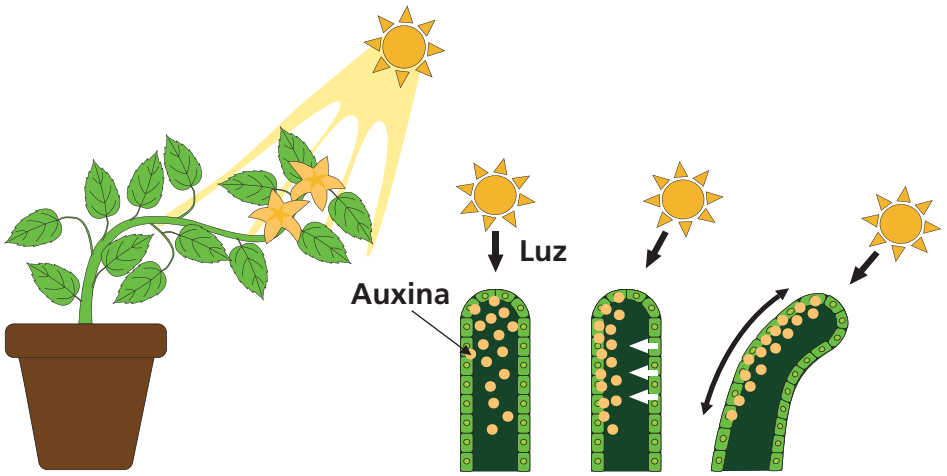


Fig. 2.8 Participación de las auxinas en la regulación del fototropismo

Otro tipo de movimiento en respuesta a estímulos ambientales son las **nastias**, en las que la dirección del estímulo no determina la dirección del movimiento. Un ejemplo lo constituye el cierre de las hojas de la dormidera (***Mimosa púdica***) al ser tocadas (figura 2.9).

Fig. 2.9 Respuesta de la dormidera (***Mimosa púdica***) ante un estímulo ambiental

¿Cómo han sido utilizadas las fitohormonas en la tecnología agrícola?

Uno de los principales usos de las auxinas en la agricultura, es en la multiplicación o propagación asexual de las plantas por estaca, tallos y otros. También se emplean en el cultivo de plantas ornamentales y frutales; en la obtención de plantas con flores se colocan estacas en solución de auxinas a una determinada concentración, esto provoca el crecimiento y desarrollo de las raíces (enraizamiento de las estacas).

Con la aplicación adecuada de esta fitohormona se obtienen más plantas en menos tiempo en el cultivo de árboles frutales, pues las semillas germinan con rapidez. Además, se ha utilizado una solución de auxinas a determinada concentración en el riego por aspersión (figura 2.10), con lo que se acelera la floración y fructificación en los cultivos. Esta hormona también es utilizada como herbicida, pues a elevada concentraciones provoca que las plantas no deseadas se quemen, y de esta forma son eliminadas. Todo lo anterior se traduce en grandes beneficios para la agricultura.

Fig. 2.10 Riego por aspersión

Las giberelinas también son utilizadas en la agricultura, en concentraciones adecuadas provocan que los racimos de uvas se alarguen y de esta forma no estén tan apretados, haciéndolas más resistentes a las infecciones por hongos. En algunos países son utilizadas para incrementar el crecimiento de la caña.

El etileno se ha empleado en el cultivo de la piña, pues provoca la floración homogénea y acelera la maduración de los frutos. Algunas frutas como el plátano, el tomate, el ají, cítricos y otros, se maduran con rapidez en una atmósfera que contenga etileno. En la figura 2.11 se muestran

cítricos que aunque fueron cosechados al mismo tiempo presentan diferente grado de maduración, los de la derecha fueron expuestos durante tres días a una atmósfera que contenía etileno, con lo que se logró una maduración más rápida.

Fig. 2.11 Maduración de cítricos en atmósfera de etileno

En la producción de vitroplantas (figura 2.12) mediante la tecnología del cultivo ***in vitro*** se utilizan hormonas vegetales, y a partir de tejido meristemático o de otro tipo se obtienen plantas con todas las propiedades de la que les dio origen, pero con mayor velocidad de propagación que aquella. Este constituye un método apropiado en la conservación de la biodiversidad vegetal, y su importancia radica en que con él se obtienen plantas libres de patógenos para su propagación y se logra la multiplicación de otras de alto valor genético.

Fig. 2.12 Obtención de vitroplantas

Reflexiona

No siempre la humanidad ha utilizado a las fitohormonas con fines benéficos, teniendo en cuenta sus propiedades y el empleo de estas como herbicidas. Durante la guerra biológica perpetrada por el imperialismo yanqui contra Vietnam, fue utilizado el agente naranja a partir de la combinación de dos tipos de auxinas, para defoliar los principales cultivos. Estados Unidos roció casi 20 millones de galones de este herbicida producido por la Compañía Monsanto; se comprobó que también contenía dioxina, por lo que provocó además graves daños a la salud de muchas personas. ¿Qué opinas sobre la utilización del conocimiento científico con fines bélicos?

2.2.2 ¿Cómo la regulación hormonal contribuye al mantenimiento de la homeostasia en los animales?

A diferencia de las plantas, la integridad funcional de los animales ha alcanzado un mayor nivel de complejidad con el desarrollo de sistemas de órganos especializados en la autorregulación. Estos sistemas son el nervioso, el endocrino y el inmunitario (figura 2.13).

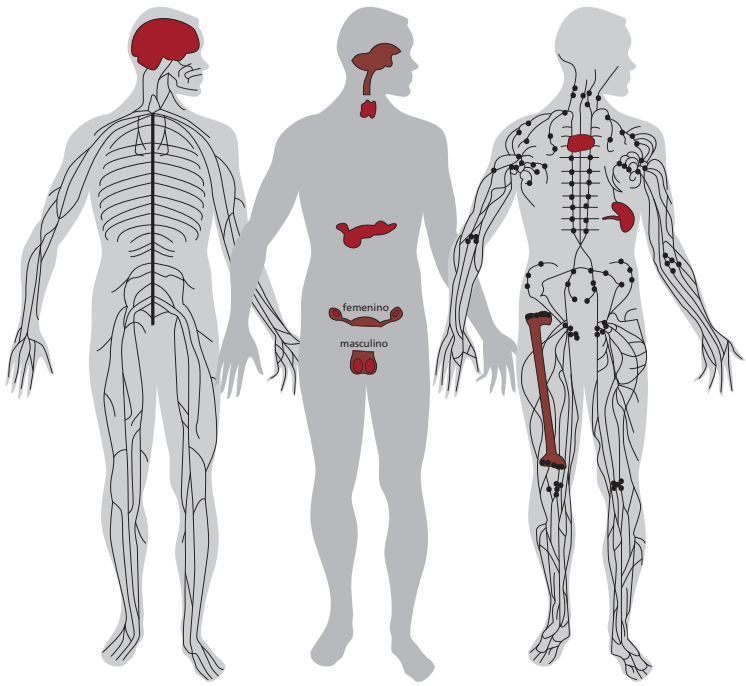


Fig. 2.13 Sistemas de órganos especializados en la autorregulación

En los organismos pluricelulares las células individuales deben permanecer comunicadas entre sí. Normalmente las células envían señales químicas, a través de la emisión de moléculas que afectan a otras células cercanas o distantes.

Las células a las que llegan estas señales, como sucede en las plantas, reciben el nombre de células blanco o diana, y presentan receptores en la membrana citoplasmática o en su interior. Los receptores son moléculas de proteínas que al unirse a las señales químicas específicas, generan un cambio en la célula blanco.

Las moléculas mensajeras que participan en la regulación pueden ser de tres tipos:

1. Las hormonas moléculas orgánicas de diversos tipos, que son sintetizadas y liberadas por glándulas del sistema endocrino a los líquidos circulantes del medio interno, que las transportan a otras células de glándulas y órganos cercanos o distantes en las que modulan las reacciones metabólicas.
2. Los neurotransmisores: moléculas químicas que se encargan de la transmisión del **impulso nervioso** entre neuronas (células que constituyen el sistema nervioso) y hacia la célula diana.
3. Las citoquinas o citocinas: producidas por linfocitos, son proteínas moduladoras que participan en la activación de otras células del sistema inmunitario.

Durante el estudio de estos contenidos aprenderás más de las hormonas locales y las hormonas endocrinas, pues profundizaremos en los neurotransmisores al abordar el sistema nervioso, y en las citoquinas cuando tratemos el sistema inmunitario.

De la historia

El fisiólogo francés Claude Bernard (figura 2.3) descubrió en 1851 las funciones hormonales del hígado y en 1855 introdujo el concepto de secreción interna.

Entre las hormonas animales encontramos a las hormonas locales, que son secretadas por la mayoría de las células del organismo, se difunden hacia el líquido intersticial y actúan sobre las células más cercanas. Por ejemplo, las prostaglandinas son ácidos grasos modificados que se sintetizan a partir de los fosfolípidos de la membrana, y constituyen un tipo de

hormonas locales que, a diferencia de las hormonas endocrinas, son secretadas por las células del cuerpo.

Se han encontrado algunas prostaglandinas que causan constricción en las arterias del cordón umbilical durante el nacimiento, deteniendo el sangrado. Otras funcionan conjuntamente con la oxitocina durante el parto, estimulando las contracciones uterinas. La acción paracrina es la que ejerce la prostaglandina sobre las células vecinas.

Aplicación práctica

Algunas prostaglandinas contribuyen a la inflamación y estimulan los receptores del dolor. Medicamentos como la aspirina y el ibuprofeno brindan alivio a estos síntomas al bloquear las enzimas que conducen a la síntesis de esta hormona local.

Como planteamos, la función endocrina (***endo*** significa interno) se lleva a cabo mediante químicos que viajan por vía sanguínea.

Las hormonas endocrinas son compuestos químicos producidos por células especializadas, liberadas a la sangre por estímulos provenientes tanto del medio interno como del externo.

Los vertebrados presentan tres clases de hormonas endocrinas atendiendo a su composición química: las hormonas de naturaleza peptídica formadas por cadenas de aminoácidos, las hormonas derivadas de aminoácidos, y las hormonas esteroides de naturaleza lipídica.

El sistema endocrino (figura 2.14) secreta hormonas que actúan en las células blanco, estas presentan receptores específicos a la acción de ellas. Las respuestas a la acción de las hormonas sobre estas células pueden ser duraderas e irreversibles, como las que ocurren durante el desarrollo, en la pubertad, o en la metamorfosis de una oruga en mariposa; o transitorias y reversibles, como los procesos de regulación de la glicemia. Podemos concluir que estas hormonas contribuyen a la homeostasia, por el control que ejercen sobre las funciones del organismo.

Los procesos de regulación endocrina se caracterizan por:

- Las hormonas son transportadas por la sangre y otros líquidos corporales.
- La respuesta depende del estado metabólico funcional de la célula.
- Existe interrelación hormonal, determinada generalmente por los niveles de concentración de estas en la sangre.

- La retroalimentación hace posible que la respuesta inicial dada a un estímulo se mantenga igual o se modifique.

En su función reguladora el sistema endocrino controla el metabolismo celular, el desarrollo y el crecimiento corporal, e interviene en los procesos de la reproducción sexual como la gametogénesis, el coito, la fecundación, el parto, la nutrición del feto y del recién nacido.

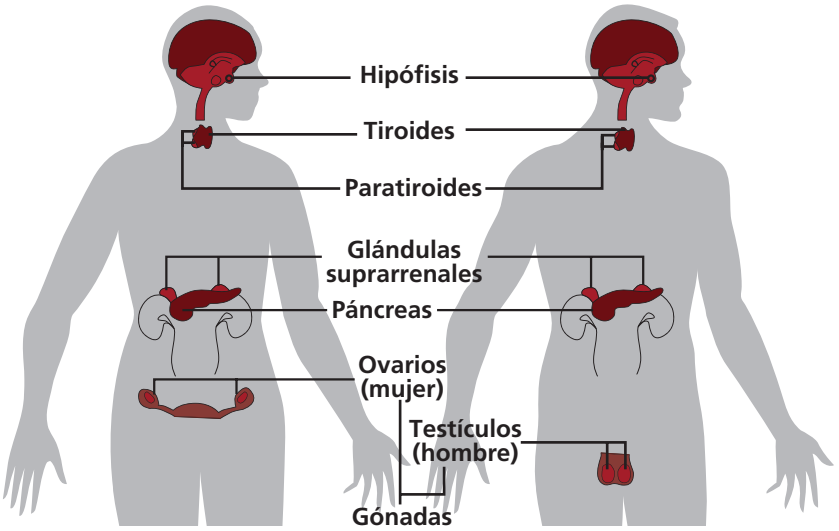


Fig. 2.14 Glándulas del sistema endocrino en el organismo humano

¿Cómo se manifiesta la integridad biótica durante la regulación endocrina?

Las dietas inadecuadas y el consumo desmedido de alimentos dulces es una de las causas fundamentales de la diabetes mellitus tipo 2. Esta es una enfermedad del sistema endocrino, en la que por un conjunto de trastornos metabólicos, se eleva la concentración de glucosa en la sangre de forma persistente y crónica. Esta enfermedad ocasiona complicaciones y con frecuencia daña los riñones, los nervios y los vasos sanguíneos. Una complicación común es el pie diabético (figura 2.15), cuya causa principal es el daño que la enfermedad produce sobre los vasos sanguíneos y los nervios, que hace disminuir localmente la oxigenación y la sensibilidad de los tejidos.

Para reducir el daño que origina esta complicación, en Cuba se está utilizando con muy buenos resultados un producto de la biotecnología cubana: el Heberprot-P.

Fig. 2.15 Pie diabético y Heberprot-P

Las glándulas del sistema endocrino y sus hormonas funcionan como un sistema íntegro, lo que se evidencia en las múltiples interacciones que tienen lugar entre estas durante el funcionamiento del organismo. Este sistema posee una fuerte interacción con el sistema nervioso, que se establece fundamentalmente mediante la hipófisis (figura 2.16). Esta glándula sintetiza y secreta hormonas que actúan sobre el resto del sistema endocrino, regulando a su vez su propio funcionamiento, por eso se le considera como el modulador central de este sistema.

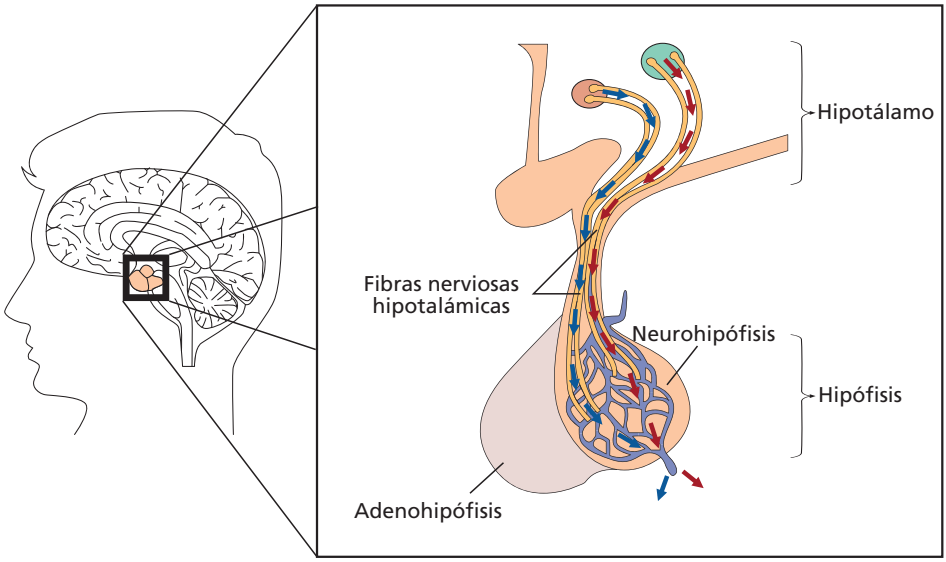


Fig. 2.16 Relación hipotálamo-hipófisis

En la tabla 2.2 se muestra un resumen de las hormonas secretadas por las principales glándulas endocrinas del organismo humano y sus efectos fisiológicos en los órganos diana.

Tabla 2.2 Efectos de las hormonas sobre las células y órganos diana

Glándula endocrina	Hormona	Órgano, glándula o célula diana	Efectos funcionales	Trastornos
Hipófisis (Adenohipófisis)	Hormona del crecimiento o somatotrófica (GH)	Tejidos susceptibles de crecer	Estimula el crecimiento y el metabolismo celular. Estimula la función de la glándula tiroides.	Gigantismo Enanismo
	Hormona estimulante de las tiroides o tirotrófica (TSH)	Glándulas tiroides	Estimula la función de la glándula tiroides.	Bocio Hipotiroidismo Hipertiroidismo
	Hormona estimulante de la corteza adrenal o adenocorticotrópica	Corteza suprarrenal	Estimula la función de la corteza suprarrenal.	Insuficiencia suprarenal Hiperfunción suprarrenal
	Hormona estimulante del folículo (FSH)	Ovario	Estimula el crecimiento y la maduración de los folículos, síntesis de hormonas sexuales.	Retardo en la aparición de los caracteres sexuales secundarios Trastornos menstruales
		Testículos	Estimula la producción y secreción de testosterona.	Retardo en la aparición de los caracteres sexuales secundarios

Glándula endocrina	Hormona	Órgano, glándula o célula diana	Efectos funcionales	Trastornos
	Prolactina	Mamas	Estimula la secreción de leche.	Galactorrea Hipogalactia/Agalactia
		Testículos	Activa los receptores de la LH.	Retardo en la aparición de los caracteres sexuales secundarios
Hipófisis (Neurohipófisis)	Hormona antidiurética	Túbulos renales	Estimula la reabsorción del agua.	Deshidratación por exceso de diuresis Edema por retención de líquidos
		Vasos sanguíneos	Estimula la vasoconstricción.	Hipertensión arterial
	Oxitocina	Útero	Aumenta las contracciones del útero en el momento del parto.	Abortos
		Mamas	Estimula la eyección de leche.	Deficiente producción de leche materna
Tiroides	Tiroxina	Células del organismo	Aumenta la actividad metabólica. Estimula el crecimiento y el desarrollo.	Hipotiroidismo/Cretinismo Hipertiroidismo

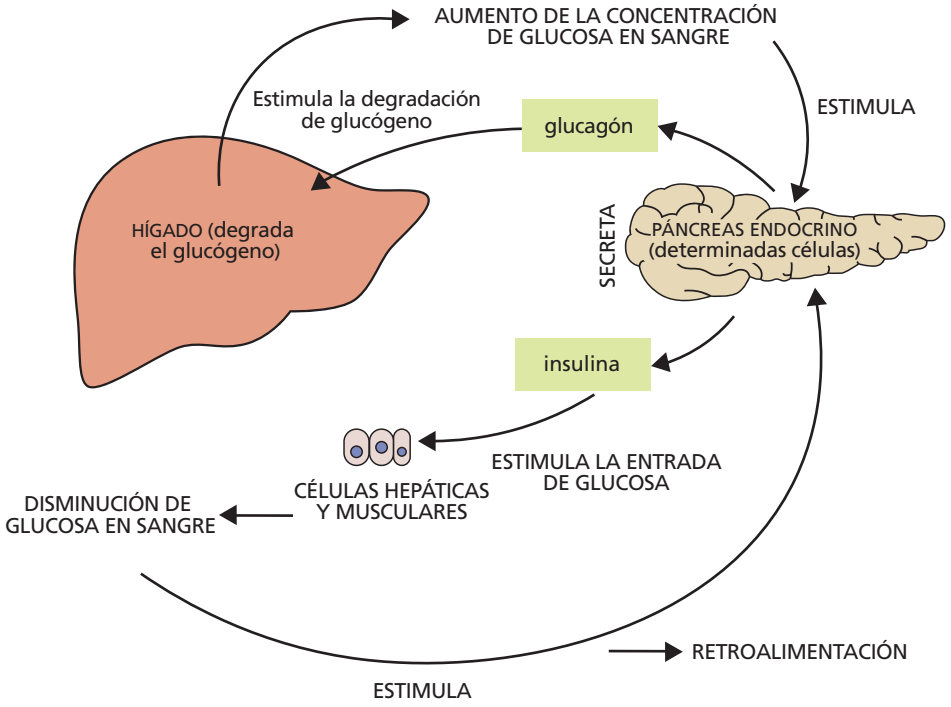
Glándulas suprarrenales (corteza suprarrenal)	Cortisol	Hígado	Estimula la gluconeogénesis hepática y aumenta la concentración de glucosa sanguínea.	Dificultad en el metabolismo de los carbohidratos
	Aldosterona	Túbulos renales	Regulación del metabolismo del Na+ y del K+.	Hipertensión arterial
Médula suprarrenal	Adrenalina y Noradrenalina	Vasos sanguíneos y corazón	Causa vasoconstricción. Aumenta la actividad cardíaca.	Hipertensión, cefaleas, náuseas, insomnio.
Paratiroides	Parathormona	Huesos y túbulos renales	Aumenta la concentración de calcio en los líquidos corporales (aumenta la calcemia).	Trastornos del metabolismo básico
Páncreas endocrino (islotes de Langerhans	Insulina	Células musculares y hepáticas	Disminuye la concentración de glucosa sanguínea.	Diabetes Mellitus
	Glucagón	Células hepáticas	Aumenta la concentración de glucosa sanguínea.	Diabetes Mellitus

Glándula endocrina	Hormona	Órgano, glándula o célula diana	Efectos funcionales	Trastornos
Ovarios	Estrógenos	Órganos reproductores femeninos y celulares del organismo	Estimula el desarrollo de los órganos reproductores, de los caracteres sexuales secundarios, el inicio de la preparación del útero en la implantación del blastocito y la síntesis de proteínas.	Hipogonadismo Retardo en la aparición de los caracteres sexuales secundarios. Disminución de la líbido Irregularidad en el ciclo menstrual
	Progesterona	Útero	Estimula el recimiento del útero durante la gestación.	Aborto
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 del sodio, cloro y agua a nivel de los túbulos renales.	Hipogonadismo Retardo en la aparición de los caracteres sexuales secundarios Disminución de la líbido Disminución del volumen de semen y espermatozoides

Un ejemplo de regulación endocrina es el de la normalización del azúcar en la sangre (glicemia). Cuando se eleva la concentración de glucosa en sangre, se estimulan los receptores de membrana de las células de los islotes de Langerhans (páncreas endocrino), aquí se secreta la hormona insulina que es transportada por la sangre hacia las células, provocando la entrada de glucosa a estas, por consiguiente, la disminución de su concentración en sangre. Esta respuesta fisiológica constituye un nuevo estímulo, que por retroalimentación negativa, provoca la inhibición de la secreción de insulina por el páncreas endocrino.

Si por el contrario disminuye la concentración de glucosa en sangre por debajo de los niveles normales, se estimulan otras células del páncreas endocrino que secretan glucagón. Esta hormona es conducida hacia las células hepáticas y estimula la liberación de la glucosa hacia la sangre, por lo que aumenta su concentración en esta última (Esquema 2.3).

El incremento de la glucosa en la sangre constituye un estímulo desencadenante de mecanismos de retroalimentación negativa, que producen la disminución de la secreción de glucagón por el páncreas endocrino.



Esquema 2.3 Proceso de regulación de la glicemia

2.2.3 ¿Qué hacer para prevenir y tratar las enfermedades endocrinas?

Son disímiles los daños que pueden causar a los organismos la contaminación ambiental (figura 2.17), por lo que los investigadores profundizan en su prevención.

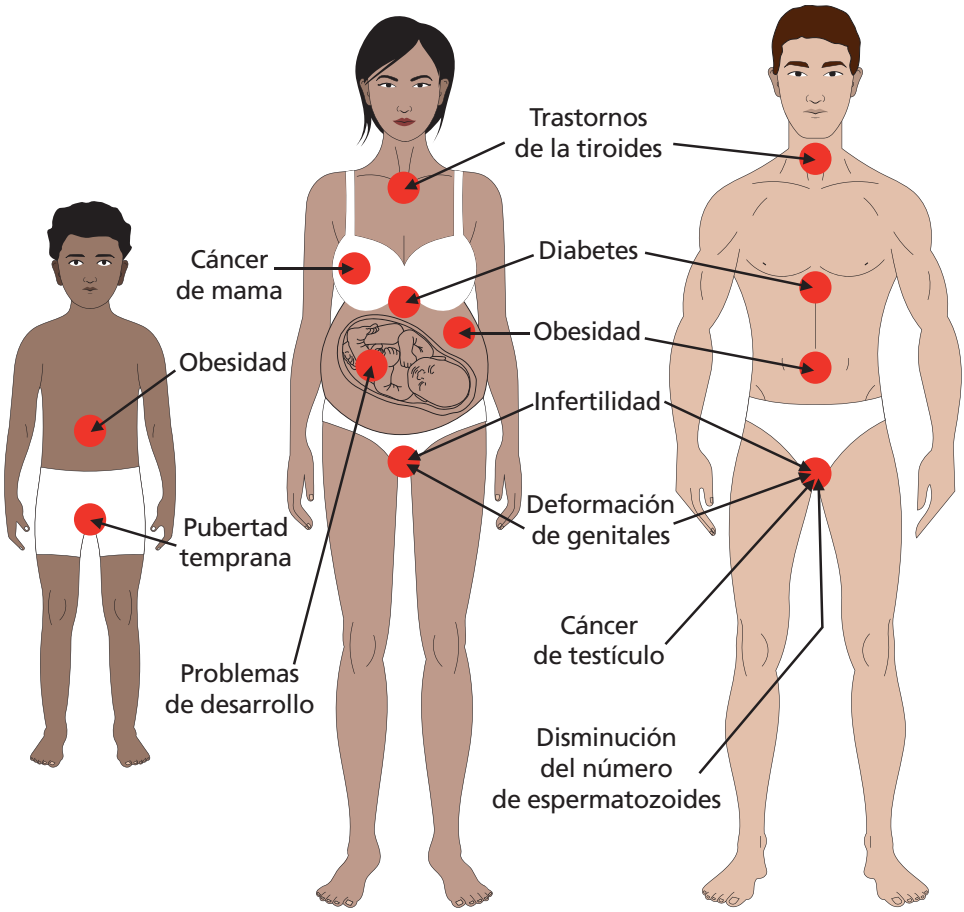


Fig. 2.17 Efectos de los contaminantes ambientales sobre el sistema endocrino

A lo largo de la historia de la humanidad, en su interacción con el medio ambiente, el ser humano ha aprendido a conocerlo y modificarlo, y se esfuerza en utilizar sus recursos de una manera sostenible con la finalidad de protegerlo. No obstante, en ocasiones provoca su destrucción, su

interacción con la naturaleza no siempre es adecuada, pues en algunos casos se aplican los avances de la ciencia y la tecnología sin cumplir las medidas de protección del entorno.

Un ejemplo común del daño ocasionado al entorno lo constituye la gran cantidad de sustancias nocivas que se pueden encontrar en el aire, el agua, los suelos y en los alimentos, como resultado de la actividad humana, algunas de las cuales han perturbado el funcionamiento del organismo en los animales expuestos a su acción, incluso en la especie humana.

Estos compuestos son de estructura y origen diversos, entre ellos se encuentran plásticos, plaguicidas, diferentes tipos de detergentes y desechos industriales. A muchos de estos elementos se les conoce como perturbadores o disruptores endocrinos, porque dañan el funcionamiento normal del sistema endocrino de diferentes especies.

En investigaciones realizadas en animales silvestres, de laboratorio y en cultivos celulares expuestos a algunos de estos perturbadores, se ha observado una **reducción** en la producción de hormonas tiroideas, otras de estas sustancias, en dependencia del tipo o de su acción, bloquean la acción de las hormonas sexuales.

Otros efectos nocivos causados por estas sustancias que han sido identificados y descritos, son la feminización de los machos y masculinización de las hembras, el cáncer del aparato reproductivo, malformaciones en los órganos sexuales, niveles anormales de hormonas en sangre, disminución de la calidad del semen y de la fertilidad.

En la actualidad se investiga sobre la posibilidad de que los perturbadores endocrinos puedan afectar a los seres humanos, y el posible vínculo de los herbicidas dispersos en ríos y aguas subterráneas, con la secreción de una menor cantidad de semen y con la aparición de una menopausia precoz.

Si fuéramos conscientes del riesgo a que estamos sometidos con la presencia de perturbadores endocrinos, tomaríamos medidas para evitar daños en las poblaciones de organismos de la naturaleza expuestos a la acción de estos.

Comprueba lo aprendido

1. Valora el siguiente planteamiento: a pesar de no presentar órganos especializados en la función de regulación, las plantas logran mantener la homeostasia.

2. ¿Cómo ocurre la regulación hormonal en las plantas? Explica mediante el ejemplo de una fitohormona. Apóyate en un esquema creado por ti basado en el patrón general de regulación.

3. Demuestra mediante ejemplos la afirmación siguiente: en la regulación de las plantas el balance fitohormonal es de gran importancia.

4. Se colocan en dos cajas (A y B) plátanos verdes procedentes de un mismo racimo, en la caja A se ponen varios plátanos maduros. Al cabo de un tiempo se observa que los de la caja B se mantienen verdes mientras que los de la caja A están todos maduros. ¿Cómo explicarías los resultados de este experimento?

5. Si conocemos que la paratohormona es una hormona secretada por la glándula paratiroides, que aumenta la concentración de calcio en los líquidos corporales, y sus órganos blancos son los huesos y los túbulos renales:

a) Explica y modela el proceso de regulación que permite el mantenimiento de los valores normales de calcio. Básate en un esquema creado a partir del patrón general de regulación.

b) Teniendo en cuenta las características del sistema endocrino, explica cómo opera en este caso la retroalimentación, en el mantenimiento de la homeostasia.

c) Menciona tres características generales del sistema endocrino.

6. Analiza el proceso de regulación de la glucosa en sangre y propón una hipótesis que te permita explicar las diferencias entre la diabetes insulinodependiente y la no insulinodependiente.

7. ¿Qué medidas higiénicas debemos tener en cuenta para mantener el buen funcionamiento del sistema endocrino?

8. Ejemplifica cómo se manifiesta la relación organismo-ambiente en la regulación endocrina.

9. Valora cómo la regulación endocrina participa en la integridad biótica y el mantenimiento de la homeostasia. Demuéstralo mediante un ejemplo.

2.3 La regulación nerviosa da respuestas adaptativas a los estímulos y contribuye a la homeostasia.

La diversidad de organismos que existe en la naturaleza trae consigo la presencia en las especies, de gran variedad de respuestas ante estímulos ambientales, que les permiten su perpetuación y supervivencia. Ejemplo de esto lo tenemos en el pavo real, que expande sus plumas a manera de cortejo, con lo que logra atraer a su pareja; este comportamiento constituye una adaptación a la reproducción sexual. Otro ejemplo lo tenemos en las reacciones de alarma y huida de algunos animales ante la presencia de un depredador, mientras que los animales más fuertes, (depredadores) capturan las presas que le sirven de alimentación a ellos y a sus crías (figura 2.18).

Fig. 2.18 Adaptaciones de algunas especies en la naturaleza

- ¿Qué adaptaciones presentan los animales que les permiten la regulación nerviosa?

- ¿Cómo se ha incrementado durante el proceso evolutivo la complejidad en la realización de esta función?

La forma de vida de un organismo está relacionada con la organización y complejidad de sus células, tejidos, órganos, y sistemas de órganos especializados en la autorregulación. Como planteamos anteriormente, todos los organismos pueden reaccionar ante los estímulos del medio ambiente por presentar propiedad de irritabilidad. Hemos estudiado también que la regulación hormonal depende de mensajeros químicos.

Este epígrafe lo dedicaremos al estudio de la regulación nerviosa, exclusiva de los animales. La complejidad de la regulación nerviosa de un organismo animal depende del grado de especialización de este, lo que es una muestra más del proceso evolutivo.

2.3.1 ¿Qué hitos evidencian el desarrollo de la regulación nerviosa en los organismos durante el proceso evolutivo?

Los organismos unicelulares responden a los estímulos solamente mediante la irritabilidad, por su poca complejidad estructural y funcional. Esta propiedad, pone en marcha otras como la contractilidad, y la elasticidad que también generan acciones como el movimiento de cilios, flagelos, emisión de seudópodos, secreción de sustancias, etc.

En los animales más simples como los celenterados, se observa una forma primitiva de grupos neuronales, ya que presentan células receptoras sensoriales relacionadas funcionalmente con células efectoras. Otros celenterados más complejos, como la hidra y las medusas, presentan una red nerviosa difusa en la que se encuentra un tercer tipo de célula llamadas neuronas intercaladas, que enlazan a las células sensoriales con otras células nerviosas que transmiten la información a las efectoras.

Las medusas y otros celenterados más complejos presentan tendencia a la **ganglionización**, proceso en el que las neuronas de los ganglios nerviosos se relacionan entre sí y tienen función integradora. Esta es una característica de grupos de animales como platelmintos de vida libre, anélidos y artrópodos, entre otros (figura 2.19 A y B).

La tendencia a la **centralización** y a la **cefalización** es característica del desarrollo del sistema nervioso a partir de los platelmintos. La

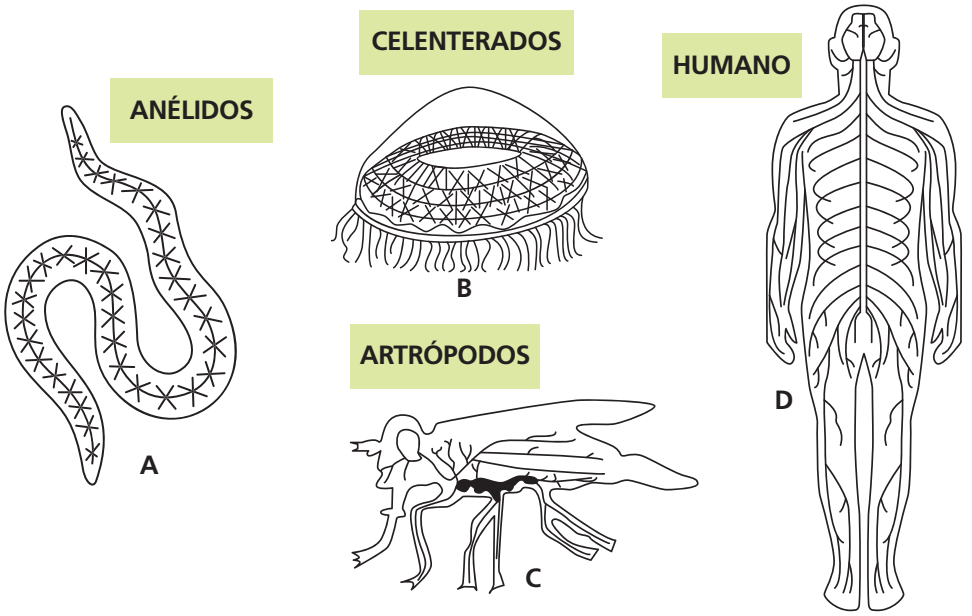


Fig. 2.19 Sistema nervioso de diferentes especies animales

centralización es la concentración de ganglios hacia el interior del cuerpo, lo que da lugar a un esbozo del sistema nervioso central (figura 2.19 C). La cefalización es cuando predomina un ganglio en la región cefálica que coordina el funcionamiento del resto (figura 2.19 D).

En grupos de organismos como los artrópodos (mosca ***Drosophila***) y los anélidos (lombriz de tierra) el sistema nervioso es ganglionar y segmentado, esta segmentación del sistema nervioso posibilita cierta integración de la información dentro de cada segmento, entre los segmentos y entre los segmentos y el ganglio cefálico. El desarrollo de los **telerreceptores** es un hito evolutivo distintivo de los insectos que contribuyó a su diversificación.

Los cordados, incluyendo a los humanos, presentan sistema nervioso segmentario, gran desarrollo de la cefalización, desarrollo de órganos sensoriales y motores, y organización suprasegmentaria.

El sistema neurovegetativo o autónomo (figura 2.20), que también forma parte del sistema nervioso, está constituido por un conjunto de órganos que participan en la regulación de procesos que se llevan a cabo en las funciones vegetativas, como la secreción salival, la deglución, la movilidad, la contracción cardíaca, la presión arterial, la sudoración, secreciones gastrointestinales y la micción, entre otras.

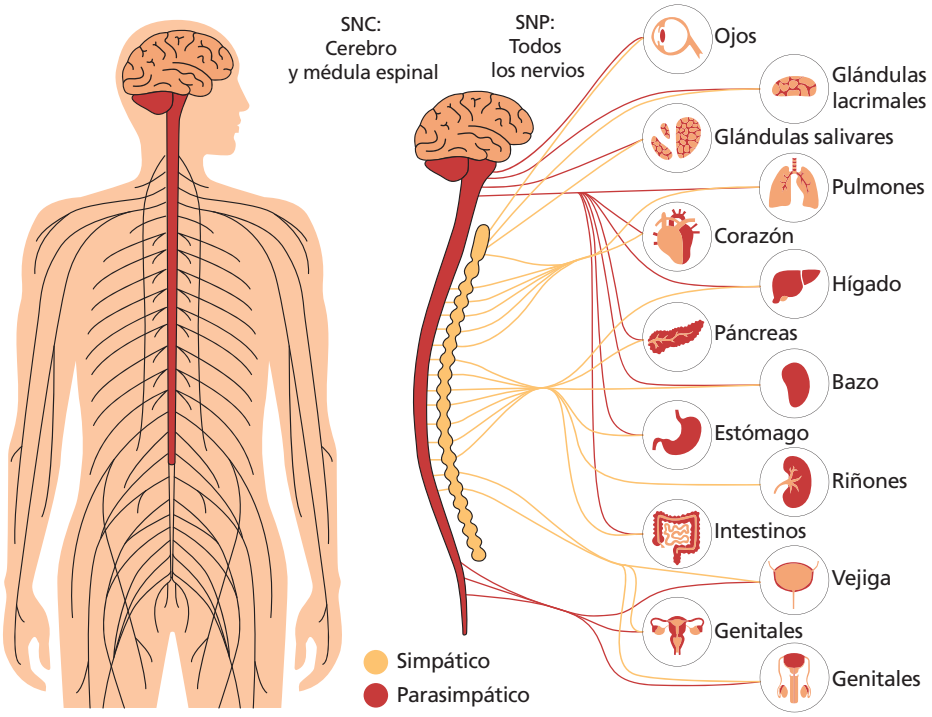


Fig. 2.20 Sistema neurovegetativo

La autonomía de este sistema está dada porque los reflejos en que se basa su funcionamiento, no son regulados a voluntad por el individuo.

¿? ¿Sabías que...?

Hasta hace poco tiempo se consideraba que las células nerviosas no se modificaban ni sufrían división después del nacimiento; recientemente se ha demostrado que esto es un mito, pues en el adulto también se forman nuevas neuronas. La neurogénesis es el proceso que ha sido ampliamente estudiado en la actualidad, mediante el cual se generan nuevas neuronas a partir de células progenitoras. Las aplicaciones de los resultados de estas investigaciones han revolucionado las tecnologías empleadas en el tratamiento médico de diferentes enfermedades degenerativas.

Las neuronas varían en su estructura; pueden ser monopolares, bipolares y multipolares en dependencia del número de prolongaciones que presentan. Desde el punto de vista funcional se clasifican en sensoriales, intercaladas o de asociación, y motoras.

Analicemos la estructura y funcionamiento de una neurona multipolar (figura 2.21). Esta presenta cuatro componentes fundamentales: dendritas, cuerpo o soma, axón y la terminal sináptica.

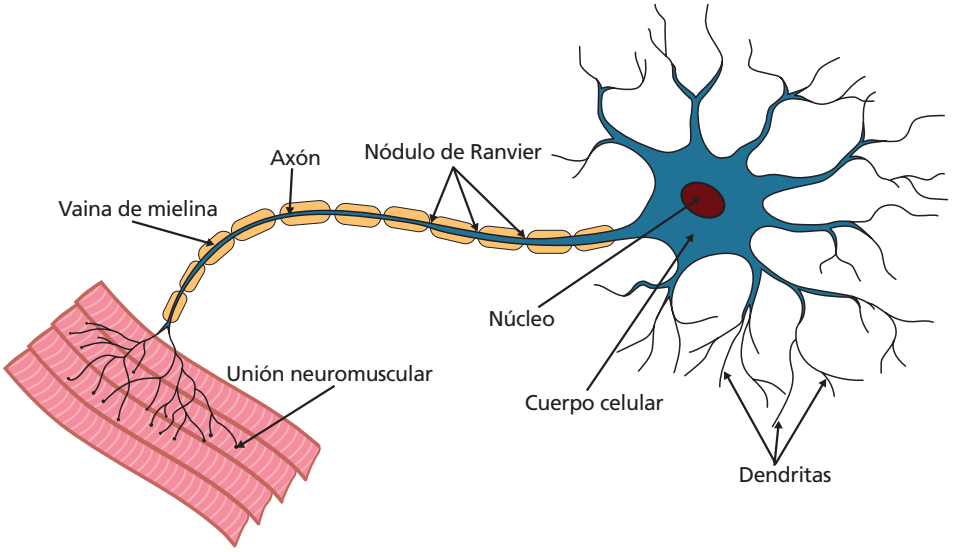


Fig. 2.21 Representación de una neurona multipolar

Las dendritas son prolongaciones ramificadas del cuerpo de la neurona que responden al estímulo de otras neuronas. Son muchas sus ramificaciones, y presentan proteínas con función de receptores en sus membranas, por lo que constituyen el área de recepción de señales.

Las señales eléctricas que viajan por las dendritas, llegan al cuerpo celular que integra estas señales en forma de impulsos nerviosos. En este cuerpo neuronal se encuentra el núcleo, que contiene uno o dos nucléolos, y orgánulos celulares como el complejo de Golgi y el retículo endoplásmico.

Desde el cuerpo de la neurona se extiende una fibra larga llamada axón, que puede presentar o no una vaina de mielina. La mielina es un material lipoproteico que permite la transmisión de los impulsos nerviosos a distancias relativamente largas, debido a su efecto aislante. La vaina de mielina presenta interrupciones denominados nódulos de Ranvier.

¿? ¿Sabías que...?

Las neuronas son las células más largas del organismo, pues un axón puede llegar a medir un metro de longitud.

Los axones de muchas neuronas se unen y forman haces llamados nervios. A través del axón los impulsos nerviosos son conducidos hasta el extremo de este (llamada terminal sináptica), que puede ser una relación neuromuscular o una sinapsis con otra neurona.

Saber más

Las interrupciones en la vaina de mielina determinan que la conducción del impulso nervioso se efectúe a saltos. Los animales cuyos nervios presentan vaina de mielina, tienen una velocidad de conducción del impulso nervioso muy alta que pudiera llegar hasta 120 m/s. Esto constituye una adaptación que permite respuestas más rápidas ante los estímulos del medio ambiente.

2.3.2 ¿Qué procesos dan respuestas a los estímulos en los animales?

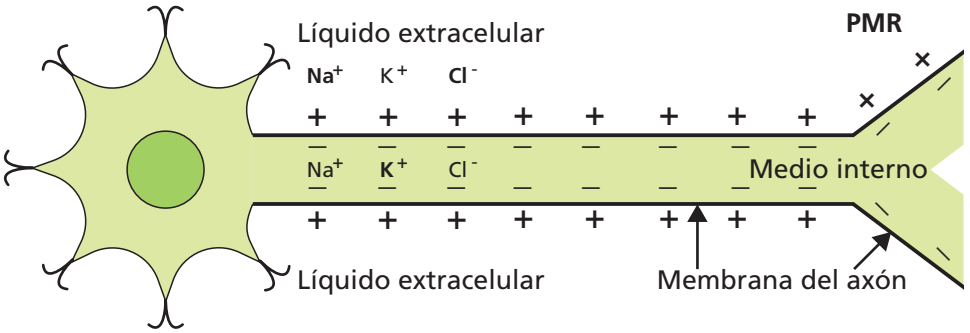
A lo largo del proceso evolutivo en los organismos pluricelulares, determinadas células desarrollaron mayor capacidad de irritabilidad, lo que conllevó al desarrollo de **células excitables**, como las neuronas y como las fibras del tejido muscular, que es el que predomina en los músculos.

La **excitabilidad** es una forma particular de la irritabilidad, y constituye una propiedad de algunos tipos de células, que les permite detectar variaciones muy pequeñas de energía en el medio que las rodea, y responder ante ellas con alteraciones de su **potencial de membrana en reposo** y su metabolismo.

Recordemos que el potencial de membrana en reposo (PMR) es la diferencia de potencial eléctrico entre el exterior y el interior de la membrana citoplasmática cuando la célula no ha sido estimulada, es decir, el interior de la célula está cargado de forma negativa mientras que su exterior es positivo (esquema 2.4). Las variaciones del potencial de membrana en reposo constituyen la base fundamental de la excitabilidad.

El sistema nervioso es el sistema de regulación especializado (debido a la propiedad de excitabilidad de las neuronas) en detectar, transformar, conducir, transmitir, procesar, y almacenar información, produciendo en consecuencia una respuesta adaptativa.

La disposición de los componentes del arco reflejo (figura 2.22) hace posible la activación de las propiedades de los actos reflejos (excitabilidad,



Esquema 2.4 Representación esquemática de la distribución de iones y cargas en el potencial en reposo (PMR)

transducción de señales, conductibilidad, etc.). Esto nos permite confirmar, una vez más, la estrecha relación de dependencia que existe entre estructura, propiedades y funciones de la materia viva.

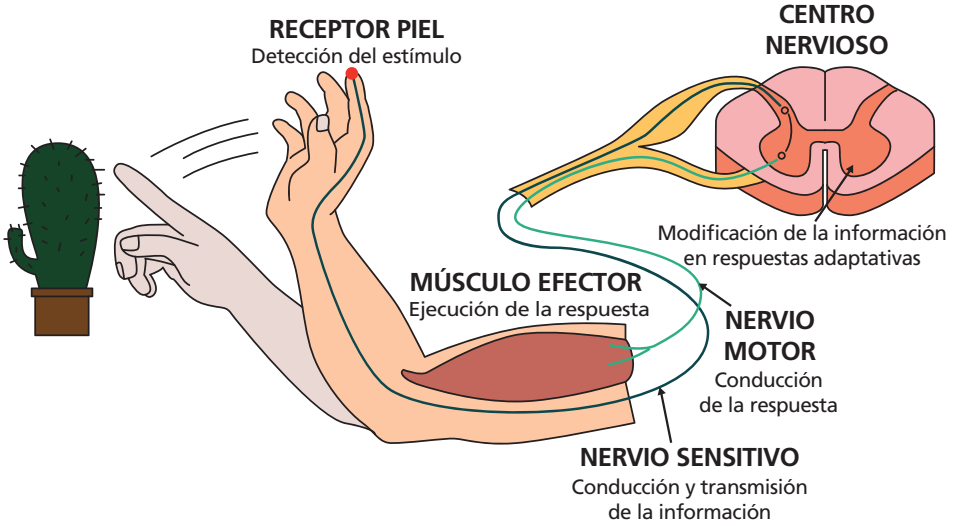


Fig. 2.22 Arco reflejo

Cuando recibimos un pinchazo en la mano, este estímulo es detectado por las células receptoras de la piel, allí esta información es transformada en una señal eléctrica y de inmediato se genera un impulso nervioso que es conducido por la vía aferente o sensitiva hasta las neuronas situadas en el centro nervioso. Aquí se procesa la información, y se elabora una respuesta que es conducida en forma de impulso nervioso por vía eferente o

motora hasta los músculos del brazo (efector), que ejecutan la respuesta: el movimiento de retirarlo.

La membrana citoplasmática de todas las células, funciona como una barrera semipermeable y selectiva en el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior de la célula. Esto hace que exista una diferencia en la composición química entre ambos lados de la membrana, lo que crea una diferencia de potencial al ser el exterior positivo y el interior negativo; ejemplo de esto es que en el citoplasma de la célula la concentración de los iones Na^+ y Cl^- es menor y la de K^+ es mayor que en el líquido extracelular.

El hecho de que la cara interna de la membrana tenga carga negativa se debe a que las proteínas intracelulares en forma de aniones no atraviesan la membrana, sino que se acumulan en el interior de la célula, de esta forma las cargas positivas quedan en el exterior. Esta diferencia de la composición química y de potencial entre el interior y el exterior de las células es una de sus principales características.

A la diferencia de cargas entre ambos lados de la membrana cuando la célula no ha sido estimulada, se le denomina potencial de membrana en reposo (PMR). Los estímulos alteran la permeabilidad de la membrana e inducen su despolarización, generándose así el impulso nervioso.

Cuando ocurre el acto reflejo, se producen variaciones del potencial de membrana en reposo (PMR) que se deben al movimiento de los diferentes iones a través de la membrana citoplasmática, entre los que desempeñan una función fundamental, el sodio, el potasio y el cloro.

Cuando se recibe un estímulo, el receptor transforma la energía en una señal eléctrica, que induce la generación del impulso nervioso (figura 2.23).

Todos los receptores sensoriales producen señales eléctricas en respuesta a un tipo de estímulo específico. Existen receptores llamados terminaciones nerviosas libres, que son ramificaciones de las dendritas de las neuronas sensoriales; otros receptores poseen corpúsculos especializados que les posibilitan responder ante estímulos específicos. En órganos sensoriales como los ojos, los oídos, la piel, la nariz y la lengua, estos detectan la luz, los sonidos, el contacto con objetos, los olores y sabores, y el procesamiento de esta información da lugar a lo que conocemos como nuestros sentidos: visión, audición, tacto, olfato y gusto.

¿Cómo es posible detectar estímulos tan diversos como el sonido, la iluminación, la temperatura, los cambios mecánicos producidos por el

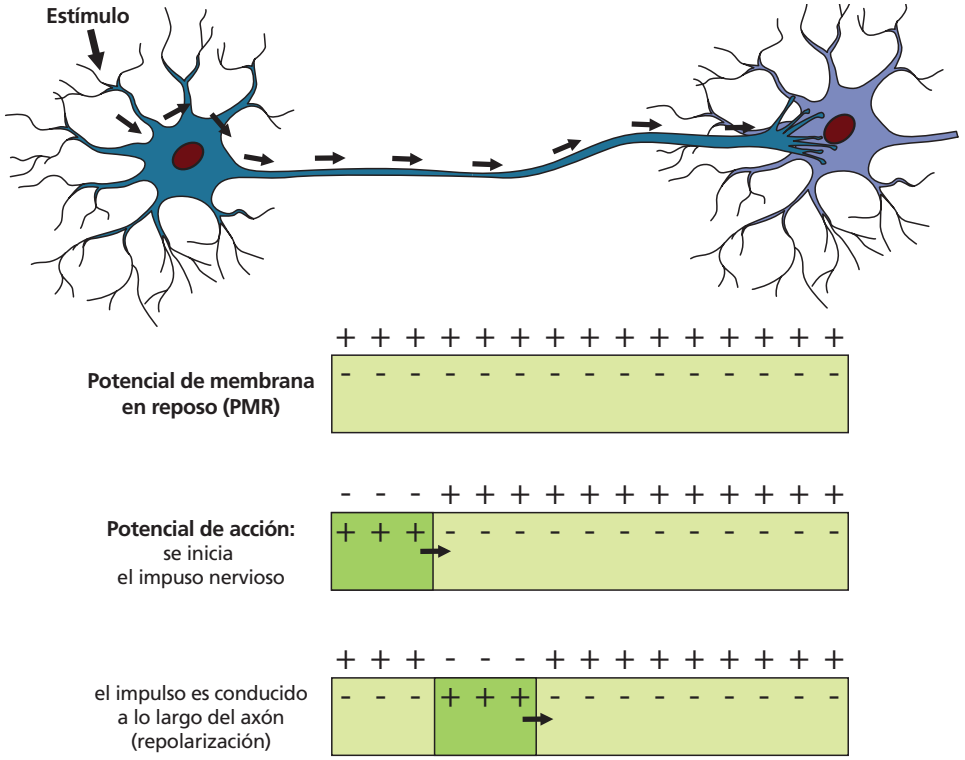


Fig. 2.23 Generación del **potencial de acción**

contacto de un objeto con la piel y la presencia de diferentes sustancias químicas en nuestros alimentos?

La detección, comunicación y transformación de la información a nivel celular se realiza mediante pequeños cambios en la propiedad de permeabilidad selectiva de la membrana citoplasmática.

La presencia en los animales de diferentes tipos de receptores: auditivos, visuales, gustativos y mecanoceptivos entre otros, hace posible la detección de diferentes estímulos. Veamos algunos ejemplos de cómo sus características estructurales permiten sus funciones como receptores.

Los mecanoceptores se encuentran en todo el cuerpo; la piel cuenta con varios tipos de neuronas mecanoceptoras, cuyas dendritas generan un potencial receptor y responden a la presión o la vibración cuando su membrana se comprime o estira. Los receptores de estiramiento están presentes en muchos órganos internos y los sensores de posición se localizan en las articulaciones.

Las dendritas de algunos receptores de presión son terminaciones nerviosas libres que permiten percibir los cambios de temperatura y el dolor, y generar sensaciones de cosquilleo o de contacto. Existen otros receptores cuyas terminaciones se encuentran dentro de capas de tejido conectivo; entre estos receptores se encuentran: el corpúsculo de Meissner capta toques leves y movimientos rápidos, el corpúsculo de Pacini, que responde a movimientos rápidos, el órgano terminal de Ruffini posibilita sentir presión (figura 2.24).

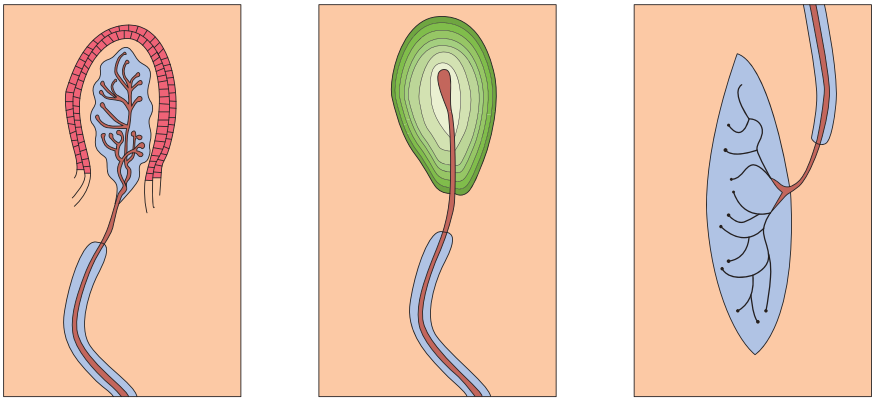


Fig. 2.24 Receptores humanos

En órganos como el estómago, el intestino, el recto y la vejiga urinaria, existen mecanoceptores que al percibir estiramiento producen la sensación de estar llenos.

Cuando un objeto vibra, produce un sonido que es transmitido a través del aire. Esto es captado por el oído que detecta su dirección, el tono y la intensidad. Los receptores olfatorios detectan los olores de las sustancias, al ponerse en contacto con las moléculas de olor emitidas por estas, que se encuentran en el aire.

En el epitelio de la porción superior de las fosas nasales se encuentran los receptores olfatorios de los humanos y de casi todos los vertebrados (figura 2.24). Estos presentan dendritas que se proyectan hacia las fosas nasales y están envueltos en una capa de moco. Las moléculas odoríferas del aire, se difunden al interior de la capa de moco y se unen a receptores en las dendritas. Cada tipo de molécula se une a una proteína receptora

con especificidad hacia dicha molécula. Esto constituye un estímulo en el receptor olfatorio que envía esta información al cerebro.

Muchos olores son mezcla de diferentes moléculas que estimulan varias proteínas receptoras, por lo que la percepción de los olores surge de las respuestas a múltiples receptores.

¿Cómo puede el impulso nervioso pasar de una célula a otra?

La transmisión del impulso nervioso desde una neurona hacia la siguiente se produce mediante la sinapsis.

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.

En la sinapsis intervienen tres zonas estructurales que son:

- la zona presináptica en la que se encuentra un gran número de mitocondrias y vesículas sinápticas que contienen neurotransmisores, y que está delimitada por una membrana del mismo nombre;
- la hendidura sináptica que es el espacio entre las neuronas presináptica y postsináptica, y
- la zona postsináptica que contiene numerosas mitocondrias, y al igual que en la anterior la recubre una membrana con el mismo nombre de la neurona (figura 2.25).

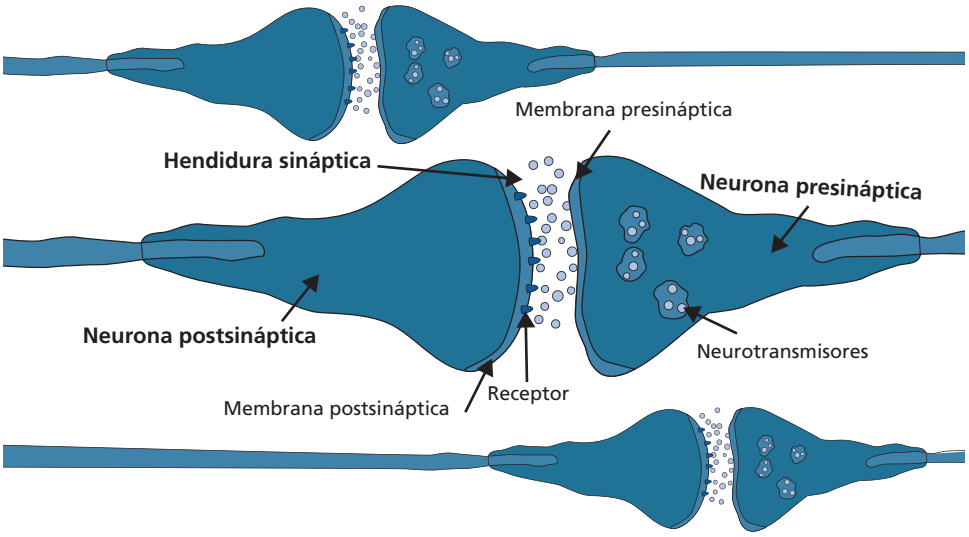


Fig. 2.25 Estructura de la sinapsis

Los neurotransmisores o neuromediadores son biomoléculas secretadas por unas vesículas presentes en el extremo del axón de la neurona. Estos transmiten información a la neurona consecutiva a través de la sinapsis, al estimular a la membrana de dicha neurona, generando en ella un impulso nervioso.

Al llegar el impulso nervioso a las vesículas sinápticas, estas liberan los neurotransmisores o mediadores químicos, que atraviesan la hendidura sináptica y se unen a las proteínas receptoras situadas en la membrana postsináptica, lo que constituye en esta un estímulo que genera una señal eléctrica: el impulso nervioso. De esta, forma pasa la información de una neurona a la siguiente.

Como has estudiado anteriormente, la información detectada por los receptores es convertida en impulso nervioso que viaja por vía aferente hasta los centros nerviosos localizados en el encéfalo y la médula espinal. En estos centros recorre los "circuitos" formados por numerosas neuronas interconectadas en forma de complejas "redes", allí se procesa, se transforma, y se elabora una respuesta.

La información relacionada con la respuesta que se elaboró en el centro nervioso, viaja en forma de impulso y es conducida a través del axón neuronal hasta el efector, que puede ser cualquier órgano (un músculo, una glándula, el corazón, etc.), cuya respuesta dependerá del estímulo. Por ejemplo, si el efector es una glándula salival, la respuesta puede ser el vertimiento de sus secreciones en la cavidad bucal.

El conocimiento de cómo se genera, conduce y transmite el impulso nervioso, es fundamental para que puedas dar respuestas a las preguntas de inicio del capítulo, y que te servirán de guía en las decisiones que tomes.

2.3.3 ¿Por qué se considera al cerebro humano como órgano de gran complejidad?

Se considera que el siglo XXI es el "siglo del cerebro" ya que en el mundo se realizan, numerosas investigaciones que permiten estudiar y descubrir cómo proteger, curar y restaurar las funciones de este importante órgano.

El cerebro es el centro más importante del sistema nervioso, mediante este regulamos nuestros pensamientos, sentimientos y actuaciones. Como conoces, el origen de nuestra especie estuvo condicionado al desarrollo

del cerebro; este hecho permitió que a diferencia de otras especies, hayamos logrado proyectar y ejecutar acciones, controlar nuestros impulsos, aprender de las experiencias cotidianas, adaptarnos a las inclemencias del ambiente con inteligencia y creatividad, transformando los objetos de la naturaleza, lo que nos ha permitido conquistarla en favor de la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de las sociedades.

- ¿Cómo funciona nuestro cerebro, que ha permitido alcanzar el nivel de civilización y desarrollo de nuestra sociedad actual?
- ¿Se pudiera considerar el cerebro como el órgano más complejo desarrollado durante el proceso evolutivo?
- ¿Cómo podemos ayudar a que nuestro cerebro funcione de manera más eficaz?

Estas y otras cuestiones podrás analizar en el estudio de este apartado, con el que tomarás conciencia de la importancia de adoptar medidas de prevención dirigidas a garantizar un funcionamiento más eficaz de nuestro cerebro.

El cerebro es el órgano más importante y complejo del sistema nervioso, este es el centro de diversas funciones: motoras, sensoriales, reflejas, sensitivas, afectivas, cognitivas y conductuales, y se relaciona con los demás órganos del sistema, en la ejecución de estas.

Cada hemisferio cerebral controla la actividad de la parte contraria del cuerpo, y de ahí mismo recibe información; a este fenómeno se le denomina lateralización hemisférica. El hemisferio izquierdo del cerebro controla el área motriz que rige los movimientos manuales más hábiles en la mayoría de los individuos, el lenguaje articulado, la escritura, la numeración, las matemáticas y la lógica, con las facultades de transformar un conjunto de informaciones en palabras, gestos y pensamientos. Este es el centro de la expresión, del manejo de la información lógica, la atención focalizada, del control del tiempo, la planificación, la ejecución, la toma de decisiones y de la memoria a largo plazo. Una afección seria en este hemisferio, puede producir pérdidas funcionales, del habla y afectar destrezas motoras en el lado derecho del cuerpo.

Por su parte, el hemisferio derecho del cerebro realiza tantas funciones especializadas como el izquierdo, y su forma de elaborar y procesar la información es diferente a la de este. Es un hemisferio integrador, centro de las facultades viso-espaciales no verbales, especializado en sensaciones,

sentimientos, habilidades especiales como las visuales y sonoras, por ejemplo las artísticas y musicales.

Las neuronas de la sustancia gris de la corteza cerebral, reciben información sensorial, la procesan, almacenan una parte de esta en la memoria, dirigen movimientos voluntarios y nos permiten pensar.

¿Sabías que...?

El cerebro humano tiene un peso promedio de aproximadamente 1.330 gramos (3 libras), lo que constituye el 2 por ciento de la masa de todo nuestro cuerpo, sin embargo, utiliza el 25 por ciento de las calorías consumidas en nuestra dieta. Consta de unos 86.000 millones de neuronas, lo que significa que necesita unas 516 calorías por día. Las neuroglias constituyen más de la mitad de su volumen.

La conducta humana es el resultado del control que ejerce la corteza cerebral sobre la región subcortical del cerebro, que regula procesos más primitivos como las emociones. En la corteza cerebral están los centros del pensamiento, de los intereses, la voluntad, las conductas sociales entre otras, que diferencian el comportamiento humano del resto de los animales.

Saber más

La memoria es una función del cerebro que le posibilita al organismo codificar, almacenar y recuperar la información del pasado. Surge como resultado de las conexiones de las redes neuronales. Continuamente la corteza cerebral recibe información de los órganos sensoriales, de la cual solo una parte llega a transformarse en recuerdos. La memoria se forma en dos etapas: una memoria a corto plazo inicial, seguida de una memoria a largo plazo. La duración de la primera es corta y retiene la información de algunos datos, como un grupo de números o las palabras de una oración. En la segunda se almacena grandes secciones de información de una forma más o menos permanente.

Los diferentes procesos psíquicos son resultado de la función del cerebro y un reflejo de la realidad en interacción con el organismo, su actividad y comunicación.

El surgimiento de la **psiquis** está relacionado con la evolución de la vida, ya que al hacerse más compleja la forma de interacción de los

animales con el medio ambiente, se fueron desarrollando conexiones nerviosas con mayor especialización en el procesamiento de la información. En los animales, incluyendo a los humanos, los reflejos incondicionados y condicionados son básicos en la conducta. El desarrollo evolutivo del cerebro condujo al origen de los reflejos condicionados.

De la historia

El fisiólogo ruso Iván Petrovich Pavlov (1849-1936) fue uno de los científicos que más contribuyó al estudio de las actividades reflejas y, específicamente, a la investigación de los reflejos condicionados. En la actualidad, sus planteamientos constituyen unas de las bases científicas más importantes de la psicología materialista dialéctica del reflejo (figura 2.26).

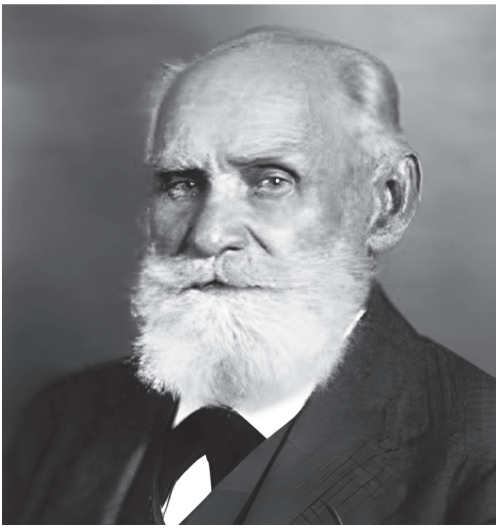


Fig. 2.26 Iván Petrovich Pavlov (1849-1936)

La psiquis es considerada una propiedad de la materia altamente organizada, que permite reflejar la realidad objetiva en forma de imágenes ideales. Se pone de manifiesto en forma de sensaciones, percepciones, representaciones, sentimientos, pensamientos, capacidades, actitudes, comportamientos, entre otros. La psicología es la ciencia social que estudia los procesos mentales (cognitivos y afectivos) que conforman la psiquis, así como la comprensión del comportamiento individual o grupal, en relación con el medio ambiente físico y social que lo rodea.

La psiquis humana es un producto histórico social; las diferencias psíquicas entre los seres humanos tienen una base hereditaria, además están determinadas por las interacciones socioculturales entre los individuos, la educación familiar e institucional, la influencia de los medios de comunicación, de los coetáneos y la comunidad, entre otros factores.

La creatividad es una capacidad de la personalidad, única del ser humano, de producir con flexibilidad nuevas ideas, conceptos y asociaciones entre diversos elementos del mundo, que habitualmente genera soluciones originales a un problema o necesidad práctica. Además de un pensamiento creativo o divergente, esta capacidad incluye otros procesos psíquicos, como son: la fuerte motivación hacia lo que se hace, imaginación creadora, perseverancia, autodeterminación, entre otros rasgos. El progreso de la sociedad humana, las revoluciones sociales, científico-técnicas, y culturales, se deben a la expresión de la creatividad de los ciudadanos.

Nuestro cerebro requiere cuidados, a fin de prevenir la aparición de enfermedades psíquicas y de que funcione adecuadamente. Entre estos cuidados se encuentran el mantener un horario regular de sueño, la planificación y el empleo sano del tiempo libre, la realización sistemática de ejercicios físicos, el consumo en la dieta de alimentos protectores como los vegetales, legumbres, pescados, semillas, entre otros, la eliminación de adicciones (tabaco, alcohol, drogas, etc.), el logro de un equilibrio emocional cultivando relaciones sociales y afectivas positivas, el mantenimiento de la actividad intelectual y la búsqueda de información mediante la lectura, el estudio, la práctica de juegos mentales, la participación en actividades sociales y culturales, entre otras.

El sueño tiene una acción reparadora en el cerebro y otros órganos, por lo que el ser humano no puede vivir sin dormir. Esta función es necesaria y fundamental pues posibilita desarrollar las actividades diarias durante la vigilia. Es un estado del organismo que se caracteriza por bajos niveles funcionales, como los latidos cardíacos y los movimientos ventilatorios, y una menor reacción ante los estímulos; se considera que el organismo se encuentra en un estado de reposo y autorregulación uniforme.

Saber más

Durante el sueño profundo se produce la restauración física del organismo, mientras que en el primer sueño ocurre la restauración cognitiva (procesos

de aprendizaje, concentración y memoria); se activa el sistema glinfático del cerebro (equivalente al sistema linfático del resto del organismo), que ayuda a que los residuos de las células cerebrales se eliminen eficazmente. Durante el sueño las células cerebrales se contraen y dejan más espacio entre ellas, esto facilita la circulación del líquido cefalorraquídeo que arrastra residuos, algunos de los cuales pueden provocar enfermedades degenerativas como el Alzheimer.

Algunas personas pueden sufrir alteraciones psíquicas, asociadas generalmente a un trastorno del funcionamiento del cerebro; entre ellas encontramos la depresión, el desorden bipolar y la esquizofrenia. Estas son estudiadas por la psiquiatría, especialidad de la medicina que trabaja en el diagnóstico, la prevención, y el tratamiento de los trastornos mentales, basándose en conocimientos biológicos, psicológicos y sociales.

La depresión se describe como un trastorno del estado de ánimo que puede ser transitorio o permanente, y se caracteriza por sentimientos de abatimiento, infelicidad y culpabilidad, además de provocar una incapacidad total o parcial para disfrutar de las cosas y de los acontecimientos de la vida cotidiana. Los trastornos depresivos pueden estar, en mayor o menor grado, acompañados de ansiedad.

El trastorno bipolar se manifiesta por estados de manías o en casos más leves hipomanías, que alternan con episodios de depresión, de forma tal manera que el enfermo oscila entre la alegría y la tristeza extremos. Es un trastorno del estado de ánimo en el que se ha detectado un desequilibrio electroquímico en los neurotransmisores cerebrales.

La esquizofrenia es un desorden mental crónico en el que las personas que la padecen presentan un pensamiento poco definido y confuso, alucinaciones auditivas y/o visuales, reducción de la expresión de las emociones e inactividad. Existe alteración del comportamiento, por lo que la conducta de estas personas resulta rara para la comunidad.

Al morir ciertas neuronas se libera un neurotransmisor denominado dopamina que interviene en el control de los movimientos, por lo que ante este evento aparecen temblor y rigidez, que se manifiestan como dificultad en el inicio de los movimientos. Este cuadro caracteriza la enfermedad de Parkinson del que, aunque se desconocen sus causas, todo parece indicar que se trata de una combinación entre factores ambientales, genéticos y el proceso normal de envejecimiento.

Otra enfermedad en la que se reporta pérdida de neuronas específicas del cerebro o de sus neurotransmisores es la enfermedad de Alzheimer. Esta se expresa cuando mueren neuronas de los lóbulos temporales que producen otro neurotransmisor denominado acetilcolina, y su síntoma cardinal es la pérdida de la memoria inmediata. Esta es una enfermedad neurodegenerativa que aparece a edad avanzada y cursa con deterioro cognitivo y trastornos conductuales. Para su prevención se recomienda la incorporación de estilos de vida saludables como la realización diaria de ejercicios físicos, evitar el estrés, mantener una dieta balanceada, realizar actividades que estimulen las funciones cognitivas como leer, jugar ajedrez, y realizar crucigramas, entre otras medidas.

Saber más

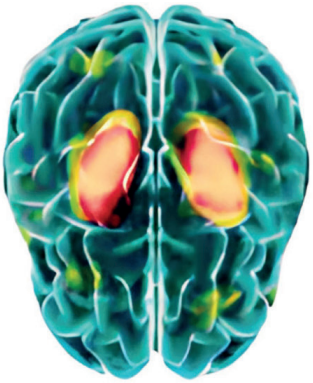
En el desarrollo de las neurociencias participan físicos, químicos, biólogos, médicos, psicólogos, profesores, e informáticos, entre otros profesionales que integran sus saberes en la ardua tarea de descubrir los misterios del cerebro. En Cuba muchas de estas investigaciones las realizan científicos de los Centros de Neurociencias y de Restauración Neurológica y el Instituto de Neurología y Neurocirugía. Estos estudios se realizan en individuos sanos o enfermos, por lo que están regulados por normas establecidas por la neurobioética, que garantizan el cumplimiento de los principios de no maleficencia, beneficencia, justicia y autonomía.

Estos son algunos ejemplos de enfermedades no transmisibles que afectan el sistema nervioso, pero no podemos olvidar que existen muchas enfermedades transmisibles provocadas por virus, bacterias u hongos. Entre estas podemos mencionar las encefalopatías y las meningoencefalitis, de gran importancia epidemiológica.

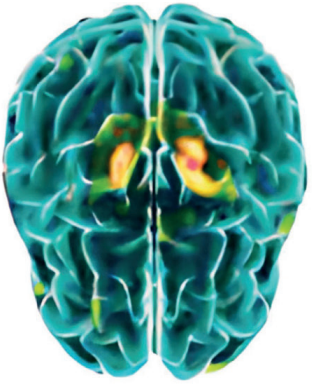
Como has visto, la homeostasia de la regulación nerviosa en los seres humanos es muy compleja, y la conducta humana no solo es un producto de esta, también puede influir positiva o negativamente tanto en ella, como en la salud del organismo.

2.3.4 ¿Qué efectos producen las drogas en el cerebro y la conducta del que las consume?

En ocasiones los jóvenes asumen conductas de riesgo porque no tienen percepción de los daños que ocasionan las drogas en su salud (figura 2.27).



CEREBRO
de persona saludable



CEREBRO
de persona con adicción

Fig. 2.27 Efecto del tabaco, el alcohol y otras drogas sobre el cerebro

En general, las drogas conducen a la adicción porque actúan sobre el sistema nervioso central y en la psiquis humana, provocando reacciones a nivel biótico y psíquico que generan cambios en la conducta y dependencia; esta no es más que la incapacidad de dejar de consumir cuando se comienza a hacerlo, unida a la necesidad de este consumo para poder ejecutar las actividades cotidianas.

Reflexiona

¿Por qué las drogas provocan adicción y convierten a las personas en sus esclavos?

La mayoría de las drogas modifican la función de los neurotransmisores, y lo pueden lograr compitiendo con los neurotransmisores naturales por sus receptores, y provocando su sustitución antinatural, o el llamado "gasto adelantado". Por lo general la neurona presináptica, inmediatamente después de liberar uno de estos neurotransmisores, comienza a reabsorberlos, con lo que limita los efectos de los mismos. Los científicos han descubierto que drogas como la cocaína bloquean los mecanismos de bombeo de los neurotransmisores, esto provoca que el neurotransmisor, al no ser reabsorbido por la neurona presináptica, alcance altos niveles de concentración y aumenten sus efectos negativos sobre la conducta del consumidor.

Reflexiona

Con el consumo de cocaína se reduce del número de receptores de neurotransmisores en las neuronas postsinápticas, por lo que se requieren elevados niveles de estos a fin de lograr una neurotransmisión normal. Al suspenderse el consumo de la droga, y las neuronas postsinápticas no ser estimuladas por esta, se genera en el consumidor la necesidad imperiosa de consumir más. Esta es una de las causas de la dependencia a las drogas, pues el individuo necesita consumir cada vez mayor cantidad, y así se produce una adicción que le acarrea graves problemas de salud, familiares, sociales y puede incluso llevarlo a la muerte. Las drogas afectan seriamente el funcionamiento de la corteza provocando lo que se denomina "liberación subcortical", que se caracteriza por los comportamientos irracionales que manifiestan las personas drogadas, totalmente carentes de pensamiento crítico y de posibilidades de autorregulación de la conducta, a partir de normas morales.

Si ya sabes cómo puedes convertirte en adicto a las drogas y las consecuencias del consumo de ellas, ¿qué conducta tomarás cuando alguien te incite a consumir tabaco, alcohol, marihuana u otra droga?

¿Sabías que...?

El alcohol, la nicotina y otros componentes del humo del cigarro interfieren en la transmisión sináptica produciendo diferentes efectos negativos a la salud.

El consumo de alcohol y otras drogas puede acarrear pérdida del autocontrol, actitudes violentas, pérdida de la memoria e incluso de conciencia, accidentes, comportamientos que ponen en riesgo la salud e integridad física y moral, etc. Esto demuestra que estas sustancias afectan no solo al sistema nervioso, sino que pueden comprometer otros sistemas que funcionan estrechamente vinculados, en el mantenimiento de la integridad biótica del organismo humano.

Reflexiona

El principio activo de la marihuana se adhiere a los receptores de cannabinoides de las neuronas cerebrales, y afecta la neurotransmisión y el funcionamiento general de estas células. Estos receptores son abundantes en las zonas del cerebro que regulan el movimiento, la coordinación, el placer y funciones cognitivas más complejas como el aprendizaje, la memoria, el

juicio, por lo que la acción de esta droga a ese nivel desata conductas impredecibles e incontrolables. La marihuana altera el funcionamiento de las áreas del cerebro que le posibilitan al individuo generar nueva información y enfocar su atención. Como resultado, su consumo afecta el desarrollo del pensamiento e interfiere con el aprendizaje, la realización de labores más complejas, y con la posibilidad de insertarse en los grupos y en la comunidad. Se ha comprobado que la marihuana provoca episodios de psicosis aguda, que se presentan con alucinaciones y pérdida de la identidad personal. Los consumidores habituales de esta droga, pueden debutar con esquizofrenia en el curso de los cinco años siguientes al inicio del consumo. Hay jóvenes que piensan que la marihuana no es tan dañina y que con probar una vez no sucede nada, ¿qué opinas tú?

Los riesgos y daños asociados a adicciones en adolescentes son sumamente peligrosos. En esta etapa del desarrollo no solo se producen cambios anatómicos y funcionales, también hay transformaciones de los procesos psíquicos que conforman la personalidad, se construye la identidad y se conforma el proyecto de vida. Es muy importante que aprendas a reconocer los riesgos, que te prepares para saber decir **NO**, ante la presión del grupo o de algún amigo, a resolver los problemas, disfrutar la vida y recrearte en el tiempo libre sin acudir al consumo de drogas. Pensar críticamente ante los problemas y asumir un estilo de vida saludable, te ayudarán en la toma de buenas decisiones y te mantendrán alejado de las drogas.

Comprueba lo aprendido

1. Explica cómo funcionan los procesos de la regulación nerviosa cuando al dar un golpe por debajo de la rótula, la pierna se eleva. Identifica el arco, el acto reflejo y los componentes del patrón general de regulación que intervienen.

2. Como resultado de un accidente una persona sufre una lesión en ciertos nervios motores que conducen impulsos nerviosos a los músculos de las extremidades inferiores. Explica qué consecuencias traería para esta persona dicha lesión, aplicando tus conocimientos sobre la función de regulación.

3. Las variaciones del potencial de membrana en reposo (PMR) constituye la base citológica de la regulación nerviosa. Valora el planteamiento anterior.

4. ¿Qué es la sinapsis? Argumenta su importancia en la transmisión del impulso nervioso.

5. Apoyándote en el libro de texto e información de internet u otras fuentes, elabora un esquema lógico de los principales hitos en el desarrollo evolutivo del sistema nervioso.

6. El cerebro es un órgano del sistema nervioso central que desempeña una importante función en la regulación del organismo. Argumenta lo anteriormente planteado.

7. ¿Qué efectos ocasionan las drogas en el funcionamiento del sistema nervioso y la salud en general? ¿Qué posición adoptarías si conocieras que algunos de tus compañeros están consumiendo alguna droga? Argumenta tu respuesta.

8. Mencione algunas medidas higiénicas que ayudan a mantener el buen funcionamiento del sistema nervioso y evitan trastornos a este nivel.

9. Valora el planteamiento siguiente: "En todos los organismos existen mecanismos de regulación en dependencia del nivel de organización que presenten".

10. Auxiliándote de esquemas lógicos creados por ti, explica la relación que existe entre los conceptos en cada uno de los grupos siguientes:
   - regulación-medio ambiente-medio interno-homeostasia-adaptación
   - información-receptores-vías-moduladores-efector-retroalimentación.

2.4 La regulación inmunitaria contribuye a la homeostasia, mediante respuestas adaptativas

El asma es una enfermedad del sistema respiratorio asociada a trastornos alérgicos, que se caracteriza por una inflamación de las vías ventilatorias.

Las manifestaciones clínicas de esta enfermedad son heterogéneas y variables, consisten en dificultad para tomar y sobre todo expulsar el aire de los pulmones, opresión torácica, tos y emisión de ruidos espiratorios agudos.

En los últimos años se ha registrado un incremento de las alergias como consecuencia de la contaminación ambiental, entre otras causas (figura 2.28). La aplicación de inmunoterapias o vacunas alergénicas específicas ha demostrado efectividad en el control y prevención de estos cuadros.

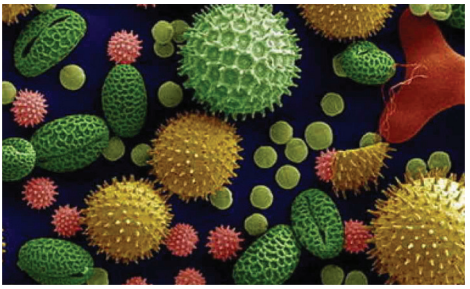


Fig. 2.28 De izquierda a derecha: mujer estornudando y granos de polen

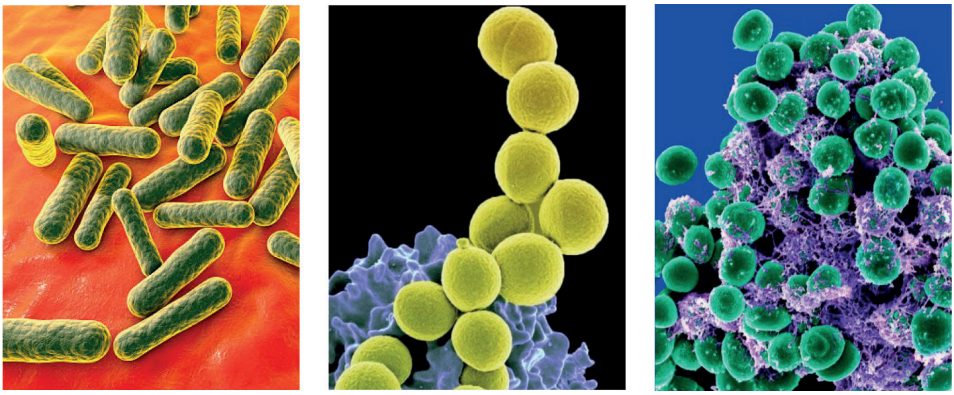
Las vacunas son una importante vía para la prevención de enfermedades provocadas por agentes patógenos. Su creación es el resultado de la aplicación de conocimientos sobre la interacción del organismo con los microorganismos patógenos u otros agentes del ambiente, en la que tiene una gran importancia una propiedad denominada **inmunidad**.

- ¿Cuáles son los procesos de regulación que confieren inmunidad a nuestro organismo ante el ataque de estos patógenos?
- ¿Cómo se ha utilizado estos conocimientos en el desarrollo de tecnologías dirigidas a la preservación de la salud y el tratamiento de enfermedades?

En este epígrafe podrás comprender cómo mediante la inmunidad, muchos organismos también responden ante cambios del medio interno o externo y mantienen la homeostasia, con lo que contribuyen a la función de regulación.

En el medio ambiente encontramos elementos que constituyen estímulos del sistema inmunitario, por lo que se consideran **antígenos**. Entre ellos tenemos el polvo, sustancias tóxicas, virus, y una extraordinaria

diversidad de microorganismos infecciosos, como bacterias, protistas y hongos, algunos de ellos parásitos, pues viven sobre o dentro del cuerpo y pueden causar enfermedades (figura 2.29).



Propionibasterium acnes *Staphylococcus aureus* *Staphylococcus epidermis*

Fig. 2.29 Bacterias patógenas

Si estamos rodeados de estos patógenos, ¿qué evita que enfermemos de manera continua ante su presencia?

La entrada de agentes infecciosos o cuerpos extraños al organismo altera el equilibrio dinámico de este y provoca inestabilidad en su medio interno, con lo que se afecta su adecuado funcionamiento. Es por esta razón que a lo largo del proceso evolutivo se han desarrollado múltiples adaptaciones dentro de las que se encuentran los sistemas de defensa, que contrarrestan el ataque de los agentes infecciosos y de toda sustancia que le resulte extraña al organismo. Estos sistemas, por su participación en la regulación, también ayudan a mantener la homeostasia a la realización de las diferentes funciones.

2.4.1 ¿Qué elementos componen la regulación inmunitaria y cómo funciona?

A la propiedad de los organismos de defenderse contra agentes infecciosos o extraños se le ha dado el nombre de inmunidad. En la actualidad ese concepto incluye también los procesos que posibilitan el reconocimiento por el organismo de sistemas o elementos ajenos y la elaboración de respuestas que permiten neutralizarlos o eliminarlos.

¿Sabías que...?

La expresión inmunidad proviene del latín ***inmunitas***, vocablo que define la protección que se ofrecía a los senadores romanos durante el ejercicio de su cargo frente a cualquier acción judicial. De aquí se deriva que inmunidad, en términos médicos, signifique protección contra la enfermedad.

La inmunidad es estudiada por la inmunología, que es la rama de las ciencias biológicas que describe y explica los mecanismos que permiten mantener constante el medio interno frente a la acción de sustancias extrañas que alteran su funcionamiento, ya sea que provengan del exterior, o componentes del propio organismo.

En los animales se identifican diversos órganos con función inmunitaria como se observa en la figura 2.30 en el caso del organismo humano. En estos órganos se forman las células y sustancias que producen la respuesta inmune.

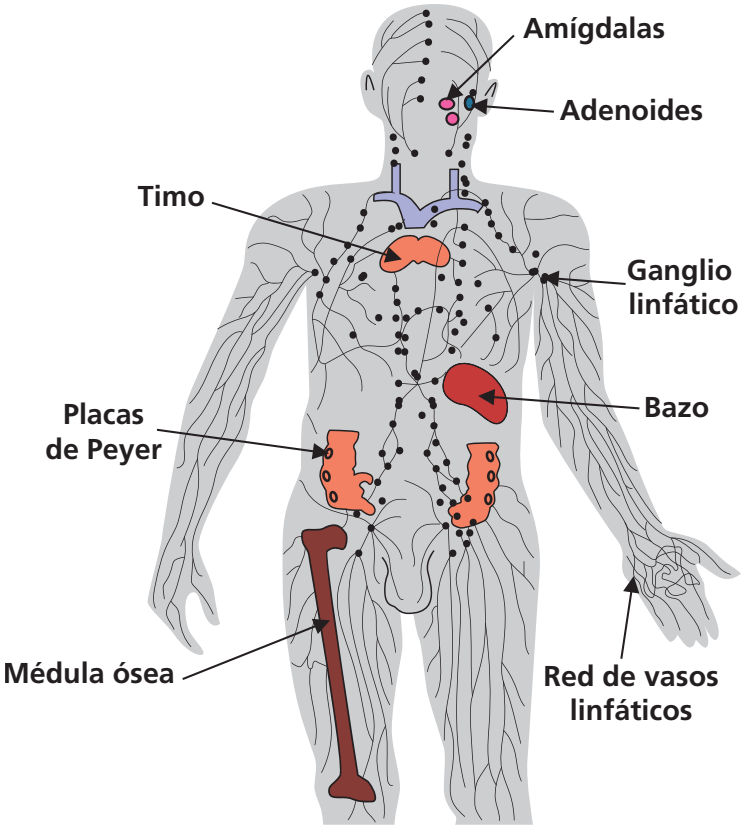


Fig. 2.30 Sistema inmunitario humano

De la historia

Durante la antigüedad se investigó sobre el fenómeno de la inmunidad. Tucídides lo documentó en la antigua Grecia utilizando por primera vez con la palabra ***"inmunitas"***. En países del Oriente y Medio Oriente como la India, Turquía y en África se emplearon métodos primitivos de inmunización, mediante la inhalación de polvos de escaras secas de viruela, o pinchazos con pus. En 1798 Edward Jenner (1749-1823) demostró que su método de vacunación con viruela vacuna en las personas era absolutamente seguro. Luis Pasteur (1879-1882) desarrolló la vacunación con microorganismos atenuados y su teoría microbiana de la enfermedad de los gérmenes. En 1892 Robert Koch (1843-1910) descubre el bacilo productor de la tuberculosis e intenta crear una vacuna contra la enfermedad.

Desde el siglo XIX hasta la actualidad se ha producido un significativo avance en la inmunología. Se destacan los estudios sobre la inmunidad humoral y la inmunidad celular con los trabajos de Paul Ehrlich (1854-1915) e Ilia Metchnikov (1885-1916), respectivamente (figura 2.31).

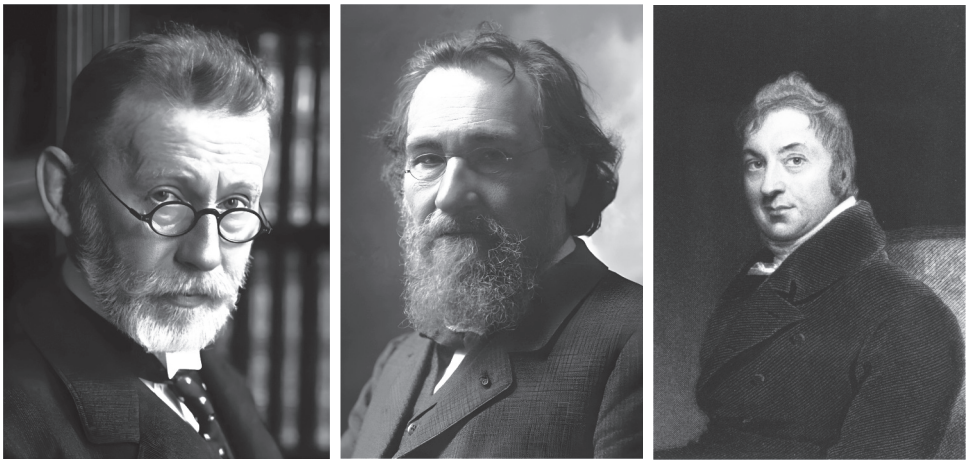
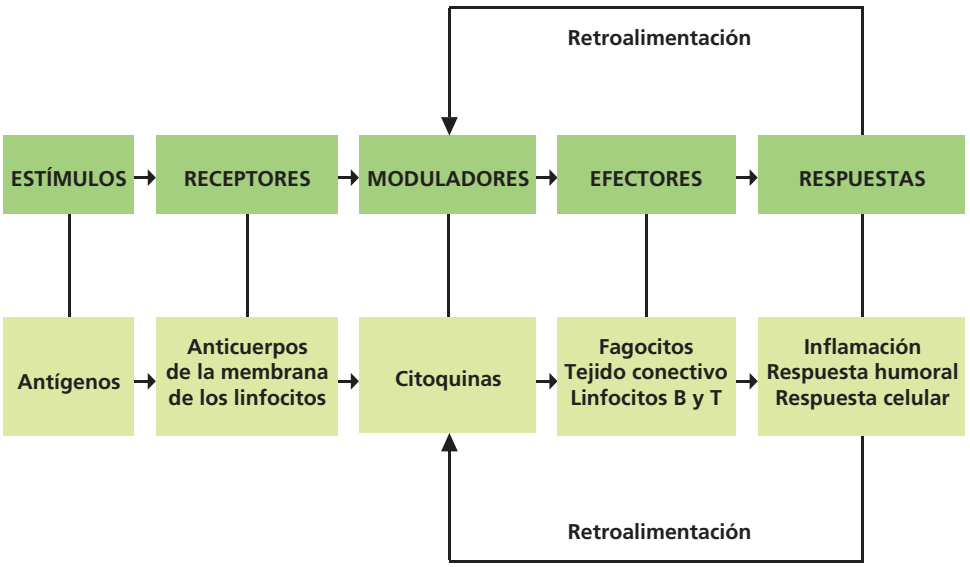


Fig. 2.31 De izquierda a derecha: Paul Ehrlich, Ilia Metchnikov y Edward-Jenner

A partir de 1948 se descubrieron los anticuerpos, producidos por los linfocitos B del plasma, la actividad del interferón y las linfocinas, estas últimas nombradas más tarde citoquinas, término que se consolida con el descubrimiento de más sustancias de ese tipo involucradas en la regulación de la inmunidad del organismo. A esta función que juega un importante

papel en la homeostasia se le denomina regulación inmunitaria, e involucra moléculas, células y órganos, en cuya función interaccionan entre sí y con el medio ambiente, siguiendo un patrón general de regulación como se analiza a continuación (esquema 2.5).



Esquema 2.5 Patrón general del proceso de regulación inmunitaria

En este caso el estímulo que desencadena el proceso de regulación es un antígeno, considerado como tal a cualquier molécula que le resulte extraña al sistema inmunitario; puede ser una proteína, un polisacárido, partes de una bacteria o de otros microorganismos, polvo, escamas de piel, células y tejidos de otros organismos, etc. Los antígenos pueden provenir del medio ambiente o generarse en el interior del organismo.

La regulación inmunitaria en los vertebrados se caracteriza por la presencia de receptores de antígenos que aparecieron por primera vez durante el proceso evolutivo, en los peces con mandíbulas.

Los linfocitos son las células fundamentales del sistema inmunitario, pues en su membrana citoplasmática se encuentran moléculas de proteína que actúan como receptores. Estas son las inmunoglobulinas o anticuerpos, que al unirse a los antígenos los neutralizan, protegiendo al organismo (figura 2.32). Existen otras células como los **macrófagos** y neutrófilos que también forman parte de este sistema.

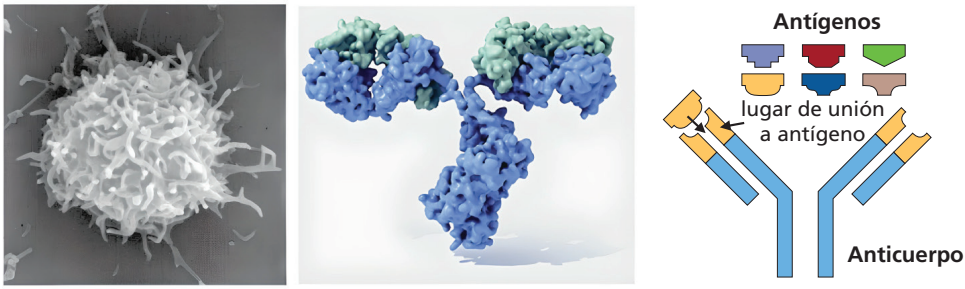


Fig. 2.32 De izquierda a derecha: linfocito, modelo tridimensional de una inmunoglobulina, y reacción antígeno-anticuerpo

¿Sabías que...?

Los linfocitos constituyen el 25% de los leucocitos sanguíneos y el 99% de las células linfáticas. Existen unos 10 billones de linfocitos en el cuerpo humano, que equivalen a la masa del cerebro.

Los linfocitos detectan los antígenos mediante las proteínas receptoras (los anticuerpos), y sintetizan moléculas de citoquinas que actúan como moduladores. Las citoquinas son liberadas al líquido intersticial y a los líquidos circulantes (linfa o sangre), así son transportadas a todo el organismo, poniéndose en contacto con otras células del sistema inmunitario que actúan como efectores.

Las citoquinas son consideradas moléculas moduladoras en este complejo proceso de regulación, porque modifican la intensidad y duración de las respuestas inmunitarias. Entre las citoquinas más conocidas se encuentran los interferones, las interleucinas y los factores de necrosis tumoral.

Estas moléculas moduladoras envían señales que activan determinados procesos inmunitarios como respuesta: la inflamación, la respuesta humoral y la celular.

Saber más

- Los interferones (alfa, beta, gamma) poseen la propiedad de interferir en la replicación de los virus en las células hospederas, además activan células inmunes e inducen el reconocimiento de células cancerígenas.

- Las interleucinas regulan las interacciones entre los linfocitos y otras células; sus efectos pueden ser generalizados.
- Los factores de necrosis tumoral (FNT) son citoquinas que al ser estimuladas por determinadas células inmunitarias producen la inflamación; estas proteínas también son capaces de combatir las células tumorales del cáncer, de ahí su denominación.

Ante la presencia de las citoquinas se pueden activar los macrófagos y otros fagocitos que actúan como efectores. Las respuestas de estas células efectoras son englobar los microbios mediante fagocitosis, e intervenir en la reacción inflamatoria. También inducen la curación de las heridas. Estos dos procesos forman parte de la llamada inmunidad natural inespecífica que estudiaste en noveno grado.

Aplicación práctica

Los investigadores del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) utilizan los conocimientos de la inmunología en la producción de diferentes medicamentos; por ejemplo el HeberFeron, que es un interferón humano recombinante, mezcla de interferones alfa y gamma, es utilizado en el tratamiento de enfermedades virales y neoplásicas, específicamente del cáncer de piel, el más frecuente dentro de esos tumores malignos.

Ante algún agente patógeno o traumatismo, las células inician una respuesta inflamatoria. La secreción de determinadas citoquinas y otras proteínas estimula a las células del tejido conectivo a liberar histamina, que es una sustancia que provoca el aumento del flujo sanguíneo en el área afectada al hacer más permeables las paredes de los capilares, y relajar el músculo liso que rodea a las arteriolas. Este proceso atrae fagocitos al área, induce la coagulación de la sangre y genera dolor, lo que promueve un comportamiento de protección y defensa del organismo (figura 2.33).

La respuesta inmunitaria descrita anteriormente ocurre de manera más inmediata ante la infección o la presencia de algún alergeno. Durante el proceso evolutivo se desarrollaron otros mecanismos de defensa ante determinados antígenos más específicos, que constituyen respuestas específicas más complejas.

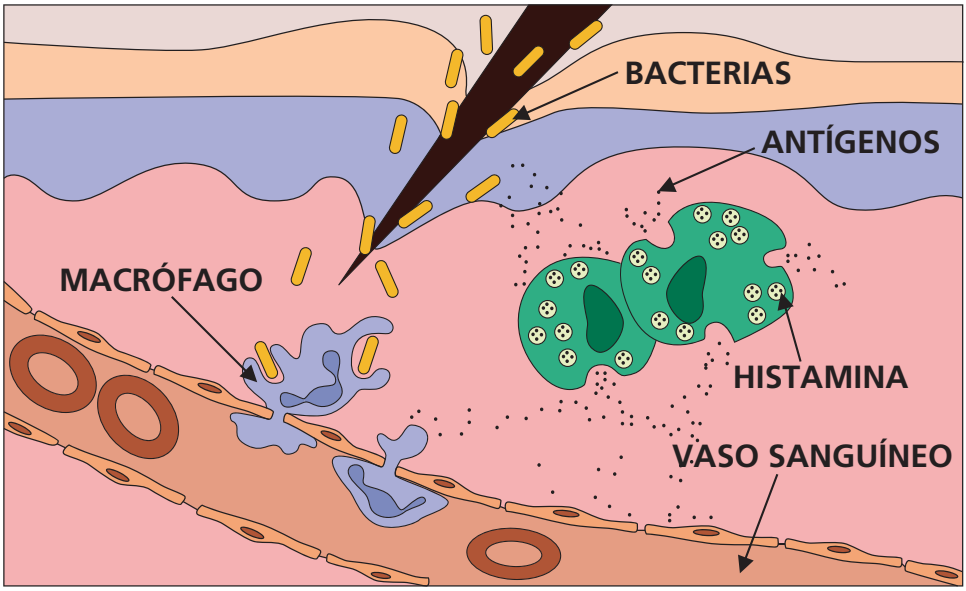


Fig. 2.33 Reacción inflamatoria

Aplicación práctica

La histamina liberada por las células del tejido conectivo en la respuesta inflamatoria, da origen a los síntomas de la reacción alérgica, de ahí la indicación de medicamentos antihistamínicos como la difenhidramina y la loratadina entre otros, en los pacientes alérgicos.

¿Cómo responde el organismo de manera específica ante los antígenos?

Existen dos tipos de respuestas inmunitarias específicas: la respuesta humoral (o molecular) y la respuesta celular.

La respuesta humoral constituye el principal proceso de defensa contra los microbios extracelulares y sus toxinas, esta, intervienen anticuerpos que se combinan con los antígenos y activan mecanismos que los neutralizan.

Como observaste en la figura 2.32, una molécula de inmunoglobulina es una proteína que posee cuatro cadenas polipeptídicas cuya estructura se asemeja a la de una Y, de la que cada uno de los brazos posee una secuencia específica complementaria a la del sitio de unión del antígeno, de modo que cada anticuerpo se puede unir de manera específica a dos antígenos al mismo tiempo, formando el complejo antígeno-anticuerpo. Por otra parte, la cola de la Y, que no se une al antígeno, interactúa con

células del sistema inmunitario o se une a otras moléculas que intervienen en la inmunidad.

Cuando se encuentran un antígeno y su anticuerpo específico se unen de manera exclusiva como lo hace una cerradura con su llave. A continuación se producen otros procesos de defensa, como la desactivación del patógeno o su toxina, y la estimulación de los macrófagos a fagocitarlo, entre otros efectos.

La respuesta celular es mediada por los linfocitos T que activan los macrófagos, cuya función es desintegrar los agentes patógenos que se encuentren en su interior, o provocar la destrucción de otras células infectadas, debido a su actividad citotóxica. Este es un importante proceso de defensa frente a bacterias y virus, y constituye también una barrera ante la aparición y desarrollo de células tumorales. Los linfocitos T se originan en la médula ósea y luego pasan al timo donde se hacen más competentes, después viajan hacia otros tejidos linfáticos o hacia aquellos afectados por la infección.

La retroalimentación en el proceso de regulación inmunitaria se logra mediante diferentes y complejos mecanismos, entre los que se encuentran la síntesis de moléculas activadoras e inhibidoras. Estas pueden modificar la magnitud de la respuesta inmune, es decir, incrementar o debilitar la acción de las células y moléculas que participan en diferentes momentos de dicha respuesta; así se logra la autorregulación del funcionamiento del sistema inmunitario. Sin embargo, la regulación inmunitaria también puede ser modificada por influencia hormonal y nerviosa, como veremos más adelante.

Saber más

La activación inicial de los linfocitos genera unas células de memoria longevas, capaces de sobrevivir durante años después de la infección, y de responder ante el mismo antígeno con mayor rapidez y eficacia que las células indiferenciadas. Estos son los linfocitos de memoria, muy importantes en la defensa contra determinadas enfermedades, pues nos protegen de volver a presentar infecciones que ya sufrimos anteriormente. Este es el fundamento de la vacunación preventiva.

En resumen, las respuestas adaptativas de las células efectoras del sistema inmunitario consisten (entre otras respuestas que provocan cambios metabólicos en el organismo) en la producción y secreción de anticuerpos

(linfocitos B), actividad citotóxica (linfocitos T), fagocitosis de microorganismos (macrófagos), y liberación de histamina que hace más permeables a los vasos sanguíneos.

Como has podido comprobar, en los complejos procesos del sistema inmunitario podemos identificar el patrón general de regulación antes estudiado en la regulación hormonal y nerviosa.

2.4.2 ¿Cómo son aplicados los conocimientos sobre inmunología en la práctica médica?

La vida de muchos individuos ha sido salvada con la realización de trasplantes de células, tejidos u órganos. Conociendo que nuestro sistema inmunitario reacciona ante la presencia de patógenos o cualquier cuerpo extraño que se incorpora al organismo:

- ¿Cómo es posible que realizar un trasplante sin que traiga consecuencias negativas por las respuestas del sistema inmunitario?
- ¿Será posible crear inmunidad artificial que proteja al organismo frente a los microorganismos patógenos y otros alergenos?
- ¿Qué sucede cuando se altera el funcionamiento del sistema inmunitario?
- ¿Cómo se pueden prevenir o tratar las enfermedades vinculadas con la regulación inmunitaria?

La integridad del sistema inmunitario es indispensable en el funcionamiento normal del organismo. En ocasiones este sistema no funciona correctamente, poniéndose de manifiesto irregularidades que pueden ser de tres tipos: por **hipersensibilidad**, por **autoinmunidad** o por inmunodeficiencia.

En el primer grupo se encuentran las alergias. Estas son reacciones inmunitarias anormales ante sustancias que aunque no son dañinas, en algunas personas pueden ocasionar reacciones que pueden ir desde simples molestias, hasta constituir una amenaza para la vida.

Existen millones de personas que ante la presencia de sustancias inofensivas crean una respuesta inmune como si se tratara de patógenos. A la sustancia que causa la respuesta inmune se le llama alergeno, y la hipersensibilidad ante este se denomina alergia.

Los fármacos, los alimentos, el polen de las flores, los ácaros del polvo, las esporas de hongos, el veneno de abejas y avispas, entre otros insectos, son los que con más frecuencia ocasionan alergias.

Estudios realizados indican que la tendencia del sistema inmunitario de algunos individuos a reaccionar fuertemente ante estímulos inofensivos, puede tener carácter hereditario.

Pongamos un ejemplo de reacción alérgica: un individuo se pone en contacto con un antígeno (como las esporas de los hongos), sus linfocitos B, al reconocer estos elementos como extraños, provocan la liberación de anticuerpos por las células plasmáticas, que actúan contra los antígenos de dicha espora.

Los anticuerpos se unen a la membrana plasmática de los mastocitos (células especializadas del sistema inmunitario en liberar histamina), ocasionando inflamación y mayor secreción de mucus en las vías respiratorias. Como en la mayoría de los casos las sustancias que están en el aire como las esporas, entran por la boca o la nariz; esta reacción a nivel local se manifiesta con la producción de flujo nasal, tos y estornudos.

Las personas que sufren de alergias pueden recibir vacunas. Estas se inyectan de manera gradual y evitan que el sistema inmunitario reaccione ante alergenos específicos. Estos tratamientos pueden durar algunos años.

En la autoinmunidad se afecta la **tolerancia inmunitaria**, que se define como la ausencia de respuesta inmunitaria frente a un antígeno, inducida por la exposición previa frente a este.

Los individuos normales presentan tolerancia ante sus antígenos, propiedad fundamental del sistema inmunitario normal, pues este tiene la capacidad de distinguir lo propio de lo ajeno: detecta los antígenos extraños y responde ante estos, pero no frente a los que reconoce como propios. Cuando falla la autotolerancia se desarrollan las llamadas enfermedades autoinmunes, producidas por reacciones inmunitarias contra los antígenos propios.

Saber más

Una **enfermedad autoinmune** es una respuesta inmunitaria contra las moléculas del propio cuerpo. Una de las hipótesis que justifican este hecho es que los organismos patógenos, en ocasiones llevan antígenos que se parecen a las proteínas de las células del cuerpo. Una vez que ocurra la infección con dichos agentes patógenos, los anticuerpos pudieran identificar erróneamente a algunas células propias del individuo como estos agentes patógenos y atacarlas, dando lugar a las manifestaciones de una enfermedad autoinmune.

Como ejemplos de enfermedades autoinmunes se encuentran algunos tipos de anemias provocadas por la acción de anticuerpos que destruyen los glóbulos rojos, o la artritis reumatoide, enfermedad autoinmune que produce deformidad e incapacidad funcional (figura 2.34). Existen casos de diabetes juvenil causadas porque el sistema inmunitario ataca a las células del páncreas que secretan insulina, por lo que se afecta la regulación del azúcar en la sangre.

La esclerosis múltiple es otro caso de enfermedad autoinmune ocasionada por el ataque equivocado de las células inmunitarias, contra la vaina aislante de mielina que recubre a las neuronas del cerebro y la médula espinal.

Fig. 2.34 Deformidad articular por artritis reumatoide

Otros de los trastornos relacionados con un mal funcionamiento del sistema inmunitario son las inmunodeficiencias, que se producen cuando un gen defectuoso impide la formación de células inmunitarias o hace que se formen pocas, debilitando así a este sistema. Este tipo de inmunodeficiencia es de origen natural o congénito, pero se han descrito otras adquiridas como el SIDA, que es un síndrome provocado por un virus.

Recuerda que...

El síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) es la deficiencia inmunitaria más común y extendida, ocasionada por el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), que destruye los linfocitos T con la consecuente pérdida de la función del sistema inmune, haciendo al individuo más vulnerable a otras enfermedades infecciosas y al cáncer.

Con el desarrollo de la medicina se ha logrado crear métodos y medicamentos que permiten prevenir o tratar algunos trastornos del sistema inmunitario, entre los que se destacan la inmunización mediante vacunas.

La inmunidad frente a un agente patógeno puede lograrse artificialmente de dos formas: de manera pasiva, en un individuo que no ha estado expuesto a un antígeno específico pero recibe sueros de otra persona que sí presenta inmunidad específica ante este (figura 2.35), o de manera activa, con la respuesta del propio huésped cuando le son transferidos anticuerpos o linfocitos específicos del microbio.

Vía placentaria | Lactancia materna | Transfusión de suero humano

Fig. 2.35 Vías de adquisición de inmunidad pasiva

La inmunidad pasiva es muy útil porque se logra una resistencia con rapidez, pero es de corta duración (desde unos pocos días hasta algunos meses).

Reflexiona

El transporte de anticuerpos de la madre al feto a través de la placenta durante el embarazo es un ejemplo de inmunidad pasiva, pues por esta vía este alcanza niveles de anticuerpos con el mismo rango de especificidad contra los antígenos que los de la madre, los cuales le permiten combatir infecciones aun antes de tener la capacidad de producirlos por sí mismo. Este mecanismo de protección se complementa después del nacimiento con la lactancia materna, pues esta leche también contiene anticuerpos que protegen al lactante de infecciones. Algunas madres muy jóvenes prefieren lactar al bebe artificialmente, en biberón, argumentando que la succión del pecho por el niño las perjudica estéticamente. ¿Qué opinas de la actitud de algunas madres que suprimen a sus hijos la lactancia materna por razones estéticas?

La inmunidad activa es de larga duración y se adquiere por la activación de los linfocitos T y B. Esta puede ser generada de forma artificial mediante la vacunación.

Las vacunas son preparados que se obtienen de los patógenos y los productos de su actividad vital, y se utilizan para lograr inmunidad activa en el organismo humano y en los animales, contra determinadas enfermedades infecciosas.

Cuando las personas no han estado expuestas a un antígeno determinado se les llama "vírgenes", pues no tienen experiencia inmunitaria. Cuando ya esta exposición ha tenido lugar, se ha elaborado una respuesta y se encuentran protegidos ante cualquier infección, se les denomina inmunes.

De la historia

El vocablo vacuna se deriva de ***variolae vaccinae*** que significa viruela de la vaca y fue usado por Jenner que describió en 1798 el efecto protector de la viruela bobina contra la viruela humana. En 1804 el célebre médico Tomás Romay Chacón (1764-1849), (figura 2.36) considerado el primer higienista cubano, introdujo en Cuba la vacunación contra la viruela, llegando incluso a vacunar a sus propios hijos para vencer los temores y vacilaciones que sobre su efectividad, existían en este momento. Luis Pasteur (1822-1895), bacteriólogo y bioquímico francés, llevó a cabo un experimento público a fin de comprobar la efectividad de la vacuna contra el ántrax, con resultados positivos al aplicarlos sobre carneros, chivos y ganado vacuno. Así introdujo los términos vacuna y vacunación como homenaje a Jenner.

Fig. 2.36 Tomás Romay y Luis Pasteur

Las vacunas proporcionan inmunidad adquirida activa ante una determinada enfermedad. Con frecuencia se elaboran a partir de formas debilitadas o muertas del microbio, restos de toxinas, fragmentos de su ADN, o una de sus proteínas de superficie.

El agente patógeno estimula al sistema inmunitario, que lo reconoce como una amenaza, lo destruye, y guarda un registro de este en linfocitos de memoria específicos. Si volviera a ponerse en contacto con el antígeno, el sistema inmunitario lo reconoce y destruye con facilidad.

Las vacunas pueden ser profilácticas o terapéuticas. Las primeras pueden prevenir o aminorar los efectos de una infección por algún agente patógeno. Las segundas son utilizadas en el tratamiento de una enfermedad ya instaurada en el paciente.

Aplicación práctica

Heberpenta fue la primera vacuna pentavalente producida íntegramente por un país en vías de desarrollo como Cuba, en el que se producen 9 de las 13 vacunas del programa de inmunización, entre las que se encuentran las vacunas contra la hepatitis B y contra la meningitis meningocócica tipo B, desarrolladas por un conjunto de instituciones científicas, de las cuales podemos mencionar al Centro de Ingeniería Genética (CIGB) y al Instituto Finlay. La labor del Centro de Inmunología Molecular (CIM) también ha sido muy importante en la producción de los anticuerpos monoclonales que se utilizan en el tratamiento del cáncer. La investigación científica en la producción de vacunas requiere de la realización de ensayos clínicos en humanos; para esto existen regulaciones que garantizan que estas investigaciones se desarrollen en el marco de principios bioéticos, como la beneficencia y la autonomía. En el logro de este fin, los investigadores utilizan el consentimiento informado, que es este un procedimiento a través del cual se informa a los individuos de los riesgos y beneficios del ensayo, y ellos confirman o no, su voluntad de participación en él.

El trasplante de células, tejidos y órganos constituye otro de los logros de la inmunología. Este es un proceso en el que se toman estos componentes de un individuo y se colocan en otro. Al individuo que lo proporciona se le llama donante y receptor o huésped al que lo recibe.

En la práctica clínica, los trasplantes son utilizados en la corrección de un problema anatómico o funcional del receptor; los que más se han realizado en los últimos años son los de corazón, riñón, médula ósea,

pulmón, páncreas, hígado y de células sanguíneas o de plasma (transfusión) (figura 2.36).

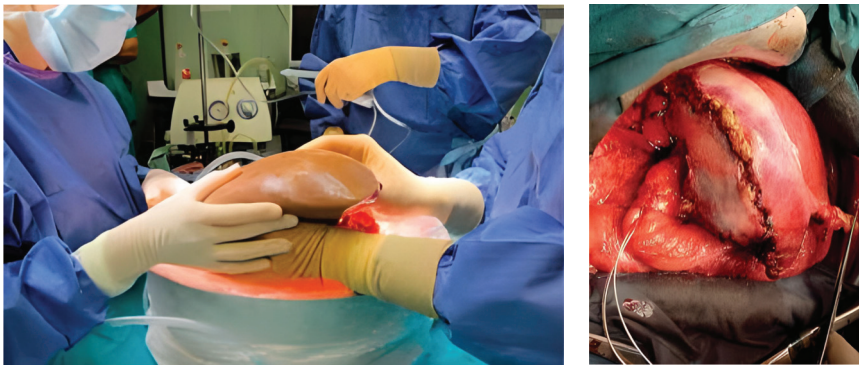


Fig. 2.37 Transplante de hígado

Reflexiona

Más de cinco mil trasplantes de riñón se han realizado en el país desde que comenzó a aplicarse este proceder en febrero de 1970. Tal resultado es fruto del desvelo de la medicina cubana por mejorar la calidad de vida de los pacientes que sufren insuficiencia renal crónica, enfermedad que en los últimos tiempos se ha incrementado de manera considerable en Cuba y el mundo, y que conlleva a un deterioro progresivo de la salud y en ocasiones a la muerte. En otros países un trasplante puede costar al enfermo unos 750 000 dólares, en cambio en Cuba a pesar de ser un tratamiento que puede costar al Estado cerca de 20 000 dólares, se realiza de manera gratuita, incluyendo la administración posterior de **inmunosupresores**.

Las moléculas de la superficie de la célula del injerto, pueden ser reconocidas por los receptores del sistema inmunitario como células invasoras, y este atacar al órgano trasplantado. Esta respuesta se denomina rechazo. La respuesta inmunitaria del receptor frente al tejido del donante, puede constituir una limitante del éxito del trasplante.

Reflexiona

Anualmente se practican unos 120 000 trasplantes de órganos en el mundo y según la OMS, se estima que entre un 5 y un 10 por ciento de estos están asociados al tráfico de órganos, que en muchas ocasiones es la finalidad

de la trata de personas (incluidos niños). Esta es una forma abominable de explotación en la que a estas personas (generalmente pobres) se les extraen los órganos para venderlos a otras que están en posibilidades de comprarlos. Este "negocio" lo realizan personas inescrupulosas con el fin de enriquecerse, y además de inhumano, genera desigualdad de oportunidades entre ricos y pobres, de prolongar la vida con un trasplante. ¿Qué opinas de esta situación?

Comprueba lo aprendido

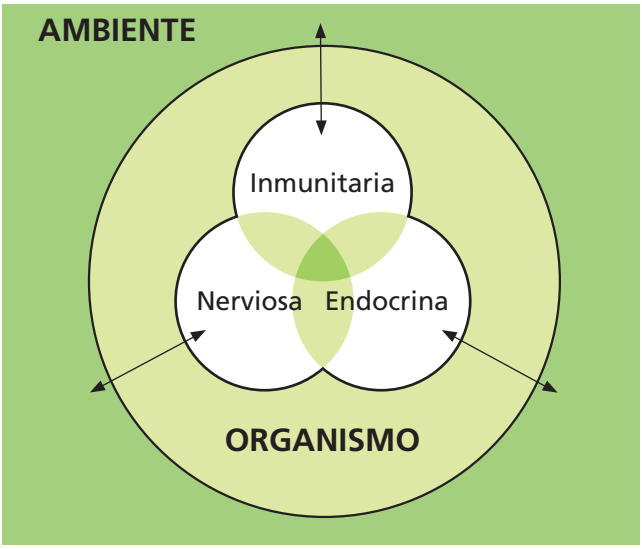
1. Elabora un esquema en el que modeles cómo interactúan los componentes de la regulación inmunitaria en un caso de una enfermedad viral, bacteriana o fúngica seleccionada por ti. Debes basarte en el patrón general de regulación y gestionar información en internet sobre la enfermedad seleccionada.

2. Elabora un mapa conceptual o esquema lógico de contenidos con los siguientes conceptos: inmunidad, inmunidad específica, barreras naturales, microflora, respuesta celular inespecífica, respuesta humoral, respuesta celular.

3. Gestiona información en internet y describe cómo se han aplicado los conocimientos de la inmunología en la preservación de la salud, y los logros alcanzados en Cuba. Refiérete a tus experiencias personales, de familiares o amigos.

2.5 La integración neuroinmunoendocrina proporciona mayor eficiencia de la respuesta adaptativa a los cambios ambientales

Durante este capítulo hemos estudiado que en los vertebrados, los sistemas nervioso, endocrino e inmunitario, integran y controlan numerosas funciones, y así mantienen la homeostasia (estabilidad del medio interno), lo que les permite una mejor adaptación al medio ambiente. Aunque se han presentado por separado, entre estos sistemas existe una estrecha interrelación que hace posible que se mantenga el estado de equilibrio dinámico y el organismo funcione como un sistema íntegro (esquema 2.6).



Esquema 2.6 Interacción de las diferentes formas de regulación en el organismo, con los factores ambientales

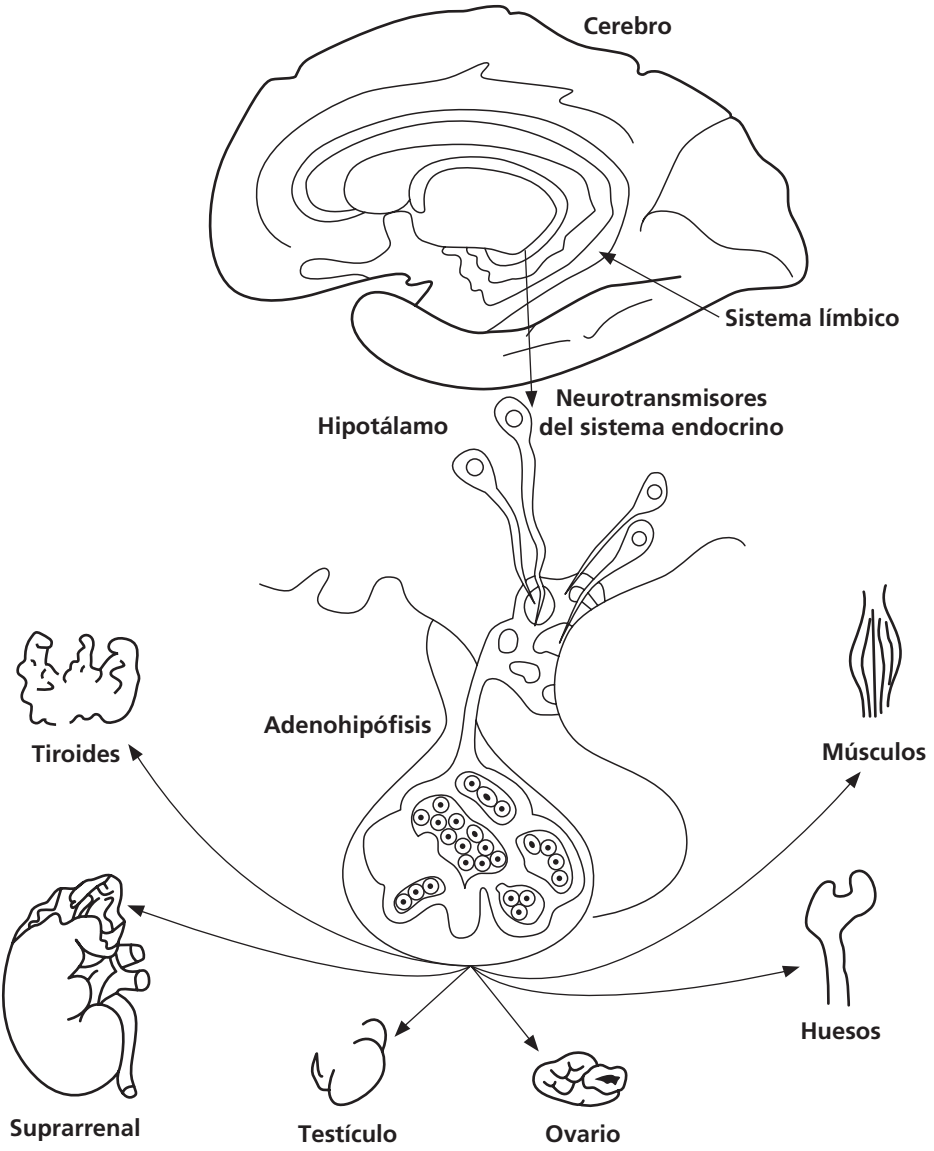
Existe un vínculo muy estrecho entre las regulaciones nerviosa y endocrina, denominado regulación neuroendocrina determinado por la relación entre el hipotálamo y la hipófisis.

El hipotálamo es una región del cerebro con gran cantidad de células especializadas, que sintetizan y segregan neurohormonas al recibir un determinado estímulo. Está ubicado encima de la glándula hipófisis, con la que mantiene estrechas relaciones. La hipófisis está formada por dos lóbulos: la adenohipófisis y la neurohipófisis, ambos comunicados por un pequeño tallo. (figura 2.16).

Las neurohormonas o factores de liberación, son segregadas por la neurohipófisis ante estímulos de una zona del sistema nervioso llamada sistema límbico, estas regulan el funcionamiento de la adenohipófisis. A su vez, la mayoría de las hormonas producidas y secretadas por la adenohipófisis regulan el funcionamiento de otras glándulas endocrinas.

Un ejemplo de cómo ocurre la regulación neuroendocrina es el siguiente: la exposición al frío provoca una disminución del metabolismo basal (gasto mínimo de energía necesaria en el mantenimiento de las funciones vegetativas), en respuesta a este estímulo, el sistema límbico estimula al hipotálamo, que incrementa la producción de la hormona liberadora de tirotropina (TRH). Esta hormona ejerce su acción sobre las células tirotropas de la adenohipófisis

estimulando la secreción de tirotropina (TSH). La TSH actúa a su vez sobre la glándula tiroides, que secreta otra hormona: la tiroxina. Esta última se vierte a la sangre y ejerce su acción sobre determinadas células del organismo, provocando el aumento de su actividad metabólica, con lo cual puede contrarrestar el efecto del frío (esquema 2.7).



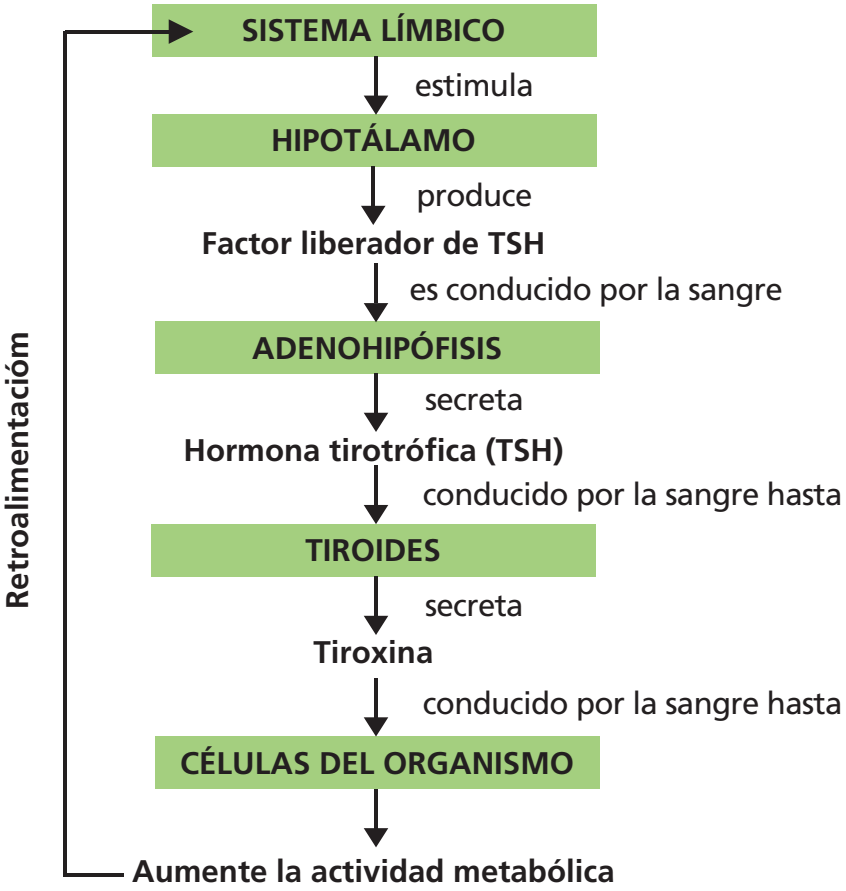
Esquema 2.7 Relación sistema límbico-hipotálamo-adenohipófisis-glándula u órgano blanco

Al aumentar la concentración de tiroxina en la sangre, se inhibe la actividad de la adenohipófisis y del hipotálamo mediante el mecanismo de retroalimentación negativa.

La neurohipófisis no produce hormonas, sino que almacena y libera dos neurohormonas producidas en determinados núcleos del hipotálamo: la hormona vasopresina o antidiurética (ADH) y la oxitocina.

Su liberación hacia la sangre también se produce en respuesta a la estimulación del sistema límbico.

La hormona vasopresina (antidiurética) provoca la reabsorción de agua en los túbulos renales de los riñones, que se reincorpora a la sangre por lo que contribuye a evitar la deshidratación y a mantener el equilibrio hídrico del cuerpo.

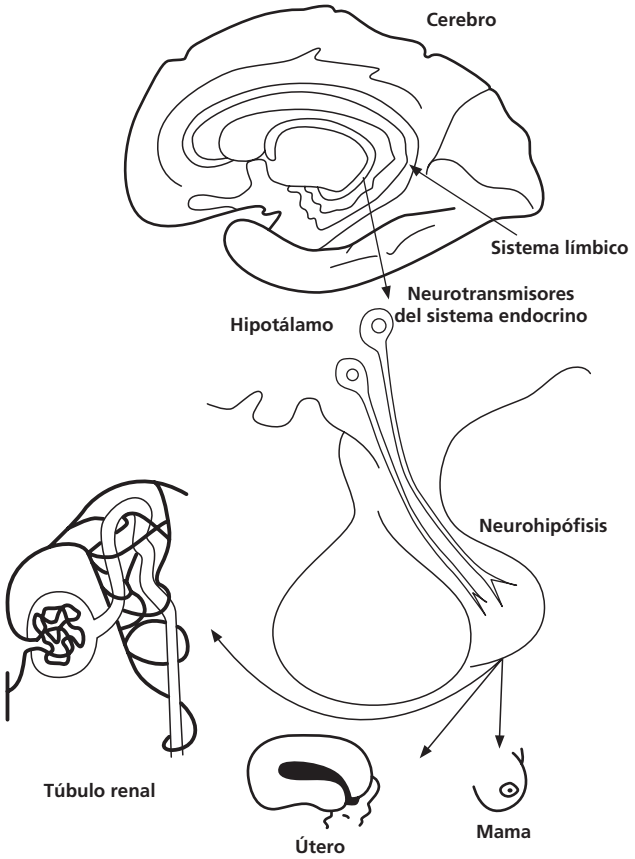


Esquema 2.8 Relación sistema límbico-hipotálamo-adenohipófisis-tiroides

¿Sabías que...?

Las bebidas alcohólicas inhiben la liberación de hormona antidiurética (ADH) lo que hace que aumente considerablemente la producción de orina, es por esta razón que el consumo excesivo de estas bebidas puede provocar deshidratación.

Al disminuir la concentración del agua del cuerpo, el sistema límbico estimula al hipotálamo a producir ADH o vasopresina, que es conducida hasta la neurohipófisis y liberada hacia la sangre. En los túbulos renales la ADH estimula el aumento de la reabsorción de agua, recuperándose así el volumen normal de agua corporal. Al aumentar la concentración de ADH en la sangre, se inhibe el hipotálamo mediante el mecanismo de retroalimentación negativa.



Esquema 2.9 Patrón de regulación neuroendocrina
sistema límbico-hipotálamo- neurohipófisis-túbulos renales

La integridad en la relación entre el sistema endocrino y el nervioso contribuye a regular diversos procesos y funciones del organismo, y a mantener la homeostasia. Ejemplos de esto los tenemos en el control que ejerce el sistema nervioso autónomo sobre la secreción hormonal, y el de las hormonas, que a través de la interacción con receptores específicos, modifican la actividad nerviosa, regulando comportamientos como la agresividad y conductas como la sexual y la alimentaria.

La rama de las ciencias biológicas que estudia la relación entre los sistemas endocrino y nervioso es la neuroendocrinología.

¿Cómo se evidencia en el organismo la integración entre los sistemas nervioso, endocrino e inmunitario?

En la regulación del organismo no solo se interrelacionan los sistemas de control nervioso y endocrino, estos también interactúan con el sistema inmunitario, y ejemplo de esto lo tenemos en el funcionamiento de las glándulas suprarrenales, situadas sobre los riñones.

Las glándulas suprarrenales están formadas por la corteza y la médula suprarrenal. Las hormonas de la corteza suprarrenal son estimuladas por las hormonas hipofisarias, que son liberadas por acción del hipotálamo. Entre las hormonas de la corteza suprarrenal se encuentra el cortisol, el que al igual que otros glucocorticoides, promueve la formación de glucosa a partir de proteínas y grasas.

¿Te has sentido estresado en algún momento de tu vida, por ejemplo durante el período de exámenes? Si es así, seguramente has presentado síntomas como sensación de inseguridad, sudoración en las manos, salto en el estómago, trastornos del sueño, entre otros. Debes saber que puedes evitar esta situación estudiando lo suficiente para sentirte seguro; pero existen otras situaciones que también generan estas manifestaciones y cuando las personas no las evitan o no las superan, se mantienen en un cuadro de estrés permanente que las desequilibra y las predisponen a adquirir enfermedades infecciosas con más facilidad. ¿Por qué ocurre esto?

Está demostrado que durante las situaciones de estrés se incrementa la liberación de hormonas de la corteza suprarrenal. Ante determinados signos de alarma, el hipotálamo envía señales a la hipófisis anterior y esta libera la hormona adenocoticotropa (ACTH), a su vez esta hormona estimula la liberación de glucocorticoides por la corteza suprarrenal. Los glucocorticoides suprimen la respuesta inmune (además de la inflamatoria),

lo que explica el por qué durante estos eventos las personas son más propensas a las enfermedades.

Aplicación práctica

Por sus propiedades inmunosupresoras, el cortisol y otros glucocorticoides como la prednisona, son utilizados en el tratamiento de enfermedades autoinmunes y en reacciones alérgicas graves.

La actividad inmunosupresora de los corticosteroides forma parte del mecanismo de regulación general que interrumpe la respuesta inflamatoria e inmune cuando ha finalizado su acción. Esta acción es controlada por el sistema nervioso, poniéndose en evidencia las interacciones neuroendocrina y neuroinmune.

Lo anteriormente expuesto es un ejemplo de la integración neuroinmunoendocrina, en la que estos sistemas se encuentran fuertemente interrelacionados en el logro del equilibrio dinámico del medio interno, que contribuye a la adaptación ante los diferentes estímulos del medio ambiente.

La fiebre es una forma de defensa inespecífica del organismo que demuestra la integración entre el sistema nervioso y el inmunitario. Ante una infección, es en el hipotálamo (área del cerebro donde se encuentran las células sensoras de la temperatura) donde se inicia el control de la fiebre. Los macrófagos responden a la infección liberando unas citoquinas llamadas pirógenos y endógenos, que son transportadas por la sangre hasta el hipotálamo, y como respuesta a este estímulo, se eleva la temperatura corporal, aumenta el metabolismo de las grasas, y se produce contracción de los vasos sanguíneos superficiales, dando origen al temblor.

Saber más

¿Es la fiebre perjudicial o beneficiosa?

La fiebre refuerza las defensas del organismo, pues aumenta la actividad de los glóbulos blancos y causa la multiplicación rápida de las células inmunitarias, por lo que contribuye a la eliminación de los patógenos invasores y provoca que las bacterias se reproduzcan lentamente. Durante las infecciones virales estimula la producción de interferón (citoquina antiviral), que aumenta la resistencia de las células al ataque viral. A pesar de estos beneficios, si la temperatura alcanzada por la fiebre supera los 40ºC, se pueden producir lesiones irreversibles en centros nerviosos superiores, como el cerebro.

Otro ejemplo en el que se observa la integración entre los sistemas de control es el de la hormona aldosterona que pertenece al grupo de los mineralocorticoides, y también es secretada por la corteza suprarrenal; esta hormona interviene en la regulación de iones, y de forma particular el sodio y el potasio.

El sodio es el principal catión extracelular y constituye un electrolito muy importarte en el plasma. Interviene en la función de la membrana citoplasmática, fundamentalmente en la de las células excitables (neuronas y músculos), en las que participa en la diferencia de potencial que genera el impulso nervioso; además tiene mucha importancia en la regulación del volumen de agua y de la presión sanguínea.

La concentración del ion potasio está regulada por la hormona aldosterona, los cambios en la concentración de este ion pueden perjudicar el funcionamiento del organismo.

La médula suprarrenal es la porción central de la glándula y está formada por células neurosecretoras que producen adrenalina y noradrenalina. Estas hormonas producen dilatación de las vías respiratorias, y un incremento de la frecuencia cardíaca, la presión sanguínea, la respiración, y de la concentración de glucosa en la sangre.

La reacción de ataque-huida, denominada también hiperexcitación o respuesta al estrés agudo, es una respuesta funcional ante una percepción de daño o amenaza a la vida. Frente a una señal de alarma, la médula suprarrenal es estimulada por las fibras nerviosas simpáticas, y se produce la liberación de adrenalina y noradrenalina, esto refuerza la actividad simpática produciéndose una preparación muscular que permite reaccionar rápidamente ante una determinada situación de peligro.

Saber más

El sistema nervioso simpático se origina en la médula espinal y entre sus funciones fundamentales está el activar los cambios funcionales que ocurren durante las reacciones de lucha o huida. Este sistema activa la liberación de noradrenalina que puede actuar como hormona o como neurotransmisor.

Las funciones que realizan estos sistemas de control se complementan entre sí, y hacen posible el buen funcionamiento del organismo como un sistema íntegro al coordinar las funciones vegetativas, la reproducción y

el desarrollo individual. Estas funciones autorreguladoras ayudan también a proteger a los organismos de agresiones de agentes externos, contribuyendo de esta forma, a su mejor adaptación al medio ambiente.

Saber más

Durante experimentos con ratones a los que se les ha administrado una droga inmunosupresora y al mismo tiempo se les ha presentado un determinado un estímulo, se ha observado que con el tiempo, con solo presentarles dicho estímulo disminuye la respuesta inmune aun sin la presencia de la droga. Esto evidencia la relación que hay entre la regulación nerviosa y la inmunitaria.

La interacción entre el sistema nervioso y el sistema inmunitario también es anatómica, pues el sistema nervioso simpático inerva los órganos linfoides primarios y secundarios del sistema inmunitario.

¿Sabías que...?

Todo indica que las hormonas sexuales femeninas (estrógenos) confieren mayor respuesta inmunitaria a las mujeres, haciendo que produzcan niveles más altos de anticuerpos y resistan mejor las infecciones, sin embargo estas son más susceptibles a las enfermedades autoinmunes, en las que su sistema de defensa inmunitaria reconoce a sus propias células como extrañas y les produce daño.

En la actualidad se realizan estudios sobre la influencia de los factores psíquicos sobre la respuesta inmune, y existen referencias que sugieren que el acondicionamiento mental, y la adopción de una actitud positiva, suponen una ayuda en la enfermedad. Algunos estudios en pacientes con cáncer o con SIDA, han demostrado una mayor esperanza de vida en aquellos que adoptan estrategias cognitivas y emocionales favorables ante la enfermedad.

La neuroinmunoendocrinología es un área de investigación de interés actual. La integración entre estos tres sistemas de regulación, se evidencia en la presencia en ellos, de receptores que reconocen tanto a citoquinas, como a neurotrasmisores y hormonas; por tanto, las citoquinas producidas por el sistema inmunitario pueden ser reconocidas por células tanto del sistema nervioso como endocrino. De igual manera, muchas hormonas son reconocidas por los sistemas inmunitario y nervioso, y los neurotransmisores por células linfocitarias y endocrinas.

Aplicación práctica

Los alcances de los estudios neuroinmunoendocrinos son muy promisorios, pues conociendo a profundidad los componentes de estos tres sistemas que interactúan entre sí durante una infección parasitaria, se podrán diseñar modernas herramientas biotecnológicas y nuevos fármacos, que potencien el funcionamiento integral de estos sistemas como parte de las estrategias preventivas, terapéuticas y de control de las zoonosis y enfermedades de animales domésticos, que en ocasiones devienen en nuevas pandemias y perjudican la producción de carne y leche; de esta forma se evitaría la muerte de millones de personas y animales.

Comprueba lo aprendido

1. Realiza una comparación entre los tipos de regulación nerviosa, endocrina e inmunitaria. Determina semejanzas y diferencias.

2. Explica qué relación existe entre los conceptos que forman cada uno de los siguientes grupos:

- estrés-hipotálamo-hipófisis-corteza suprarrenal
- hipotálamo-hipófisis-células del sistema inmunitario

3. Analiza el esquema 2.9 que representa un patrón de regulación neuroendocrina.

a) ¿Cómo se manifiesta la relación entre la regulación nerviosa y endocrina en el modelo representado?

b) ¿Cuáles son las características de la regulación endocrina que se manifiestan en este caso?

c) ¿Qué importancia tiene el sistema hipotálamo-hipófisis en este proceso de regulación?

4. Valore la siguiente generalización:
"Los organismos más complejos mantienen su equilibrio interno de manera más eficiente mediante diferentes formas de regulación que interactúan entre sí funcionando de forma íntegra".

5. Demuestre mediante dos ejemplos cómo se evidencia la integración entre los tres sistemas de regulación estudiados.

Desafíos

1. Observa el esquema de la regulación de la glicemia. Ante una persona con disminución del calcio en la sangre (hipocalcemia) y conociendo que la parathormona, actúa sobre los huesos y túbulos renales aumentando la concentración de este ión en los líquidos corporales:

a) Explica a través de un modelo creado por ti, los procesos de regulación que hacen posible la recuperación de los valores normales de calcio.

b) ¿Qué importancia tiene, en este caso, la retroalimentación en el mantenimiento de la homeostasia?

2. Teniendo en cuenta los componentes del patrón general de regulación estudiado y que la aldosterona (hormona secretada por la corteza suprarrenal) aumenta la excreción del ion K^+, y la reabsorción de agua, Na^+ y Cl^-:

a) Explica y modela los procesos de regulación endocrina que se ponen de manifiesto, al disminuir los niveles de agua y de la concentración de iones Na^+ y Cl^-, y aumentar de la de K^+.

3. Conociendo que en los procesos de regulación de la glucosa interviene la insulina, analiza el esquema 2.3 y responde:

a) ¿Por qué es dañino para la salud consumir alimentos dulces en exceso?

b) ¿Qué medidas ayudan a atenuar los efectos de la diabetes en los individuos enfermos?

4. La adrenalina y noradrenalina son hormonas que, al ser secretadas por la médula suprarrenal, aumentan la constricción de los vasos sanguíneos y la actividad cardíaca. Ante una situación amenazante como la presencia de un enorme perro, una persona se asusta, siente que el corazón le late rápidamente y se lanza en una veloz carrera. Basado en la tabla 2.2, modela y explica el proceso de regulación que provoca el aumento de la actividad cardíaca y la recuperación homeostática de esta.

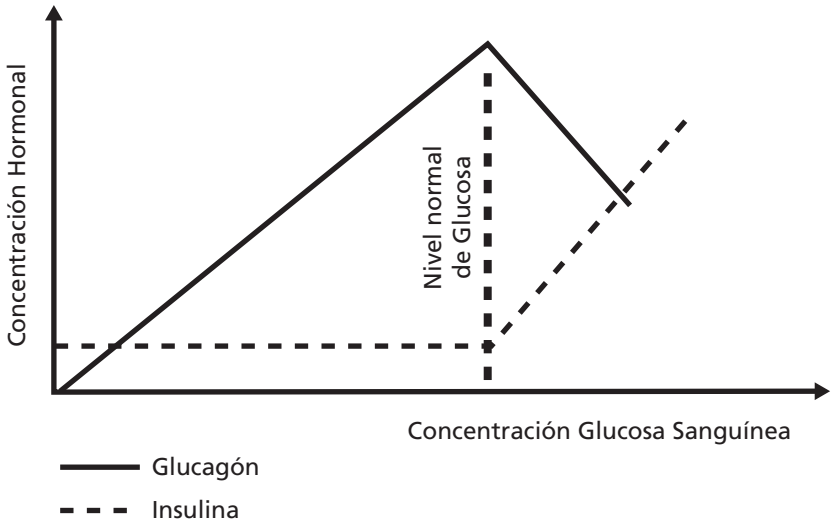
5. Un paciente acude al laboratorio del policlínico, donde le realizan una glicemia provocada, indicada por su médico. Esta prueba

consiste en la medición de la glicemia en ayunas, y un tiempo después de habérsele administrado al paciente una carga de glucosa. Si al comprobar los resultados, los niveles de glucosa en sangre son bajos, ¿a qué causa lo atribuirías?

6. La aplicación artificial de fitohormonas en la agricultura ha reportado ventajas. Investiga en instituciones agrícolas de tu comunidad o en otras fuentes de información y argumenta la afirmación.

7. Cuando una semilla germina, la raíz comienza a crecer a favor de la gravedad, y el tallo en contra de esta. Esto se debe a la presencia de células especializadas en los tallos y las raíces, que detectan la fuerza de la gravedad. Teniendo en cuenta lo anterior, ¿cómo crees que debe continuar el crecimiento de esta planta si después de que una semilla ha germinado se coloca la plántula de forma horizontal?

8. Los niveles de azúcar en un organismo son regulados por las hormonas insulina y glucagón. Mientras una de ellas estimula el almacenamiento de la glucosa en los tejidos, la otra promueve su movilización. El esquema 2.10 muestra la relación entre la concentración de estas hormonas y la cantidad de glucosa en sangre de un paciente.



Esquema 2.10 Relación entre la concentración hormonal y la de glucosa sanguínea

Analiza el esquema 2.10 y selecciona la respuesta correcta:

__ La insulina actúa incrementando el nivel de glucagón en la sangre.
__ El glucagón aumenta el nivel de insulina en la sangre.
__ La insulina aumenta al incrementarse los niveles de glucosa sanguínea.
__ El glucagón aumenta al incrementarse los niveles de glucosa sanguínea.

9. Una persona ingiere un almuerzo rico en proteínas y lípidos, pero sin carbohidratos. Tres horas después de almorzar asiste a un entrenamiento de fútbol. Basado en la información anterior, selecciona la opción que consideres se ajuste a lo que sucede en esta persona:

__ Los niveles de insulina aumentan antes de almorzar, lo que permite poder almacenar la glucosa de la comida anterior, que luego va a necesitar en el entrenamiento.
__ Los niveles de glucagón aumentan al almorzar, lo que permite la liberación de los carbohidratos, y la obtención de la energía que necesitará tres horas más tarde en el entrenamiento.

10. Si el organismo produce hormona hipofisaria en exceso, o una cantidad escasa de insulina, los niveles de azúcar en la sangre se elevan de manera anormal y se origina hiperglicemia. En estas condiciones la sangre puede contener hasta cuatro veces la cantidad de azúcar normal, y aunque la hiperglicemia no es letal en sí misma, es un síntoma de una enfermedad muy seria: la diabetes mellitus. Algunas veces esta enfermedad se debe a un tumor u otras anomalías en el páncreas, que impiden la formación de insulina. Los pacientes diabéticos no mueren por la hiperglicemia propiamente dicha, sino por la acumulación de sustancias tóxicas que se producen en el organismo si no se les administra oportunamente la insulina. Estas sustancias se producen por alteraciones en el metabolismo graso, pues los diabéticos metabolizan grasas en lugar de azúcar.

De acuerdo a lo expuesto, ¿qué afirmación consideras correcta?:

__ Cuando hay mayor cantidad de insulina en la sangre, el metabolismo de los carbohidratos es lento.
__ En caso de que el páncreas deje de secretar insulina, las células obtienen mayor cantidad de carbohidratos de lo necesario.
__ La intensidad del metabolismo de los carbohidratos depende de la secreción de insulina por el páncreas.

__ Lo mejor es que el páncreas elabore insulina, facilitando el metabolismo de los carbohidratos.

11. Selecciona qué consideras que sucede a la cantidad de azúcar en la sangre, si a una persona se le administra gran cantidad de insulina:
__ Se reduce hasta el nivel muy bajo, que puede resultar peligroso.
__ Se eleva mucho y los riñones retiran el exceso.
__ Se mantiene igual y se presentan anomalías orgánicas.
__ Se reduce en un momento y aumenta en otro.

12. En algunos países han considerado legalizar el consumo de marihuana. Emite tu opinión al respecto conociendo los efectos que ocasiona esta acción en la integridad biótica de los individuos y en su actividad social.

13. Una persona recibe un fuerte golpe en el brazo e inmediatamente lo retira. Teniendo en cuenta el patrón general de regulación responde:
a) ¿A qué tipo de regulación corresponde?
b) Explica cómo debió ocurrir el proceso desde la detección del estímulo hasta la ejecución de la respuesta.

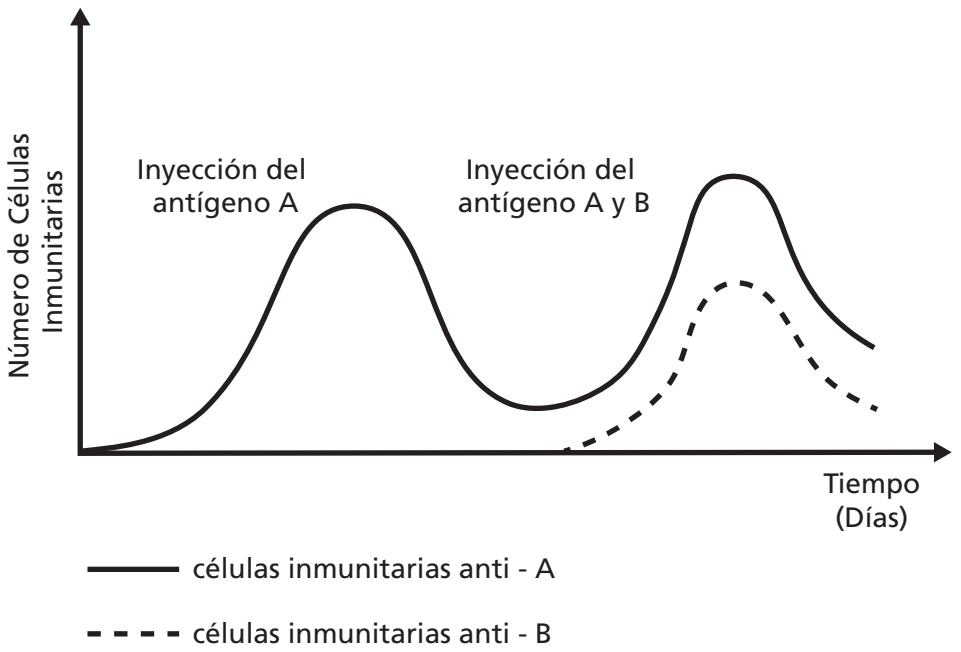
14. Una persona sufre un accidente y como consecuencia se le afectan las vías motoras relacionada con los músculos de las extremidades inferiores. ¿Qué secuelas le dejaría dicho accidente? Argumenta.

15. Lee detenidamente la sección ***Reflexiona*** que trata sobre el consumo de drogas y su efecto en la salud, y responde:
a) ¿Cómo afectan las drogas la integridad biótica del organismo?
b) ¿Recomendarías a tus familiares y amigos su uso? Argumenta.

16. Conocemos que nuestro país se esfuerza por continuar implementando estrategias de prevención de enfermedades autoinmunes y alérgicas. Investiga sobre las alergias que se manifiestan con más frecuencia en la población de tu centro de estudios o en tu comunidad, y sobre las vacunas que se utilizan en ellas y la finalidad de su aplicación.

17. El sistema inmunitario de los vertebrados contiene células especializadas que detectan la presencia de los antígenos (cuerpos extraños)

que penetran al organismo. Estas células inmunitarias, denominadas linfocitos B o T, poseen una alta diversidad de proteínas en sus membranas, que les permiten realizar su función. Cuando alguna de estas células reconoce un antígeno se divide por mitosis y produce un gran número de células genéticamente iguales (selección clonal). En un experimento se inyectan a un ratón dos antígenos en momentos diferentes, y se observan la respuesta inmune que aparece en el siguiente esquema:



Esquema 2.11 Respuesta inmune ante la administración de dos antígenos en un ratón

De acuerdo con la información, ¿qué supones que suceda?:

__ El antígeno A es más peligroso para el organismo que el B, y por eso genera una segunda respuesta más fuerte.

__ Mientras más tiempo y transcurre desde la inyección del antígeno, mayor debe ser el número de clones de células inmunitarias producidas.

__ El antígeno B no provocó la clonación de las células inmunitarias, como ocurrió con el antígeno A.

__ La segunda respuesta del organismo al antígeno es mayor por la persistencia en el tiempo de algunos clones de células inmunitarias anti-A.

18. Investiga, utilizando diferentes fuentes de información, sobre el impacto del cambio climático en las funciones de regulación de los organismos.

19. Realiza una visita a un consultorio del médico de la familia e indaga sobre el esquema de inmunización que se aplica en Cuba. Valora los efectos de este esquema en la salud de tu comunidad.

Actividades prácticas

Seminario: Avances de la endocrinología, la inmunología y las neurociencias en Cuba y el mundo

Objetivo: Debatir en colectivo acerca de los avances de las ciencias médicas en Cuba y el mundo, vinculados con los temas de la unidad.

Temáticas generales:

- Avances de las investigaciones realizadas en las especialidades de endocrinología, neurología e inmunología a nivel mundial.
- Investigaciones referentes a estos campos de la medicina realizadas por científicos cubanos.
- Labor de las mujeres y los hombres de ciencia cubanos que han brindado sus aportes a estas ciencias.
- Impacto económico y social que han tenido estos resultados.

Organización: Por equipos.

Actividades para la presentación ante el grupo: Elaboración de una presentación en formato electrónico.

Bibliografía:

- Libros de consulta sobre temas de Medicina.
- Artículos de revistas y periódicos nacionales e internacionales.
- EcuRed.
- Artículos de internet en sitios cubanos como Infomed, Cubadebate, Juventud Técnica u otros internacionales.

Práctica de laboratorio: Observación de tejido nervioso

Objetivo: Identificar en preparaciones microscópicas fijas de tejido nervioso, sus características histológicas, y corroborar las relaciones estructura-función.

Materiales: Preparación fija de tejido nervioso, cámara digital, microscopio óptico, libreta de notas.

Sugerencias:

1. Seleccionar los equipos y materiales que se van a utilizar en la actividad práctica.
2. Respecto al microscopio óptico debes garantizar:
   - Que el ocular y la lente objetiva de menor aumento estén bien colocados.
   - Abrir completamente el diafragma del microscopio.
   - Inclinar el espejo en diferentes posiciones hasta iluminar el campo visual.
   - Si el microscopio posee lámpara, debes conectarlo a la red eléctrica.
3. Colocar la preparación fija en la platina del microscopio y observarla por fuera, acercando la lente objetiva mediante el tornillo macrométrico.
4. Observar por el ocular y mover lentamente el tornillo macrométrico. Dibuja lo observado y compáralo con la figura 1.6 del capítulo 1.

Actividades para las conclusiones:

- ¿Qué características te permiten afirmar que es una célula nerviosa? ¿Qué nombre recibe?
- Compara la célula que dibujaste con la de la figura 2.21.
- ¿Qué propiedades presenta la célula observada?
- ¿Qué relación pudieras establecer entre la estructura de lo observado en la preparación fija y las funciones del tejido nervioso en el organismo?

Trabajo investigativo: Estilos de vida saludables para la prevención de adicciones u otras enfermedades que afectan la regulación neuroinmunoendocrina en la comunidad.

Objetivo: Identificar las enfermedades endocrinas, nerviosas o inmunitarias más frecuentes en la comunidad, y los factores de riesgo presentes en

la población general y escolar, a partir de una búsqueda de información en hospitales, policlínicos o consultorios del médico de la familia.

Temáticas a abordar:

- Estilo de vida saludable. Definición e importancia
- Caracterización de los estilos de vida de la población estudiantil y comunitaria
- Consecuencias de los estilos de vida de la población cubana en general y de la localidad
- Enfermedades nerviosas, endocrinas e inmunitarias más frecuentes en tu comunidad. Características y condiciones sociales en cada caso. Factores de riesgo para la aparición de estas enfermedades.
- Medidas dirigidas a la prevención de enfermedades neuroinmunoendocrinas y al mejoramiento de la calidad de vida de las personas enfermas.

CAPÍTULO 3

Las funciones vegetativas y el metabolismo de los sistemas vivientes

En una competencia de atletismo de la especialidad de los 400 m planos, los atletas se encuentran preparados para la carrera que inicia con el sonido del disparo (figura 3.1). La información sonora es captada por los receptores auditivos de los atletas y procesada por los centros nerviosos que controlan los movimientos musculares; estos centros envían la señal a otros órganos y sistemas de órganos, y se producen diversos cambios en las funciones vegetativas y el metabolismo celular: aumentan las frecuencias cardíaca y ventilatoria, con lo que se incrementa el transporte de dioxígeno a las células musculares, y se intensifica la respiración celular; esto posibilita obtener mayor cantidad de la energía que será utilizada en la producción de movimientos musculares durante el ejercicio.

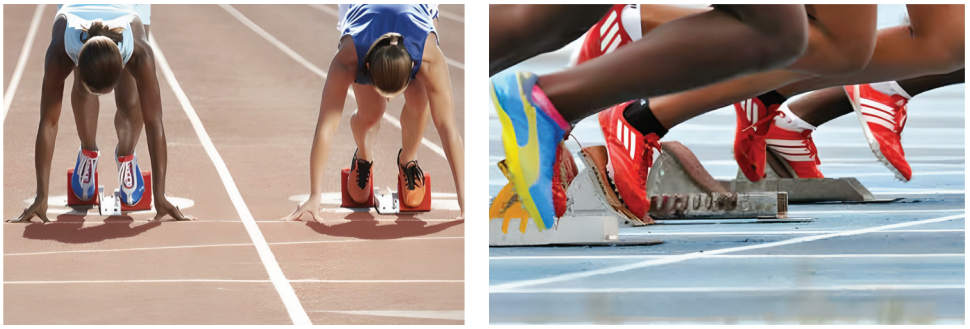


Fig. 3.1 Atletas preparados para el inicio de la carrera

Como resultado del esfuerzo, los atletas se encuentran sudorosos, sofocados, sienten palpitaciones y en ocasiones dolores musculares.

Ya conocemos que toda actividad del organismo es regulada por las diferentes biomoléculas, células, tejidos y órganos de los sistemas reguladores, pero:

- ¿Qué alteraciones sufre el metabolismo?
- ¿Cómo participan en esto las funciones vegetativas?
- ¿Por qué las funciones vegetativas sufren modificaciones durante el esfuerzo físico?
- ¿Qué aplicaciones tendrán en la práctica los conocimientos sobre las diferentes funciones vegetativas, y los procesos metabólicos a estas asociadas?

Durante este capítulo aprenderás sobre:

- la integración entre las funciones vegetativas y el metabolismo en el mantenimiento de la vida, como resultado del proceso evolutivo;
- las características de las funciones vegetativas y los procesos metabólicos en su relación con el medio ambiente, y sus problemas actuales, y
- las enfermedades que pueden afectar las funciones vegetativas y cómo prevenirlas.

Los conocimientos obtenidos los podrás aplicar en el análisis y la solución de problemas de la vida diaria.

3.1. El mantenimiento de la vida de los organismos depende del metabolismo y de la interrelación entre las funciones vegetativas y el medio ambiente

Las ciencias biológicas estudian la incidencia de factores físicos, químicos y biológicos en el origen, desarrollo y progresión de la vida. Cada especie, desde las formas más simples hasta el árbol más grande o el complicado ser humano, posee sus propias particularidades funcionales; estas funciones no pueden verse por separado, sino de forma integrada. Tampoco se deben desconocer las características del medio ambiente donde cada uno de los organismos se desarrolla.

En la conservación de la vida el organismo toma del medio ambiente los nutrientes y otros elementos necesarios, y procesa, separa y regresa a este, el dióxido de carbono y otros desechos de los procesos metabólicos. Las funciones que posibilitan la ejecución y el mantenimiento de

esta relación del organismo con el medio ambiente, son las funciones vegetativas (nutrición, respiración, transporte o circulación de sustancias y excreción), de aquí su gran importancia.

3.1.1 ¿Por qué el metabolismo celular hace posible el mantenimiento de la vida en los organismos?

Todos los organismos realizan un intercambio constante de sustancias, energía e información con el medio ambiente en el que se desarrollan. Este flujo de materia prima es imprescindible en el metabolismo, que no es más que el conjunto de reacciones de síntesis o degradación que se produce a nivel celular.

Recuerda que...

El metabolismo es una expresión del movimiento biológico, constituido por un conjunto de reacciones bioquímicas que ocurren en las células en interacción con el medio ambiente, en las que se degradan y sintetizan sustancias de muy diversas formas, acopladas y reguladas por enzimas, cofactores y hormonas, resultantes de la expresión de sus genes.

El catabolismo comprende reacciones de degradación, en las que a partir de sustancias complejas se obtienen otras más simples y se libera energía que se almacena en determinadas moléculas.

El anabolismo incluye reacciones en las que la energía proveniente de diversas fuentes, se utiliza en la síntesis de las biomoléculas que intervienen en el funcionamiento celular.

En las reacciones metabólicas, las enzimas (que son proteínas) actúan como catalizadores biológicos de las reacciones bioquímicas.

Las reacciones que participan en el metabolismo son las de **oxidación-reducción** (**redox**), en las que unas sustancias ceden electrones y se oxidan, mientras que otras aceptan los electrones y se reducen. Estas reacciones se interrelacionan, y los productos de unas, pueden pasar a reaccionar en las otras.

En estas reacciones, la energía liberada es utilizada en la renovación de enlaces químicos y componentes de las células, como las proteínas y los ácidos nucleicos, que participan en el crecimiento de nuevas células,

el mantenimiento de los tejidos corporales, y la formación de reservas de ATP, energía metabólica en forma de trifosfato de adenosina (figura 3.2).

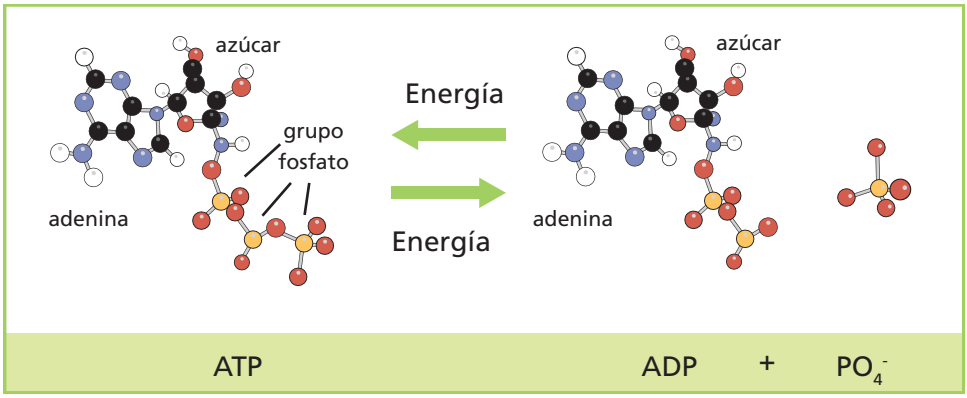


Fig. 3.2 Dinámica de las reacciones del ATP durante la transferencia energética

Recuerda que...

El trifosfato de adenosina es un nucleótido que posee tres grupos fosfatos enlazados entre sí por enlaces fosfóricos, en los cuales se encuentra energía potencial. Al romperse estos enlaces por acción enzimática, esta energía se libera y puede ser utilizada por una reacción anabólica a la que esté acoplada.

El catabolismo y el anabolismo son procesos antagónicos que hacen al metabolismo una unidad, pues cada uno depende del otro. En ellos se manifiesta la ley dialéctica de unidad y lucha de contrarios que se cumple en toda la materia viva, y constituye el factor que promueve el desarrollo en interacción con el medio ambiente.

El anabolismo comprende diferentes procesos muy complejos de síntesis, como la fotosíntesis, la quimiosíntesis, la síntesis de proteínas, de lípidos y de ácidos nucleicos, entre otros.

Entre los procesos catabólicos se encuentran: la fermentación, la glucólisis, la respiración y la lipólisis, que son cruciales en la obtención de energía.

El metabolismo está relacionado con las funciones vegetativas, pues estas son las que suministran las sustancias y la energía necesarias en las reacciones bioquímicas, y además son las responsables de la eliminación de productos de desecho.

Las funciones vegetativas son el conjunto de funciones de los organismos que aseguran el metabolismo celular y por lo tanto, el mantenimiento de la vida.

El anabolismo y el catabolismo transcurren simultáneamente en la célula, es decir, a la vez que unas moléculas se están degradando otras se están sintetizando. Con esto se mantiene un recambio en las células y por consiguiente en el organismo, y se garantiza la homeostasia, en estrecha relación con el medio ambiente; ello permite la regulación de las funciones vitales y la adaptación a los cambios del medio ambiente.

Las funciones vegetativas son funciones orgánicas que posibilitan el mantenimiento de la vida, el metabolismo y la reproducción. En estas se manifiesta la interrelación del organismo con el medio ambiente, a través del intercambio de sustancias, energía e información (esquema 3.1).

Esquema 3.1 Relaciones entre las funciones vegetativas, el metabolismo y el medio ambiente

Comprueba lo aprendido

1. Tomando en cuenta las características de las dos formas de manifestación del metabolismo (anabolismo y catabolismo), responde:

a) ¿Qué tienen en común?

b) ¿En qué se diferencian?

c) ¿Cómo se relacionan entre sí? Represéntalo mediante un esquema lógico.

2. Pon ejemplos de procesos anabólicos y catabólicos. Argumenta el planteamiento siguiente: el metabolismo celular depende de las funciones vegetativas y su interacción con el medio ambiente.

3. ¿Por qué se plantea que el metabolismo es una forma de movimiento biológico?

4. Explica la relación que existe entre los conceptos que forman el grupo siguiente: medio ambiente-funciones vegetativas-metabolismo. Pon ejemplos de esta relación a partir de los conocimientos adquiridos en grados anteriores.

5. Explica mediante un modelo, las relaciones existentes entre todas las funciones del organismo que hacen posible su mantenimiento, homeostasia y adaptación al medio ambiente.

3.2. Los organismos desarrollaron adaptaciones en la nutrición que les permiten obtener los nutrientes y liberar la energía necesaria en el metabolismo

El medio ambiente provee a los organismos, de las sustancias y energía que van a ser utilizadas en todas las funciones con las que logran mantener la vida. Entre estas funciones se encuentra la nutrición.

La nutrición es la incorporación al organismo, de las sustancias y la energía necesarias en el metabolismo.

Una correcta nutrición aporta al organismo los nutrientes necesarios, y le permite mantener su estructura, reparar daños, ejecutar funciones, crecer y desarrollarse de manera saludable.

Todos los organismos se nutren, pero ¿obtienen los nutrientes y la energía de la misma forma? Durante el proceso evolutivo los organismos se diversificaron y algunos hicieron más compleja su estructura y funciones, adaptándose a diversas condiciones ambientales en las que existían fuentes de nutrientes y de energía variadas. Así se fueron desarrollando las diferentes formas de nutrición que ya has estudiado en grados anteriores.

Recuerda que...

La nutrición heterótrofa fue la primera en aparecer durante el proceso evolutivo; surgió en los mares primitivos, en los que había abundante materia orgánica sintetizada abiogénicamente, en estos habitaban bacterias que degradaban la materia orgánica y obtenían energía mediante procesos de fermentación.

Ante el agotamiento de la materia orgánica sintetizada abiogénicamente surge el tipo de nutrición autótrofa, ligada a la aparición (en las bacterias primitivas), de pigmentos capaces de utilizar la energía radiante de la luz solar, y con esta sintetizar materia orgánica a partir del agua y el dióxido de carbono (fotosíntesis).

Ambas formas iniciales de nutrición se diversificaron con el desarrollo de sistemas enzimáticos y proteínas transportadoras más complejas, lo que dio paso al surgimiento de bacterias autótrofas capaces de realizar otros procesos de síntesis, y bacterias heterótrofas que realizan ambos tipos de respiración: anaerobia y aerobia.

A continuación, se presentan las características de estas formas de nutrición y los procesos metabólicos implicados en ellas. Al establecer la relación estructura-propiedades-funciones en los niveles de organismo, celular y molecular, se demuestra la gran complejidad de estos procesos que hacen posible la vida.

El estudio de estos temas te permitirá comprender con una base científica, muchos fenómenos de la naturaleza y del funcionamiento de tu organismo, que están estrechamente vinculados con la preservación de tu salud y la del colectivo donde se desarrollan tus relaciones sociales.

Los organismos autótrofos son productores, pues sintetizan las diferentes biomoléculas que demandan en su metabolismo, y según la fuente de energía que utilizan en el desarrollo de estas funciones se clasifican en quimioautótrofos y fotoautótrofos.

Los organismos quimioautótrofos, como las bacterias nitrificantes, las ferrosas y arqueas, obtienen la energía de compuestos químicos mediante un proceso metabólico denominado quimiosíntesis; mientras que los fotoautótrofos como algunas bacterias y protistas, las algas y las plantas, lo hacen mediante la fotosíntesis, a partir de la energía radiante de la luz.

De la historia

Los primeros estudios acerca de la fotosíntesis se efectuaron desde el siglo XVII, pero fue en 1772, cuando el inglés Joseph Priestley (1733-1804) realizó experimentos con los que intentó explicar el fenómeno. Para ello cubrió una planta de menta con una campana de cristal, y un ratón con otra campana, sin dejar entrar ni salir el aire. Al cabo del tiempo los dos organismos murieron. Después tomó una nueva planta y otro ratón, y los cubrió con una misma campana, tomando las mismas precauciones del primer experimento; ambos organismos permanecieron vivos. Llegó a la conclusión de que la planta purificaba el aire, pero no se pudo explicar las causas de ese fenómeno, pues al repetir el experimento los resultados fueron negativos. En 1779 Jan Ingenhousz (1730-1799) comprobó lo imprescindible de la presencia de luz, lo que no había tenido en cuenta Priestley (figura 3.3).

Fig. 3.3 De izquierda a derecha: Joseph Priestley y Jan Ingenhousz

Las células de las plantas, como las de todos los organismos, contienen diferentes moléculas entre las que destacan tres elementos químicos fundamentales: carbono, hidrógeno y oxígeno. El carbono procede del dióxido de carbono presente en la atmósfera, el hidrógeno se obtiene del agua absorbida, y el dioxígeno se obtiene a partir del agua, del dióxido de carbono y del dioxígeno atmosférico.

3.2.1. ¿Por qué las plantas generalmente pueden nutrirse sin tener que ingerir a otros organismos?

Las raíces de las plantas (figura 3.4) presentan muchas ramificaciones y pelos radicales de paredes finas, y a través de ellos absorben agua y sales minerales, que constituyen los nutrientes del vegetal. El agua siempre penetra a la raíz por transporte pasivo (ósmosis), las sales minerales pueden hacerlo por transporte activo o transporte pasivo, y son almacenados en los tejidos de las raíces.

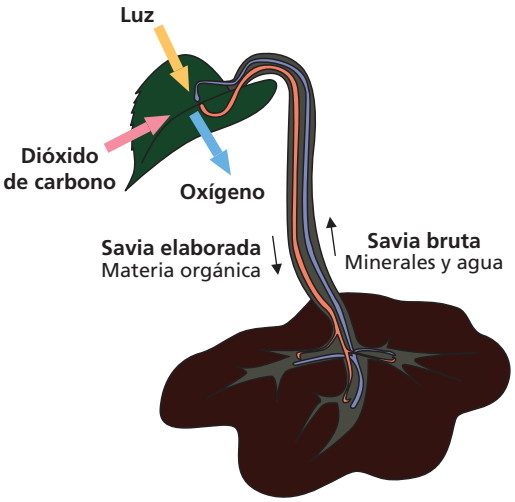


Fig. 3.4 Adaptaciones de las plantas a la nutrición autótrofa

Otra de las adaptaciones que presentan las plantas y que les permite la nutrición autótrofa por fotosíntesis es la presencia de hojas, órganos vegetales en los que predomina el tejido parénquima clorofílico, cuyas células poseen abundantes cloroplastos, en los que ocurre este proceso metabólico (figura 3.4).

El tejido parénquima es el que prevalece en los diferentes órganos del vegetal. Las células de este tejido están poco especializadas y su forma puede ser muy variable: casi poliédricas o alargadas, lobuladas, etcétera. Las paredes celulares son flexibles y delgadas, con celulosa, aunque pueden presentar paredes secundarias lignificadas (figura 3.5).

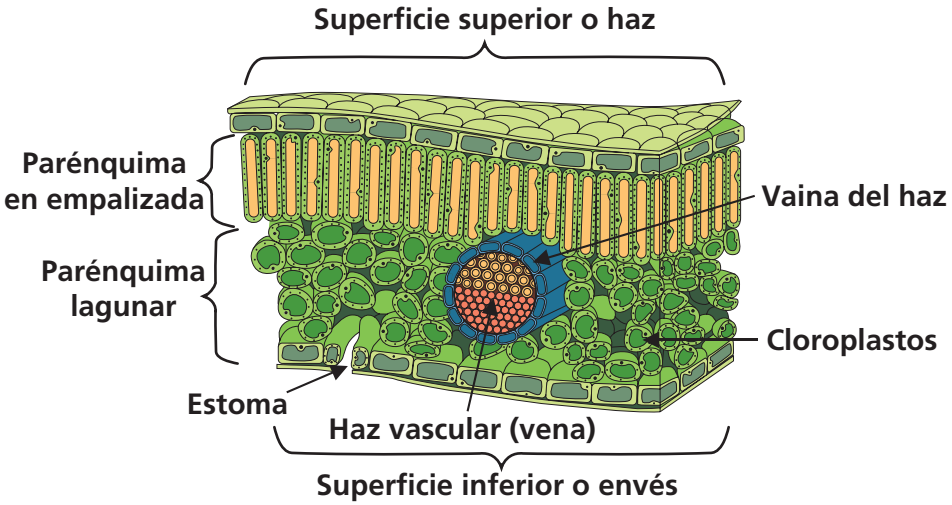


Fig.3.5 Corte transversal de una hoja

Este tipo de tejido ha perdido su capacidad de división, pero en determinadas condiciones sus células pueden diferenciarse y retomar su división celular. Existen diferentes tipos de tejido parénquima, entre los que se encuentra el parénquima clorofílico, donde se realiza la fotosíntesis; sus células poseen un número variable de cloroplastos que le confieren propiedades fotosintéticas. Se localiza en el mesófilo de las hojas, y puede ser de dos tipos: en empalizada y lagunar.

El parénquima en empalizada es el tejido principal en la fotosíntesis, pues proporciona compuestos orgánicos a la planta. Contiene cloroplastos situados hacia el haz de la hoja (cara superior) y numerosas vacuolas. Sus células son alargadas y no existen espacios extracelulares amplios entre las células contiguas; esta disposición le permite estar en mejores condiciones de absorber la luz solar que incide sobre el haz de la hoja.

Las células del parénquima lagunar son irregulares, en ellas se observan abundantes espacios intercelulares que permiten la difusión de los gases a través de toda la estructura foliar, casi siempre situado hacia el

envés de la hoja. Aquí se encuentran los estomas, aberturas que se cierran y se abren en dependencia del estado funcional y las condiciones del medio ambiente, y a través de los cuales se realiza el intercambio de gases durante la fotosíntesis.

Las primeras células que realizaron fotosíntesis durante el proceso evolutivo presentaban una molécula en su citoplasma que absorbía los rayos solares, de manera semejante a las que hoy existen en las plantas verdes y algunos organismos unicelulares. Esta molécula se denomina clorofila, y es un pigmento fotorreceptor que actúa en la primera etapa de la fotosíntesis, en la transformación de la energía radiante de la luz solar en energía química, por lo que se considera que es la molécula que ha hecho posible la existencia de vida superior en la Tierra.

En la función de nutrición de los vegetales se han desarrollado diferentes adaptaciones, según el medio ambiente en que viven. Un ejemplo de esto es el de los vegetales inferiores y las plantas acuáticas, que obtienen directamente del agua, mediante la absorción, los gases y minerales que intervienen en el proceso de fotosíntesis. Las plantas que habitan en medio acuático, pobre en dioxígeno, presentan el denominado parénquima aerífero, que se caracteriza por la presencia de células muy pequeñas que delimitan cavidades llenas de aire (lagunas parenquimáticas).

Las plantas xerófitas (que habitan en medios áridos) cuentan con un parénquima acuífero, cuyas células presentan una enorme vacuola llena de agua y de mucílago.

Las raíces, el tallo y las hojas, son los órganos de nutrición de las plantas vasculares y constituyen su aparato vegetativo. A través de los pelos absorbentes (o radiculares) de las raíces, la planta absorbe del suelo la savia bruta, es decir, el agua y las sales minerales. Estas raíces se pueden asociar a hongos y de esta forma absorber mejor la solución del suelo; a esta asociación se le da el nombre de micorriza.

3.2.2. ¿Qué estructura y propiedades poseen los cloroplastos que les hacen posible la fotosíntesis?

La fotosíntesis es un proceso anabólico, activado enzimáticamente en el que a partir del dióxido de carbono y el agua se sintetizan compuestos orgánicos, utilizando como fuente de energía la luz absorbida por los pigmentos, y de la que se obtiene como subproducto el dioxígeno. Constituye

un proceso de transducción energética, de la energía radiante de la luz a la energía potencial contenida en los enlaces químicos de las moléculas orgánicas sintetizadas.

Se representa por la fórmula general siguiente:

$$6CO_2+6H_2O \xrightarrow[\text{enzimas}]{\text{luz}} C_6H_{12}O_6+6O_6$$

Esta fórmula permite generalizar el proceso de fotosíntesis, pero el proceso consta de un complejo grupo de reacciones acopladas que se estudian en dos grandes etapas:

1. reacciones lumínicas o fotoquímicas, y
2. reacciones de fijación del carbono (estas últimas también mal llamadas por muchos autores reacciones en la oscuridad, pues no necesariamente tienen que ocurrir en ausencia de iluminación), que se realizan tanto de día como de noche.

Los cloroplastos son los orgánulos celulares con propiedades transductivas que posibilitan la transformación de la materia inorgánica en materia orgánica, utilizando como fuente energética la radiación lumínica. Estos componentes celulares forman parte de los tejidos de nutrición, o parénquima clorofílico, en las células eucariotas vegetales; pero en las procariotas fotosintéticas, como las cianobacterias, se encuentran laminillas similares a los tilacoides de los cloroplastos, que contienen bacterioclorofila. Como estudiaste en décimo grado, el origen de los cloroplastos eucariotas se debe a la simbiosis de bacterias similares a las cianobacterias, en otras células procariotas de gran tamaño.

Si se analiza la estructura de un cloroplasto se podrá comprender por qué pueden tener ciertas propiedades que le posibilitan realizar la fotosíntesis (figura 3.6).

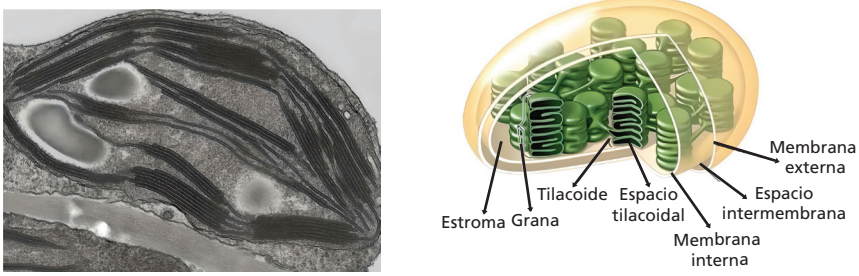


Fig. 3.6 De izquierda a derecha: microfotografía electrónica y modelo de la ultraestructura de un cloroplasto

La envoltura que lo delimita presenta una doble membrana permeable que le posibilita el intercambio con la matriz citoplasmática; a través de esta penetran al cloroplasto el dióxido de carbono procedente del aire, y el agua (que son utilizados en la fotosíntesis), y salen el dioxígeno liberado en las reacciones y las moléculas orgánicas sintetizadas.

En el estroma se encuentran enzimas con propiedades anabólicas que catalizan las reacciones de fijación del carbono. Dispersos por todo el interior están los tilacoides, formados por unos sacos aplanados membranosos, discoidales y compartimentados, con un pigmento de color verde en la superficie: la clorofila, donde se realiza la transducción de la energía radiante de la luz, a energía potencial de los enlaces fosfóricos del ATP. Dentro de la bicapa lipídica de la membrana de los tilacoides, hay también moléculas transportadoras que participan en reacciones redox.

¿Cómo transcurre el proceso de fotosíntesis en los cloroplastos?

En la figura 3.7 se modela el funcionamiento de un cloroplasto en el que se distinguen dos complejos subsistemas de reacciones que forman parte de la fotosíntesis: las reacciones fotodependientes (lumínicas) y las reacciones de fijación del carbono. Además, se observan los sitios del cloroplasto donde ocurren dichas reacciones, las relaciones entre estas, y sus productos.

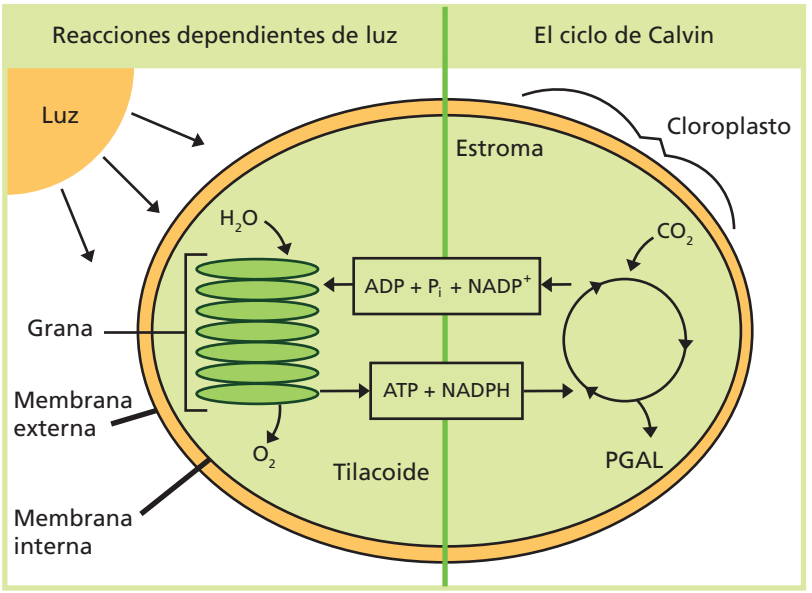
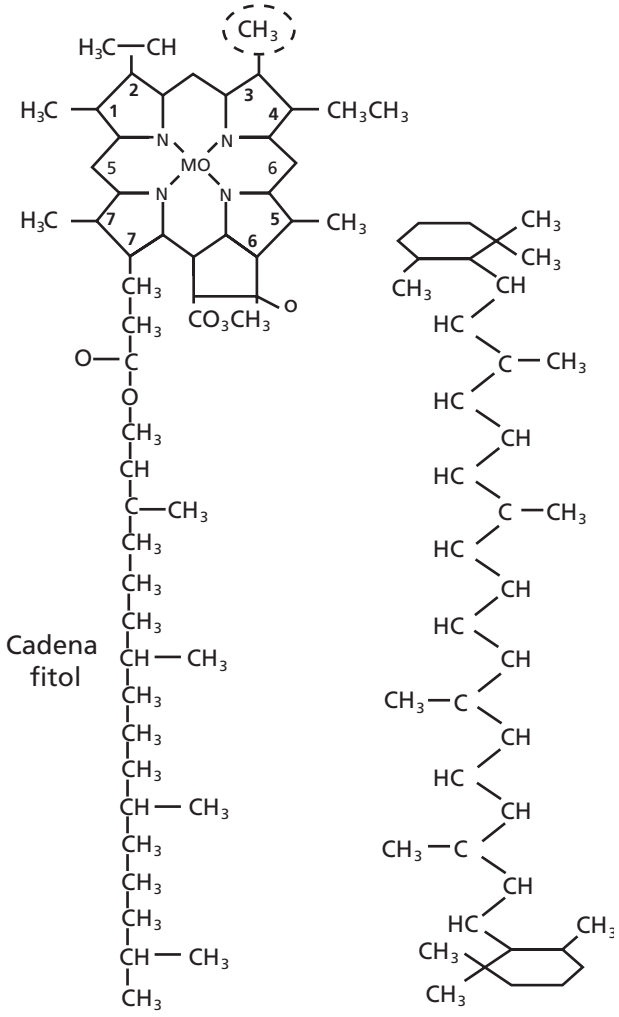


Fig. 3.7 Modelo general del funcionamiento del cloroplasto durante la fotosíntesis

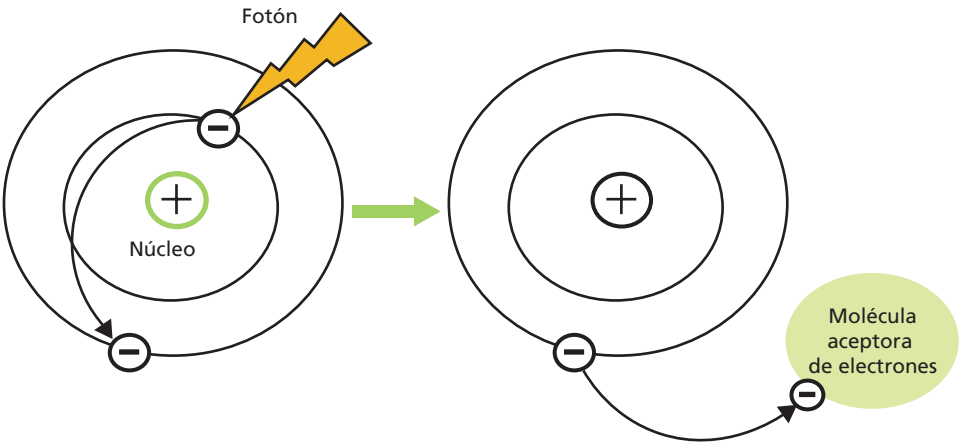
¿Cómo se producen las reacciones que dependen de la luz durante la fotosíntesis?

Estas reacciones dependen de la presencia de clorofila y otros pigmentos de las membranas de los tilacoides, contenidos en los cloroplastos. La clorofila es una molécula asimétrica de color verde que se dispone en el exterior de la membrana del tilacoide, conformada por una cabeza hidrofílica con un átomo de Mg^{+} central y una cola de fitol, con la que gracias a sus propiedades lipofílicas, se puede introducir en la bicapa lipídica de la membrana tilacoidea a manera de soporte de la cabeza (Esquema 3.2).



Esquema 3.2 Modelos estructurales de dos pigmentos fotosintetizadores

Al incidir la luz sobre los pigmentos fotosintéticos, sus electrones pasan a un nivel energético superior (Esquema 3.3), pudiendo ser captados por alguna molécula aceptora que se encuentre próxima a la clorofila.



Esquema 3.3 Modelo funcional de la excitación de la molécula de clorofila y reducción de una molécula aceptora

En los organismos fotosintetizadores existen diferentes tipos de clorofila, la A y la B. En los vegetales superiores la más abundante es la A. En algunas algas inferiores existen otros tipos de clorofila denominadas C y D.

Saber más

Los pigmentos fotosintetizadores se encuentran integrados en la membrana del tilacoide formando agrupaciones llamadas fotosistemas. Existen dos tipos de fotosistemas: el fotosistema I y el fotosistema II, constituidos por un centro de reacción que está formado por moléculas de clorofila A especiales, específicas de cada uno de ellos (clorofila A P-700 para el fotosistema I y clorofila A P-800 para el fotosistema II); una molécula de proteína donadora y aceptora de electrones, y varios pigmentos accesorios (clorofilas A y B, carotenos y xantofilas).

Durante las reacciones lumínicas, las moléculas que se encuentran en la membrana de los tilacoides interactúan entre sí, al incidir la luz (figura 3.8). Como puedes apreciar, en la clorofila, los electrones excitados por la luz son aceptados sucesivamente por varias moléculas de proteínas transportadoras presentes en la membrana de los tilacoides.

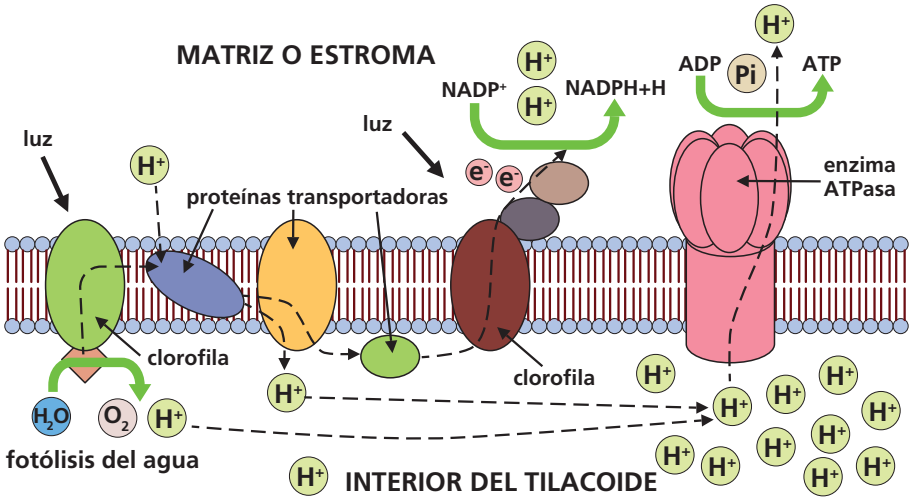


Fig. 3.8 Modelación de los mecanismos de las reacciones fotoquímicas en la membrana de un tilacoide

El fenómeno del paso de un electrón de una molécula transportadora a otra, se basa en las propiedades químicas de ciertas sustancias de ser oxidantes o reductoras; estas son las llamadas reacciones de oxidación-reducción (redox), en las que se transfiere energía.

Recuerda que...

La oxidación implica la separación de un átomo de hidrógeno de un compuesto, mientras que la reducción es la adición de un hidrógeno.

Al analizar este modelo podrás concluir que en las reacciones fotoquímicas se obtienen los siguientes resultados:

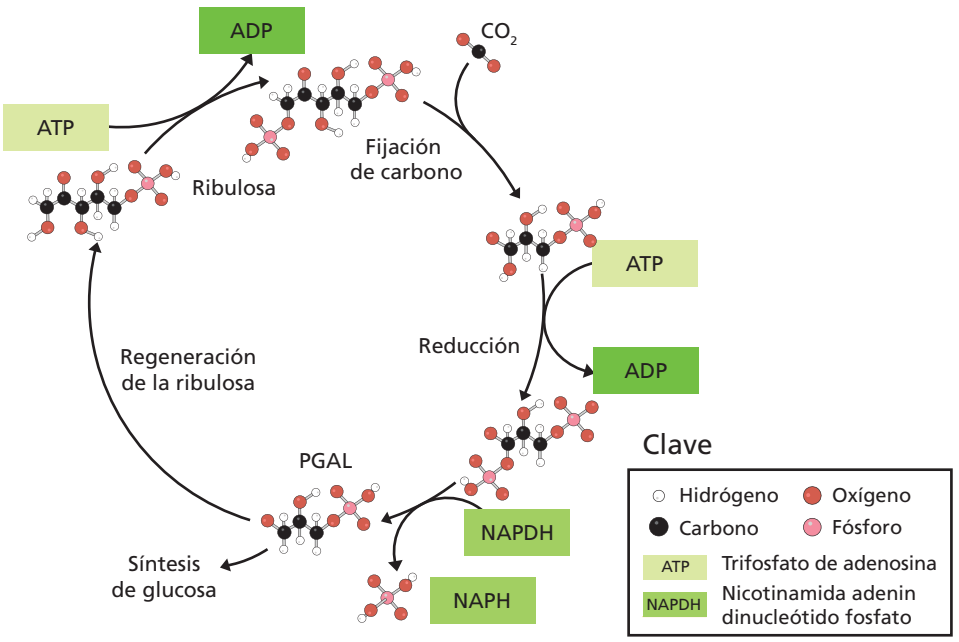
- moléculas de $O_{2\ (g)}$ que son liberadas como subproducto durante la fotólisis del agua;
- moléculas de **NADPH** + H^+ obtenidas por la reducción del **NADP**, con el electrón cedido por la clorofila, y
- moléculas de **ATP** sintetizadas a partir de la energía que se genera durante el bombeo de protones a favor del gradiente de concentración, a través de las enzimas ATPasas que se encuentran incrustadas en la membrana del tilacoide.

Los dos últimos productos son utilizados en la síntesis de moléculas orgánicas del estroma, mientras que el $O_{2\,(g)}$ es liberado del cloroplasto hacia el medio ambiente como un producto de desecho.

¿En qué consisten las reacciones de fijación del carbono que ocurren en el estroma?

En estas reacciones, los productos obtenidos de las reacciones fotoquímicas (ATP y NADH + H^+) son de gran importancia, pues intervienen en un sistema acoplado de reacciones redox denominado ciclo de Calvin (esquema 3.4), en honor a su descubridor principal: el químico estadounidense Melvin Calvin (1911-1997), quien por dicho descubrimiento recibió en 1961 el Premio Nobel de Química.

Como se puede apreciar, en el proceso se fijan átomos de carbono del dióxido de carbono tomado de la atmósfera, a una molécula sencilla de cinco carbonos (la ribulosa, presente en el estroma del cloroplasto); luego se utiliza la energía del NADPH y del ATP resultantes de la etapa fotoquímica en la síntesis de moléculas de PGAL (fosfogliceraldehído). Con una serie de reacciones de estas moléculas finalmente se obtienen la glucosa, que es el producto final básico de estas reacciones. Se cierra el ciclo regenerando las moléculas de ribulosa.



Esquema 3.4 Reacciones de fijación del carbono en la fotosíntesis

En esta etapa no se requiere directamente la luz, las reacciones pueden ocurrir en su ausencia hasta que se agotan las reservas de ATP y NADPH producidas en la fase lumínica anterior, así como de dióxido de carbono; este penetra al interior de las hojas por los estomas, que se cierran en ausencia de luz.

Recuerda que...

A partir de la glucosa que sintetizan los cloroplastos se elaboran otras biomoléculas (aminoácidos, lípidos, otros glúcidos, etc.), según las características particulares y necesidades de cada especie. Estas sustancias derivadas de la fotosíntesis son depositadas en orgánulos específicos como los oleoplastos, que almacenan aceites, y los amiloplastos, que almacenan almidones; también pueden ser transformadas en otras moléculas que se incorporan al recambio celular y pasan a formar parte de la pared celular de los diferentes orgánulos y del núcleo.

3.2.3 ¿Las plantas solo requieren agua y dióxido de carbono en su nutrición?

La principal puerta de entrada de los nutrientes en las plantas es la raíz, pero también intervienen otros factores, como la cantidad de estos nutrientes en el medio externo, la edad de la planta, y la existencia de un sistema radicular adaptado al medio donde esta se desarrolla, entre otros.

Las plantas, como los animales, necesitan de ciertos principios nutritivos en su crecimiento, desarrollo y reproducción, pero a diferencia de ellos, estas no pueden movilizarse y obtenerlos activamente, sino que tienen que tomarlos de la atmósfera y del suelo a través de sus órganos aéreos y raíces. Estos nutrientes son indispensables en la formación de las células de los diferentes órganos de las plantas, y son clasificados en macro y micro elementos, atendiendo a la cantidad de ellos requerida en la nutrición vegetal.

Los macroelementos son necesarios en grandes cantidades y se subdividen en dos grupos:

- macronutrientes primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y,
- macronutrientes secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Los tres grandes, nitrógeno, fósforo y potasio representan juntos, más del 75% de los nutrientes minerales que se encuentran en la planta.

Los microelementos son necesarios en cantidades pequeñas, y entre ellos se encuentran el cloro, el hierro, el manganeso, el cobre, el boro, el zinc y el molibdeno, entre otros. Estas sustancias participan en algunos procesos metabólicos formando parte de algunas enzimas.

Saber más

Existen elementos no esenciales pero beneficiosos para las plantas, entre los que se podemos mencionar el sodio (Na), que se encuentra en aquellas que sobreviven en suelos desérticos (cactus); el silicio (Si), presente en algunas gramíneas como el pasto, la caña de azúcar y el maíz; y el cobalto (Co), en las leguminosas como el frijol, la soya, los chícharos, entre otros.

La baja disponibilidad de nitrógeno del suelo es uno de los mayores factores limitantes en la producción agrícola, esta causa un débil desarrollo en las plantas y un color amarillento conocido por clorosis. El modo más común de incorporar este nutriente es en forma de fertilizantes químicos. El uso indiscriminado de estos, además de resultar cada vez más costoso, altera significativamente el equilibrio de los suelos y modifica las actividades metabólicas de diferentes poblaciones microbianas presentes en dicho ecosistema.

Una forma de mejorar el rendimiento agrícola es la incorporación de bacterias que forman simbiosis con diferentes leguminosas, de esta forma se pueden fijar cantidades importantes de nitrógeno en el suelo, que es asimilado por la planta en forma de amonio.

Los principales efectos observados en los vegetales por el empleo de abonos nitrogenados se pueden resumir en:

- aumento notable de su contenido proteínico, con disminución de su calidad biológica;
- incremento notable del porcentaje de nitratos (que puede resultar contraproducente);
- disminución del contenido de ciertos micronutrientes y aumento hasta límites no convenientes de otros;
- reducción del porcentaje de materia seca, mayor contenido de agua, y
- disminución de la resistencia a los parásitos.

En la actualidad se están proponiendo diferentes medidas a fin de lograr una agricultura sostenible, y algunas de ellas se relacionan con la nutrición vegetal. Estas son:

- Reducir el uso de fertilizantes manufacturados, costosos o escasos y nocivos para el medio ambiente, y aumentar el uso de abonos naturales y locales, a la vez que se refuerzan las interacciones biológicas.
- Manejar de manera más eficaz los nutrientes, reciclar la biomasa, y añadir regularmente restos vegetales, estiércol animal y fertilizantes orgánicos, con el objetivo de equilibrar y optimizar el ciclo de nutrientes.
- Aumentar la capa vegetal del suelo a través de cultivos, aplicar estiércol verde y reducir o suprimir las labores; de esta forma, minimizar la erosión del suelo y la pérdida de agua (humedad) y nutrientes. Estas prácticas, junto con la recogida de aguas, pretenden hacer un uso más eficaz de este recurso.
- Promover la actividad biológica del suelo, mantener y mejorar la fertilidad de este.

La intensificación sostenible de la producción vegetal descrito en el concepto "ahorrar para crecer", permite alcanzar los más altos niveles productivos sin deteriorar el medio ambiente, y al mismo tiempo, garantizar los servicios de un ecosistema sano.

3.2.4 ¿Qué adaptaciones a la nutrición heterótrofa se desarrollaron en los organismos ante las más diversas condiciones ambientales?

A diferencia de los organismos autótrofos, los heterótrofos no sintetizan moléculas orgánicas a partir de sustancias inorgánicas, por eso obtienen del medio ambiente, además del agua y las sales minerales, la materia orgánica ya elaborada. Es por esto que la vida de los organismos heterótrofos (consumidores y descomponedores) depende por completo de la existencia de los autótrofos (productores), pues estos últimos constituyen la fuente de esa materia orgánica que ellos necesitan y que está presente en los ecosistemas.

La nutrición heterótrofa es característica de todos los animales, los hongos y muchos microorganismos, como los protozoos y algunos grupos de bacterias y arqueas. Los organismos heterótrofos no son capaces de transformar la materia inorgánica en orgánica, por lo que deben alimentarse

de la materia orgánica que esté contenida en otros seres vivos, en el sustrato donde estos habitan, o libre en el medio.

La forma de nutrición de los organismos heterótrofos puede ser saprótrofa u holótrofa.

Los organismos de nutrición saprótrofa o absortiva, como algunas bacterias y hongos, absorben las sustancias orgánicas que obtienen del medio, al degradar otras sustancias orgánicas complejas contenidas en diferentes organismos, o producidas por estos (figura 3.9).

Fig. 3.9 Organismos saprótrofos absortivos

¿Sabías que...?

Existen plantas como la ***Drosera*** y la venus atrapamoscas, que habitan en humedales donde escasea el nitrógeno, y lo obtienen de insectos pequeños que ellas capturan. Dichas plantas (llamadas carnívoras), presentan colores y olores atractivos para a los insectos, que al quedar atrapados en ellas, son digeridos por enzimas de estas. Las hojas verdes de estos organismos sintetizan carbohidratos.

Los organismos con nutrición holótrofa, como la mayoría de los protistas (ameba, paramecio), y los animales (incluyendo al ser humano) cuya nutrición es a base de compuestos orgánicos como las proteínas, los carbohidratos, los lípidos y las vitaminas, al no incorporarse incorporarlos directamente a sus células, los transforman previamente en sustancias más simples y en nutrientes; en cambio, la gran mayoría de los organismos heterótrofos pluricelulares, a consecuencia de la diferenciación celular, han desarrollado adaptaciones

anatómicas especializadas que facilitan la degradación de los nutrientes hasta formas más simples, y su ulterior transporte hasta las células. En estos organismos se distinguen diferentes procesos de la nutrición holótrofa como son: captura, ingestión, digestión, absorción, asimilación y egestión.

La **captura** del alimento ocurre de diferentes formas, y en ella intervienen adaptaciones especializadas muy diversas como cilios, flagelos, seudópodos, extremidades, y dientes, entre otros. En el caso de la ameba y los macrófagos, la membrana citoplasmática se proyecta alrededor de la partícula alimenticia formando seudópodos que la engloban y transportan al interior de la célula; a este proceso se le denomina fagocitosis. La formación de seudópodos se produce como respuesta a los estímulos provenientes del medio externo o interno.

La **ingestión** es la incorporación del alimento al interior del organismo, que ocurre mediante vacuolas ingestivas, bocas u otros apéndices. Posteriormente, la materia orgánica compleja de los alimentos ingeridos es transformada, por acciones mecánicas y químicas en las que intervienen enzimas digestivas hidrolíticas, en moléculas más sencillas y así pueden ser transportadas a través de las membranas. A este proceso se le denomina **digestión**.

Las adaptaciones que han permitido este proceso son las vacuolas digestivas y los órganos digestivos como el estómago, el buche y los intestinos, entre otros. Cuando la digestión se realiza en el interior de una célula, como sucede en una ameba, recibe el nombre de digestión intracelular y cuando es dentro de una cavidad, como ocurre en el sistema digestivo de los animales, se le denomina digestión extracelular (figura 3.10).

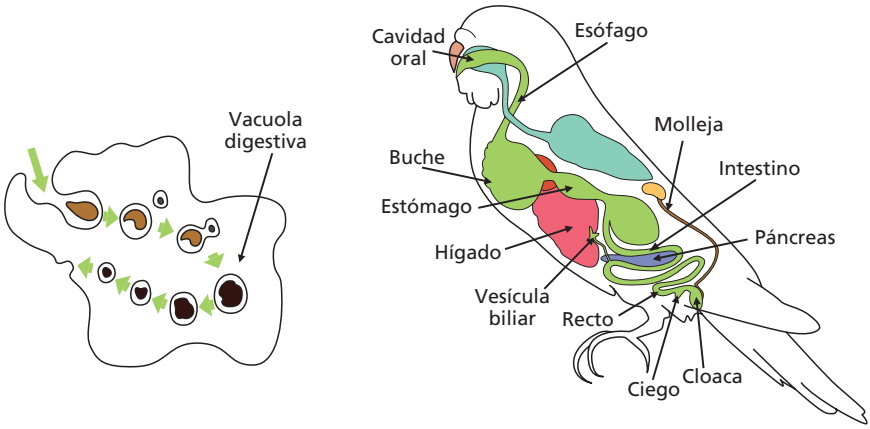


Fig. 3.10 De izquierda a derecha: digestión intracelular (ameba) y extracelular (sistema digestivo de un ave)

La **absorción** es el proceso en el que las moléculas orgánicas derivadas de la digestión atraviesan las membranas de las vacuolas y los órganos de absorción, y viajan hacia la matriz citoplasmática o al medio interno. Este movimiento de las moléculas nutritivas se efectúa mediante un mecanismo de transporte pasivo o activo a través de la membrana citoplasmática, o por endocitosis (pinocitosis y fagocitosis).

Las sustancias absorbidas pasan a formar parte del medio interno del organismo o de la matriz citoplasmática y son utilizadas en el metabolismo; a este proceso se le denomina asimilación. Así se sintetizan mediante reacciones anabólicas, otras moléculas orgánicas más complejas que pasan a conformar la estructura de los diferentes orgánulos, o se degradan mediante reacciones catabólicas como las de la respiración, en las que se libera la energía que se utiliza en todas las funciones vitales del organismo.

Los productos de desecho de la digestión son expulsados al exterior mediante el proceso de **egestión** o defecación, a través de una membrana, o por órganos especializados en esta función como el citoprocto, la cloaca, o el ano, entre otros.

A través del proceso evolutivo el sistema digestivo de algunas especies sufrió transformaciones que lo hicieron más complejo, sin embargo en otros casos se simplificó. Esto permitió que estas especies, tanto acuáticas como terrestres, se adaptaran a las diversas condiciones ambientales, o pasaran a vivir dentro de otros organismos de forma parásita.

Los organismos que viven de forma parásita en el intestino de otros, como es el caso de la lombriz solitaria, presentan adaptaciones que les permiten fijarse al intestino del hospedero; otros presentan una capa de fibras musculares, que al contraerse evita que los movimientos peristálticos del huésped expulsen el parásito al exterior.

En el sistema digestivo de las aves que se alimentan de granos, se observan adaptaciones que les permiten una variada alimentación, entre las que tenemos la boca en forma de pico y el estómago con dos cavidades: el proventrículo, que constituye el estómago glandular y es donde se almacena y humedece el alimento, y el ventrículo o molleja que constituye el estómago muscular, donde este es triturado. Esta última adaptación es la que hace que se clasifiquen como digástricos.

Los animales omnívoros, como la mayoría de los cordados incluyendo los humanos, poseen una alimentación muy variada, sin embargo el

estómago está formado por una sola cámara, por lo que se clasifican como monogástricos. En este único estómago es donde se almacena y digiere parcialmente el alimento.

Todo el alimento que ingieren estos animales es sometido a transformaciones físicas que lo reducen a pequeñas partículas, en las que las enzimas pueden actuar mejor y producir otras transformaciones químicas.

A los organismos que se alimentan fundamentalmente de hierbas se les denomina herbívoros, y su sistema digestivo está constituido por un tubo largo. La cámara digestiva de los rumiantes es poligástrica, es decir, posee varios compartimentos, lo que facilita la digestión, pues las plantas de las que ellos se alimentan contienen celulosa, un carbohidrato muy difícil de digerir.

Los mamíferos monogástricos solo contienen microorganismos en el ciego y el colon; sin embargo los mamíferos rumiantes presentan adaptaciones como el rumen, que es un compartimento esofágico de grandes dimensiones con gran número de microorganismos en su interior, principalmente bacterias, que posibilitan la degradación de los alimentos de origen vegetal, los cuales por su bajo poder calorífico son ingeridos en grandes cantidades. El alimento ingerido es retenido en el rumen y al cabo de cierto tiempo es sometido al proceso de la rumia en el que es devuelto a la boca, donde se remastica, reensaliva y es deglutido nuevamente. En este proceso los microorganismos degradan los carbohidratos, sobre todo la celulosa, y al final de dicha transformación se obtiene la glucosa.

¿Cómo intervienen los sistemas de regulación en la integración de los procesos digestivos de los animales?

Los procesos digestivos de los organismos estudiados están regulados por los sistemas nervioso y endocrino, que contribuyen al mantenimiento de la integración del organismo en estrecha relación con el medio ambiente en que habita.

En los mamíferos, las digestiones mecánica y química que ocurren en la boca están reguladas por el sistema nervioso, pues el tronco encefálico es el centro modulador del movimiento de los músculos masticadores y de la secreción de la saliva. Ejemplo de esta regulación nerviosa lo tenemos en el reflejo condicionado que se pone de manifiesto con la secreción salival que experimentamos ante la percepción olfativa, visual, o el recuerdo de algún alimento de nuestro agrado.

Otro ejemplo de regulación nerviosa de la nutrición holótrofa, es cuando los receptores de la lengua y el paladar captan el estímulo de llegada del alimento a la boca y esta información es conducida por vía aferente hacia el tronco encefálico que actúa como centro modulador; aquí se elabora una respuesta que es transmitida por vía eferente a los músculos masticadores y estos actúan como efectores de la acción mecánica.

La producción de hormonas que participan en el control de la digestión es un ejemplo de regulación endocrina. La hormona secretina es producida en la mucosa del estómago y la primera porción del intestino delgado; esta estimula la secreción de pepsinógeno y ácido clorhídrico por parte de las células secretoras del estómago. La presencia de grasas en el duodeno, estimula la secreción del jugo pancreático.

3.2.5. ¿Cómo lograr una alimentación sana y adecuada que satisfaga las necesidades nutricionales de nuestro organismo?

Desde tiempos inmemoriales se conoce de la existencia de trastornos alimentarios entre los que se destacan la malnutrición (desnutrición y obesidad), la bulimia, la anorexia, intoxicaciones alimentarias, etc. Resulta muy importante conocer los síntomas, causas y consecuencias de estos trastornos y así lograr su prevención y control. En Cuba se libra una batalla por la seguridad alimentaria y por lograr la educación nutricional del pueblo, con vista a garantizar una alimentación adecuada para toda la población.

La desnutrición es un trastorno producido por un consumo de calorías menor al que nuestro organismo necesita, dado por la ingesta insuficiente, o por trastornos en la digestión o absorción de los alimentos.

Reflexiona

La desnutrición se describe como el cuadro secundario a la inanición, que deriva en una insuficiencia proteínica y calórica. Actualmente este trastorno cobra miles de víctimas en el tercer mundo. Se habla del problema del hambre como la desnutrición crónica que afecta a una serie de grupos poblacionales, cuya característica común es la pobreza (figura 3.11).

En nuestro país se presta especial atención a los requerimientos nutricionales de los niños, las embarazadas, los deportistas y los ancianos.

Fig. 3.11 Desnutrición infantil

La obesidad es una enfermedad que en muchos casos responde a la ingesta desmedida de alimentos. Esto genera una acumulación de grasa corporal, altamente perjudicial, que provoca desequilibrios hormonales, psicológicos, etc., además aumenta en gran medida el riesgo de padecer otras enfermedades, como la diabetes mellitus tipo 2, cáncer y osteoartritis. Si no se trata, sus consecuencias pueden ser mortales.

La bulimia es un desorden alimenticio causado por una combinación de ansiedad y una preocupación obsesiva por el peso corporal y el aspecto físico. Se caracteriza por episodios de un consumo excesivo y descontrolado de alimentos, seguido de vómitos autoinducidos, el uso de laxantes, y dietas restrictivas que terminan resultando nocivas.

Otro desorden alimenticio es la anorexia, que consiste en un temor exagerado a aumentar de peso, y en una percepción distorsionada del propio cuerpo, que hace que las personas se sientan gordas aun cuando pesan menos de lo que se considera saludable para su edad y estatura.

La publicidad que existe en muchos países puede ser causas de algunos de estos trastornos, al establecer determinados modelos de belleza que los jóvenes tratan de imitar, aun a riesgo de su salud física y mental.

Reflexiona

La nutrición es una de las funciones donde más incide el cambio climático, y la humanidad no ha dejado de perseguir la meta de lograr un mundo donde no exista el hambre; esto se puede lograr si conservamos el medio ambiente. Información derivada de estudios científicos recientes, advierte

repetidamente que el cambio climático está poniendo en riesgo la seguridad de los cultivos y por ende, la de nuestros alimentos. Este afecta nuestra vida, y la agricultura es uno de los sectores más perjudicados.

¿Qué podríamos hacer desde nuestras comunidades y hogares para contribuir a la solución de este problema?

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la higiene de la alimentación como el conjunto de condiciones y medidas que deben estar presentes en todas las etapas de producción, almacenamiento, transporte, transformación, conservación y elaboración doméstica del alimento, garantizando su sanidad.

Los alimentos se obtienen de organismos vivos como hongos, vegetales, animales, o como resultado de la acción de microorganismos, en el caso del queso, el yogur, el vinagre, entre otros.

Algunos microorganismos o prácticas culinarias inadecuadas son a menudo causa de la contaminación de los alimentos, lo que puede modificar su valor nutricional al provocar la pérdida de vitaminas y otras modificaciones en su aspecto, textura, sabor, color y olor. Esto provoca daños o enfermedades a los organismos que los consumen, conocidas como intoxicaciones alimentarias.

En nuestro país se han desarrollado políticas como el Plan de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional, con el fin de garantizar la ingestión de una ración alimentaria adecuada para el mantenimiento del organismo y la prevención de enfermedades como el raquitismo y la avitaminosis. Para lograr esta meta, además del incremento de la producción agropecuaria es necesario la formación de correctos hábitos alimentarios en la población.

¿Cómo prevenir los trastornos y las enfermedades relacionadas con la nutrición?

Una nutrición adecuada tiene una gran importancia en la salud de los individuos. La malnutrición por defecto (desnutrición), o por exceso (obesidad), puede ocasionar trastornos metabólicos y desajustes en el **funcionamiento** de otros sistemas con la consiguiente afectación de la integridad biótica del organismo, que trae como consecuencia la aparición de enfermedades directa o indirectamente vinculadas con esta función.

Un aspecto importante en la nutrición es la ingesta, que no es más que la ración mínima diaria en que se debe ingerir un nutriente para mantener sano al organismo en dependencia del sexo, la edad, y determinadas

situaciones, como el embarazo o la lactancia, y para cuyo ajuste se realiza un estudio, con la finalidad de cubrir los requerimientos nutricionales.

Los nutrientes son los compuestos orgánicos e inorgánicos contenidos en los alimentos, necesarios en la nutrición animal; según su constitución química se clasifican en proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y sales minerales. Una dieta equilibrada, atendiendo a los requerimientos nutricionales y de acuerdo a la edad, sexo y tipo de actividades que se desarrollan, puede prevenir diferentes enfermedades (figura 3.12).

Fig. 3.12 Pirámide nutricional

Las frutas y los vegetales son alimentos ricos en vitaminas; estas son compuestos heterogéneos imprescindibles en la vida, que al ser ingeridos de forma equilibrada y en dosis adecuadas, promueven el correcto funcionamiento del organismo. La mayoría de las vitaminas esenciales no

pueden ser sintetizadas por el organismo, por lo que este las obtiene mediante el consumo de alimentos naturales.

Las sales minerales se encuentran en los organismos, precipitadas y disueltas en forma de cristales, o unidas a las biomoléculas. Realizan diferentes funciones al formar parte del tejido de los dientes y huesos; contribuyen a la regulación del balance osmótico dentro y fuera de las células, participan en la excitabilidad nerviosa y muscular, e intervienen en el metabolismo, entre otras funciones.

Saber más

Mención aparte merecen las fibras alimentarias que a pesar de no ser nutrientes, forman parte de algunos alimentos vegetales y permiten el desarrollo de funciones de interés fisiológico, como los movimientos peristálticos, y la acción de la flora bacteriana; además limpian las paredes de los intestinos en su tránsito por el tubo digestivo, y con su consumo se previene el estreñimiento.

3.3 Los organismos obtienen energía mediante determinados procesos metabólicos celulares

En una competencia internacional de ciclismo, los participantes después de una agotadora carrera se veían exhaustos, luchando por obtener energía en un último esfuerzo. Uno de ellos pasó al frente de los demás y quedó en primer lugar, pero en cuanto terminó la carrera se realizó un análisis de su sangre y fue despojado de su medalla, ¿por qué? Había utilizado una sustancia que estimula a la médula ósea a aumentar la producción de glóbulos rojos (doping), con esto lograba incrementar el flujo sanguíneo, el transporte de dioxígeno, y así obtener más energía.

- ¿Qué función en los organismos posibilita la obtención de energía?
- ¿Todos los organismos obtienen la energía de la misma forma?
- ¿Qué adaptaciones han desarrollado los organismos en los distintos procesos, que posibilitan el suministro constante de dioxígeno a las células?
- ¿Qué aplicaciones tienen en la práctica, los conocimientos sobre la respiración?

En la ejecución y mantenimiento de todas las funciones del organismo, es de suma importancia la energía proveniente de los nutrientes incorporados del medio ambiente. En el epígrafe anterior se analizó cómo esta es obtenida de la luz solar durante la fotosíntesis, proceso en el que se logran como productos finales, compuestos orgánicos. En estos está contenida la energía radiante que será transformada en energía potencial en los enlaces químicos de los compuestos orgánicos sintetizados.

Tanto las plantas como los organismos heterótrofos liberan la energía de dichos compuestos de modo que la puedan utilizar en su funcionamiento y desarrollo; la que ha sido liberada se almacena en la célula en forma de energía metabólicamente utilizable.

Durante el proceso evolutivo se desarrollaron moléculas de nucleótidos en cuyos enlaces fosfato almacenan la energía, y luego la ceden en el momento en que sea necesaria su utilización. Entre estos nucleótidos destaca el trifosfato de adenosina (ATP), este se sintetiza en una reacción endergónica en la que el difosfato de adenosina (ADP) incorpora otro grupo fosfato y se transforma en ATP. En este estado, dicho nucleótido está cargado de energía metabólicamente utilizable en sus enlaces fosfato (ver figura 3.2).

Esta energía metabólicamente utilizable (contenida en las moléculas de ATP) se obtiene de las células mediante procesos catabólicos o de degradación, entre los que se encuentran la fermentación, la respiración aerobia, y la respiración anaerobia.

Recuerda que...

La fermentación es el proceso catabólico más sencillo y antiguo en la evolución de los seres vivos. Fue el proceso realizado por los primeros organismos unicelulares procariotas, surgidos en los albores de la vida en nuestro planeta. Esto tuvo lugar en las condiciones anaerobias existentes en esos momentos, y porque los mares donde habitaban contenían materia orgánica sintetizada abiogénicamente, gracias a diferentes fuentes energéticas como volcanes, rayos ultravioletas, descargas eléctricas, entre otras.

Es el proceso metabólico de más antigua utilización en la biotecnología de primera generación para la obtención de alimentos como el pan, el vino, el vinagre y el yogurt, entre otros.

La fermentación es un proceso anaerobio, catabólico, de degradación incompleta de compuestos orgánicos, que son transformados en compuestos más sencillos mediante la acción de enzimas hidrolíticas, y en el que se libera energía metabólica en forma de ATP.

En esta, la degradación de los compuestos orgánicos es incompleta, pues el resultado son otras moléculas orgánicas que aunque son más sencillas, todavía contienen energía potencial en sus enlaces covalentes, por lo que solo se obtiene una pequeña cantidad de energía metabólica (2 moléculas de ATP por cada molécula orgánica fermentada).

Esta es la posible causa de que este proceso solo lo realicen organismos como bacterias, levaduras, y otros de relativa poca complejidad. Sin embargo, en la evolución de otras formas catabólicas de obtención de energía más complejas como la respiración aerobia en plantas y animales, la fermentación se mantuvo como una fase inicial del proceso; a esta se le denomina glucólisis. En el tejido muscular de los animales cuando existe déficit de oxígeno, por ejemplo durante un trabajo muscular intenso, se produce una forma de fermentación que origina ácido láctico como subproducto.

En el mundo microbiano la fermentación es un proceso ampliamente diversificado. Los sustratos y productos son muy variados y han sido ampliamente aprovechados desde los albores de la humanidad, en la producción de alimentos y otras sustancias de uso doméstico e industrial. Las más conocidas son la fermentación alcohólica (realizada por la levadura ***Sacharomices cereviseae***), que se utiliza en la producción de cerveza, vinos y pan; la fermentación láctica (en la que interviene la bacteria ***Lactobacillus bulgaricus***), utilizada en la producción de yogur y queso; la fermentación acética (que realiza la bacteria ***Acetobacter aceti***), utilizada en la producción de vinagre. Hay muchas otras variantes con las que actualmente se obtienen diversos tipos de alcoholes, ácidos, y otros compuestos orgánicos sencillos de importancia económica.

En las reacciones siguientes se representan dos de los procesos de fermentación más conocidos, la fermentación láctica y la fermentación alcohólica:

$$\text{Glucosa} \longrightarrow 2 \text{ ácido láctico} + 2H^+ + \text{energía (2 ATP)}$$

$$\text{Glucosa} \longrightarrow 2 \text{ alcohol etílico} + 2CO_2 + \text{energía (2 ATP)}$$

Aplicación práctica

La industria biotecnológica ha desarrollado nuevos métodos biotecnológicos de segunda generación para obtener productos de la fermentación a escala industrial, como medicamentos (vitaminas, antibióticos), alcoholes, ácidos, y enzimas de diferentes tipos, entre otras sustancias útiles en procesos de la industria química. También es utilizada en la producción de biogás o metano, alternativa a la utilización de combustibles fósiles como contribución con la conservación del medio ambiente, al degradar moléculas contaminantes. También estos procesos son la base de las lagunas de oxidación, plantas de filtrado y del tratamiento de residuales líquidos y sólidos.

En casa tú también puedes utilizar algunos de los procesos biotecnológicos, y elaborar vinos, yogur, o vinagre.

Los microorganismos también desarrollaron otras formas más complejas de degradación de los compuestos orgánicos de donde se obtiene energía metabólica, pero esta vez en mayores cantidades, pues el sustrato orgánico se degrada mucho más que en la fermentación. Se trata de las diferentes formas de respiración en las que se utilizan diversas sustancias químicas como último aceptor de los electrones que se liberan en el proceso.

Estas se han clasificado en dos tipos: la respiración anaerobia y la respiración aerobia. La diferencia esencial entre ambas radica en el aceptor final de electrones: en la aerobia, son las moléculas de dioxígeno incorporadas del medio, mientras que en la anaerobia los aceptores finales de electrones son diferentes tipos de compuestos (azufre, nitrógeno, hierro, entre otros), que también se incorporan del medio donde habitan estos microorganismos.

La respiración aerobia es un proceso catabólico de obtención de energía metabólicamente utilizable, en el cual la glucosa es degradada completamente mediante enzimas, y se libera energía metabólica en forma de ATP, en presencia de dioxígeno que actúa como último aceptor de electrones.

Este proceso ocurre en muchos microorganismos y en todos los organismos pluricelulares, incluidos bacterias, protistas, hongos, plantas y animales. En la respiración aerobia, que ha sido la más estudiada desde los inicios de la bioquímica, la ecuación general de reacción es:

$C_6H_{12}O_6$ (glucosa) + 6 O_2 (g) $\longrightarrow$ 6 CO_2 (g) + 6 H_2O + energía (36 ATP)

La respiración aerobia es un complejo proceso catabólico, en el que se distinguen tres fases: la glucólisis, el ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa. Cada una se realiza en un sitio específico de la célula, poniéndose de manifiesto la relación estructura-propiedades-funciones (figura 3.13).

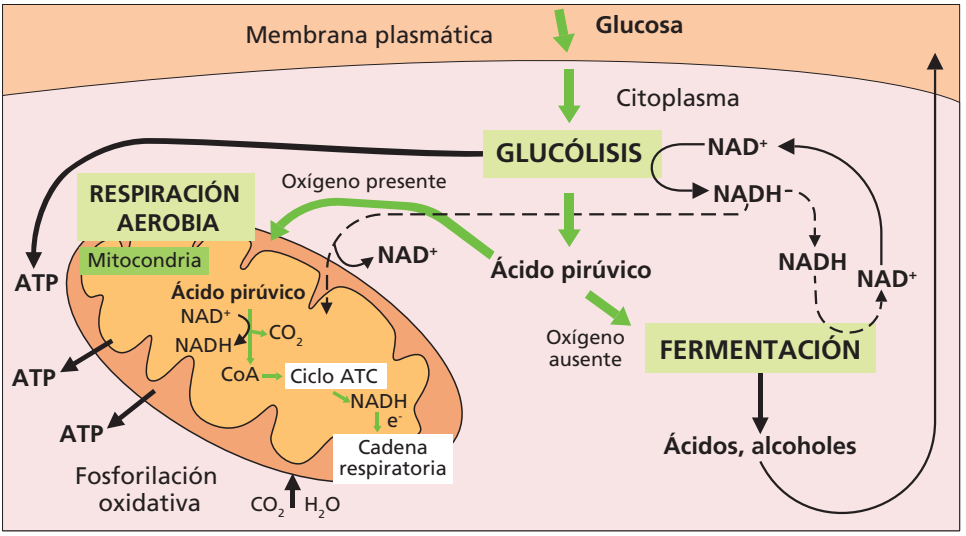


Fig. 3.13 Diferentes procesos de la respiración

La glucólisis es un proceso catabólico que tiene lugar en la matriz citoplasmática y consiste en la degradación incompleta de una molécula de glucosa (monosacárido de seis átomos de carbono). En este sitio ocurren una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente y acopladas a otras reacciones de fosforilación, en las que al romperse los enlaces covalentes C—C de la glucosa, se transfiere la energía contenida en ellos a los enlaces fosfato de las moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) que se sintetizan a partir de las de difosfato de adenosina (ADP).

El producto final de esta serie de reacciones es el piruvato o ácido pirúvico, que es una molécula orgánica de tres átomos de carbono. Esta molécula aún contiene energía potencial en sus enlaces C—C, de ahí que se diga que este es un proceso de degradación incompleta de la glucosa en el que solo se obtienen 2 moléculas de ATP por cada una de glucosa degradada. También se reducen moléculas del aceptor nicotinamida adenin dinucleótido (NAD), que se transforman en $NADH^+$. Más adelante veremos cómo esta molécula produce más cantidad de energía metabólica.

En los organismos fermentadores existen enzimas que en ausencia de oxígeno oxidan el ácido pirúvico transformándolo en diferentes productos como ácidos o alcoholes, pero en los organismos aerobios, el ácido pirúvico al entrar a las mitocondrias, continúa degradándose hasta liberar CO_2 y H_2O. Esta es la respiración aerobia, proceso catabólico que fue posible, debido a las adaptaciones celulares y moleculares que se produjeron durante la evolución de microorganismos aerobios, como algunas bacterias, arqueas, protistas, hongos, y más tarde, en plantas y animales.

En las membranas de las bacterias aerobias surgieron ciertas adaptaciones como el plegamiento hacia el interior del citoplasma, que hace que aumente su superficie, y la presencia de moléculas transportadoras de electrones y de la enzima sintetasa de ATP (ATPasa). Este complejo molecular se encuentra organizado en la membrana de manera tal, que facilita la síntesis de ATP como el producto final más importante de la respiración.

Recuerda que...

La respiración aerobia surgió en nuestro planeta cuando cambiaron las propiedades de la atmósfera primitiva debido al surgimiento, la diversificación y la expansión de las bacterias fotosintetizadoras en los mares primitivos; esto condujo a la acumulación de dioxígeno libre y transformó consecuentemente, la atmósfera primitiva, de reductora en oxidante. Este dioxígeno libre disuelto en el agua y en el aire provocó la extinción de muchas de las bacterias anaerobias, pero otras resistieron la oxidación adaptándose a su presencia, aunque continuaban siendo anaerobias, lo que le confirió la condición de bacterias facultativas. La utilización de estas moléculas de dioxígeno libre en las aguas originó la respiración aerobia.

En las células eucariotas el ácido pirúvico penetra en las mitocondrias, donde se realiza la respiración aerobia.

Las mitocondrias son orgánulos celulares semiautónomos (por la presencia del ADN circular y ribosomas) que suministran la mayor parte de la energía necesaria en el funcionamiento celular, pues sintetizan ATP a partir de moléculas orgánicas (glucosa, ácidos grasos y aminoácidos) en presencia de dioxígeno libre.

Recuerda que...

En su estructura las mitocondrias presentan una membrana exterior permeable a iones, metabolitos y muchos polipéptidos (figura 3.14). La membrana interna es altamente selectiva y contiene muchos complejos enzimáticos; esta forma invaginaciones o pliegues llamados crestas mitocondriales, que contienen numerosas proteínas transportadoras y ATPasa. En la matriz mitocondrial se encuentran enzimas catabólicas.

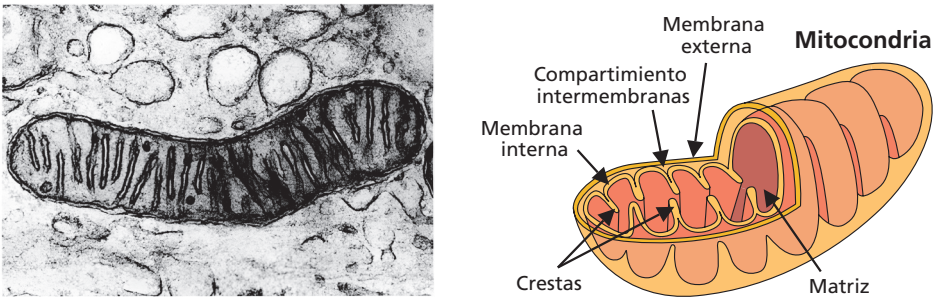


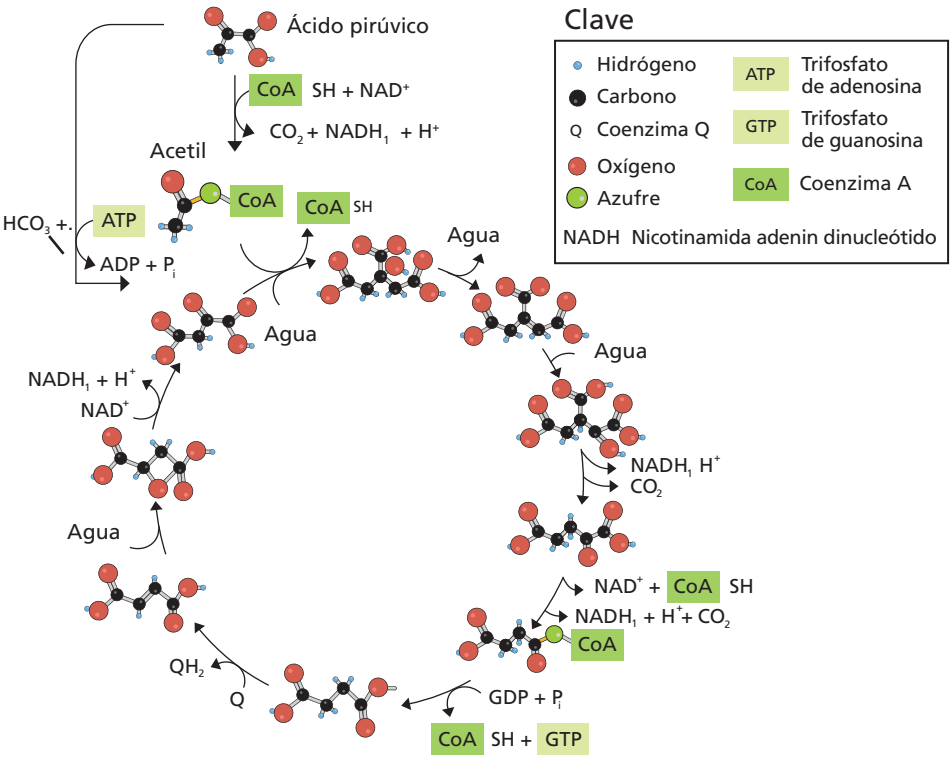
Fig. 3.14 Microfotografía electrónica y dibujo tridimensional de una mitocondria

Las fases de la respiración aerobia que ocurren en el interior de las mitocondrias, son el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, a la que están acopladas reacciones de fosforilación oxidativa.

A la degradación del ácido pirúvico mediante una serie de reacciones acopladas de carácter cíclico, se le denomina ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ATC) o ciclo de Krebs, en honor a su descubridor: el bioquímico británico Hans Adolf Krebs (1900-1981), ganador del Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1953. Esta fase se realiza en la matriz mitocondrial (figura 3.14), que es donde se encuentran las enzimas con propiedades catalíticas, capaces de degradar las moléculas involucradas.

En el esquema 3.5 puedes observar la serie de reacciones de carácter cíclico, en las que se libera energía en moléculas de GTP, se reducen moléculas de NAD formando NADH, y se libera CO_2.

El transporte electrónico, también denominado cadena respiratoria, está acoplado a la fosforilación oxidativa. Esta fase se realiza en las crestas mitocondriales donde se encuentran las proteínas transportadoras y las enzimas ATPasas (Fig. 3.15).



Esquema 3.5 Reacciones del ciclo de Krebs

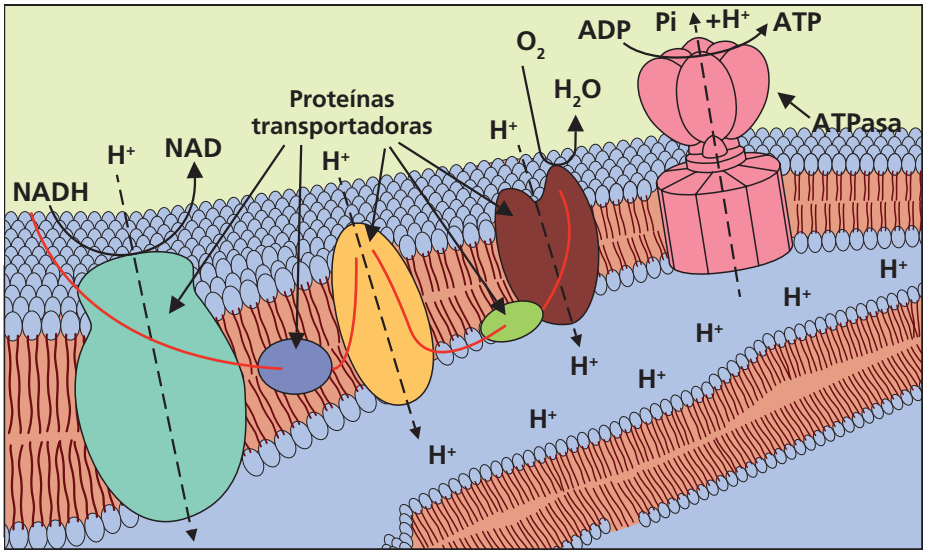


Fig. 3.15 Relaciones estructurales y funcionales entre las moléculas de las crestas mitocondriales implicadas en la respiración aerobia

La cadena respiratoria o de transporte de electrones está formada por proteínas que ejercen esta función, y que se encuentran empotradas en la bicapa lipídica de las crestas mitocondriales.

En esta vía metabólica las sustancias iniciales son las moléculas de $NADH^+$ producidas en las fases anteriores (glucólisis y ciclo de Krebs). Cada molécula transportadora oxida a una de $NADH^+$, y se reduce al aceptar un par de electrones. A continuación lo transfiere de uno a otro transportador, como una cadena, hasta que finalmente los electrones reducen al dioxígeno proveniente del medio ambiente, siendo este el último aceptor de electrones; en esta reacción se forma agua.

Durante esta transferencia de electrones se bombean protones (H+) hacia el interior del compartimento interno de las crestas mitocondriales, donde se acumulan en mayor concentración que en el compartimento externo.

¿Qué importancia tiene el bombeo de protones al interior de las crestas?

Esta diferencia de concentración de protones entre ambas caras de la membrana mitocondrial genera un elevado gradiente de concentración de iones hidrógeno, que es utilizado por la enzima ATP sintetasa en la fosforilación oxidativa, que no es más que la síntesis de ATP, el producto final más importante de la respiración.

Mediante este mecanismo, de cada molécula de glucosa que se degrada se obtienen de 32 a 34 moléculas de ATP. Si comparas esta cifra con las 2 moléculas que se obtienen en la fermentación, entonces te podrás dar cuenta de las ventajas adaptativas que tiene la respiración, gracias a la cual se pudieron desarrollar células y organismos cada vez más complejos como las células eucariotas, y más tarde organismos pluricelulares. Esta energía metabólica contenida en el ATP es utilizada en procesos de síntesis, y otros que se efectúan en los compartimentos celulares, y permite el adecuado funcionamiento, desarrollo y reproducción del organismo.

Podemos concluir que durante la respiración aerobia se establecen relaciones de dependencia y continuidad entre sus tres fases, y entre la matriz citoplasmática y los componentes estructurales de la mitocondria. Como se observa en el esquema 3.5, el ácido pirúvico resultante de la glucólisis es la materia prima del ciclo de Krebs que ocurre en la matriz mitocondrial; las moléculas de NADH formadas en la glucólisis también penetran en la mitocondria, y junto a las otras que se forman en dicho ciclo oxidan a las moléculas transportadoras que forman la cadena respiratoria (Fig. 3.15). A su vez, la cadena respiratoria bombea iones H+ al interior de

las crestas, generando el gradiente necesario en la síntesis de ATP o fosforilación oxidativa.

La respiración aerobia y la fotosíntesis son procesos metabólicos contrarios, pero juntos garantizan el equilibrio de los ecosistemas mediante las importantes relaciones ecológicas que guardan los organismos que las realizan.

Comprueba lo aprendido

1. Explica por qué la nutrición contribuye al mantenimiento de la vida.

2. Compara la nutrición autótrofa con la heterótrofa, para ello determina los criterios de comparación y establece semejanzas y diferencias. Elabora un listado de organismos que conozcas que realicen cada tipo de nutrición.

3. Haz un esquema lógico donde se evidencien las relaciones evolutivas entre las diferentes formas de nutrición.

4. ¿Qué adaptaciones presentan las plantas que les permiten producir compuestos orgánicos? Debes tener en cuenta los diferentes niveles de organización de la materia contenidos en una planta. Explica en cada caso, por qué constituyen una adaptación.

5. Elabora cuadros sinópticos que te ayuden a explicar cómo se manifiesta la relación estructura-propiedad-función en las siguientes adaptaciones de una planta:

- hojas
- cloroplastos
- clorofila

6. Las hojas de las plantas se calientan con el sol a una temperatura mayor que la del aire y ello favorece la pérdida de agua a través de los estomas. Tomando en cuenta que a diferencia de los animales, las plantas no pueden buscar un lugar sombreado y así evitar la pérdida de agua, selecciona cuál consideras que sea la adaptación que dará solución más eficientemente al problema planteado y permitirá conservar las funciones vitales de la planta:

__ Suspensión del proceso de respiración;
__ absorción de enormes cantidades de agua, para luego liberarla a través de las hojas;
__ almacenamiento de agua en los tejidos de las hojas más altas, o
__ distribución de las hojas más pequeñas en la copa, y las de mayor tamaño por debajo de estas.

7. Al observar la longitud del intestino de renacuajos de dos especies, se observó que el de la especie 1 es mayor que el de la especie 2; si conocemos además que la digestión de alimentos de origen vegetal es más compleja que la de los de origen animal, pudiéramos pensar que:
__ Los renacuajos de la especie 1 son carnívoros y los de la especie 2, herbívoros;
__ los de ambas especies son carnívoros;
__ los de la especie 1 son herbívoros y los de la especie 2 carnívoros, o
__ los de ambas especies son herbívoros.

8. Explica la relación que existe entre las reacciones fotoquímicas y las reacciones en la oscuridad de la fotosíntesis. ¿Consideras que constituyen un sistema? Argumenta.

9. Elabora un modelo con el que puedas explicar las interacciones entre los componentes moleculares de un tilacoide, que posibilitan la transducción energética de la energía radiante (de los rayos solares) a la energía potencial (en enlaces químicos).

10. Analiza los siguientes resultados de observaciones experimentales sobre la nutrición mineral de las plantas, y determina el o los factores que intervienen en la producción de clorofila.
__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía cloruro, magnesio, y suficiente luz, se pusieron verdes.
__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía solo cloruro, y que fueron expuestas a la luz, permanecieron descoloridas.
__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía cloruro, magnesio, pero que se mantuvieron en la oscuridad, permanecieron descoloridas.
__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía solo magnesio, y fueron expuesta a la luz, se pusieron verdes.

__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía solo magnesio, y que se mantenían en la oscuridad, permanecieron descoloridas.
__ Las plantas que crecieron en terreno que no contenía ni cloruro, ni magnesio, pero que fueron expuesta a la luz, permanecieron descoloridas.
__ Las plantas que crecieron en terreno que contenía magnesio, pero no cloruro y que se mantenían en la oscuridad, permanecieron descoloridas.
__ Las plantas que crecieron en terreno que no contenía ni cloruro, ni magnesio, y que se mantenían en la oscuridad, permanecieron descoloridas.

11. ¿Qué importancia agrícola tiene investigar los requerimientos nutricionales de los diferentes vegetales?

12. ¿En qué se diferencia la agricultura intensiva de alto consumo, de la agricultura sostenible? Valora los aspectos positivos y negativos de cada una.

13. Confecciona un cuadro que resuma los tipos de nutrición heterótrofa. Debes determinar los criterios comparativos y luego de completar el cuadro, arribar a conclusiones acerca de la unidad y diversidad en esta función vegetativa.

14. ¿Qué semejanzas y diferencias existen entre la digestión intracelular y extracelular? Ejemplifica.

15. Elabora un esquema lógico, con los componentes de un patrón de regulación, que represente los siguientes procesos:
- regulación nerviosa de la salivación
- regulación endocrina de la secreción del jugo gástrico.

16. Explica por qué, ante una mala noticia, a una persona se le puede afectar el proceso de digestión.

17. ¿Por qué es necesario consumir una dieta balanceada? Diseña un menú con desayuno, almuerzo y comida donde esto se evidencie.

18. ¿Qué medidas propondrías en tu comunidad para evitar una intoxicación alimentaria?

19. Fundamenta la afirmación siguiente: la correcta masticación de los alimentos, y una apropiada higiene bucal contribuyen a la conservación de la salud y facilitan la digestión.

20. ¿Cómo se pueden prevenir la anorexia y la bulimia en la población de adolescentes?

21. ¿Qué consecuencias puede traer la desnutrición infantil en el desarrollo del niño, el adolescente y el joven?

22. Valora la afirmación siguiente: la desnutrición es un problema biológico, económico y social.

23. Investiga qué políticas se adoptan en Cuba para garantizar la soberanía alimentaria y la educación nutricional.

24. ¿Cómo pudiera afectar el cambio climático la nutrición de animales y plantas en el planeta, y en especial la de los humanos?

25. En el estudio de una planta nativa de alto valor alimenticio (promisoria para la agricultura), se evaluó la composición de almidón, celulosa y grasa de diferentes órganos. Se obtuvieron los datos registrados en la tabla siguiente:

Componentes	Raíces	Semillas	Hojas	Tallos
Almidón	30	50	15	5
Celulosa	60	13	70	75
Grasas	5	30	13	5
Otras	5	7	2	15

A partir de estos datos, ¿qué parte de la planta que elegirías para producir harina?:

__ hojas
__ tallo
__ raíz
__ semillas

26. La glucólisis es un proceso mediante el cual la célula obtiene energía en forma de ATP, indispensable en el desarrollo de los procesos metabólicos. Selecciona, de las opciones siguientes, qué proceso ocurriría en caso de presentarse una deficiencia de glucosa:

__ la disminución del gasto de energía;
__ la glucogénesis;
__ la conversión de proteínas en lípidos, o
__ el incremento de la tasa de transpiración.

27. Las reacciones que se llevan a cabo en el interior de las mitocondrias liberan energía y requieren dioxígeno. Si usted realiza una carrera de 400 m planos, sin entrenamiento previo, su organismo obtendrá la energía que necesita, del proceso de oxidoreducción en que participa la glucosa extraída de:

__ la sangre, que es el sitio de almacenamiento de la glucosa, y donde los niveles de hormonas activan la función del hígado;
__ los músculos, porque la ruta sanguínea es muy larga (el proceso es anaerobio);
__ la sangre, que es el sitio donde se encuentra la glucosa proveniente del proceso digestivo, que es transportada a las células, o
__ los músculos, porque el transporte a la mitocondria es más rápido y esto hace que se produzca energía rápidamente.

a) Justifica tu respuesta.

3.4. Los organismos desarrollaron adaptaciones que les permiten la respiración celular

Tanto en la fotosíntesis como en los diversos mecanismos de liberación de energía metabólica a partir de los sustratos orgánicos, los organismos incorporan ciertos gases presentes en el medio, como el dióxido de carbono y el dioxígeno.

Los organismos menos complejos como los unicelulares, las plantas, los animales más sencillos, y los microorganismos, toman estas sustancias directamente del medio ambiente y las incorporan al medio interno a través de sus membranas. Esto lo realizan mediante los mecanismos de difusión simple, transporte activo o pasivo, y la endocitosis.

Durante la evolución se desarrollaron en los organismos pluricelulares, adaptaciones que conllevaron a una mayor especialización en tejidos, órganos y sistemas de órganos. Estas les han permitido habitar en las más diversas condiciones del medio ambiente, y les posibilitaron el suministro de los recursos necesarios en la respiración aerobia. Así aparecen los órganos ventilatorios y de intercambio de gases, con una diversidad extraordinaria en las plantas y los animales.

El estudio de estos contenidos te permitirá comprender procesos como la ventilación y el intercambio de gases, también algunas adaptaciones de los organismos al medio donde habitan. Entonces podrás responder preguntas como las siguientes:

- ¿Qué adaptaciones se desarrollaron en el proceso evolutivo en los diferentes grupos de organismos, que les permiten realizar la ventilación?
- ¿Qué importancia tienen la ventilación y el intercambio de gases en la incorporación y eliminación de los gases respiratorios?
- ¿Cómo se relacionan estos procesos en los animales? ¿Cuáles son los factores básicos necesarios en el intercambio de gases?
- ¿Todos los organismos de respiración aerobia obtienen el dioxígeno de la misma forma?

La ventilación es el movimiento del medio externo, ya sea aire o agua, sobre la superficie donde se produce el intercambio de gases, lo que provoca una diferencia de presión parcial.

El proceso de ventilación está acoplado a los movimientos de los líquidos circulantes en las superficies respiratorias.

3.4.1 ¿Cuáles adaptaciones posibilitan a los organismos el intercambio gaseoso y la ventilación en diferentes medios?

Todos los organismos (unicelulares y pluricelulares) han desarrollado como resultado del proceso evolutivo, una gran diversidad de adaptaciones según las condiciones del medio donde viven (acuático o terrestre), que les permiten llevar a cabo la ventilación, el intercambio y transporte de gases. Estos procesos aseguran a las células el suministro continuo de

los gases que requieren durante sus procesos metabólicos, y la salida de los que resultan productos de desecho.

En la mayoría de los organismos, a través de la ventilación se logra renovar el medio externo que se encuentra en la superficie (agua o aire), y de ese modo las células que se encuentran en contacto directo con este pueden efectuar el intercambio de gases.

En organismos unicelulares como bacterias, protistas, hongos y algas, este proceso está vinculado a la locomoción, pues al mismo tiempo que estos organismos se desplazan en el agua se produce la renovación del medio que está en contacto con su membrana citoplasmática. Por esta razón los cilios, flagelos y seudópodos, se consideran adaptaciones ventilatorias y locomotoras. En algunos organismos más complejos como las esponjas, los flagelos de los coanocitos mueven el agua, produciendo una corriente que la hace penetrar por los poros y salir por el ósculo (figura 3.16).

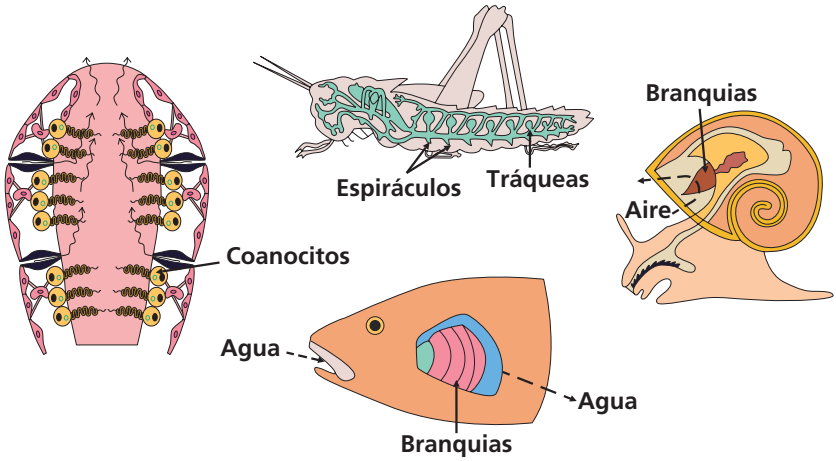


Fig. 3.16 Diversidad de adaptaciones a la ventilación en los animales

Algunos peces mantienen la boca y los opérculos abiertos, por los que les penetra agua y esto facilita la ventilación a través de las branquias. En otros animales como los insectos, arácnidos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, se producen movimientos del tórax (auxiliado por músculos), que permiten la entrada y salida de aire o agua según su hábitat.

Los animales han desarrollado órganos y sistemas de órganos (que ya estudiaste en octavo y noveno grados), especializados en la ventilación y el intercambio de gases, como el sistema respiratorio, que posibilita el normal desarrollo de la respiración a nivel celular.

Muchas personas tienden a confundir los términos respiración y ventilación. Como se ha definido, la respiración es un proceso metabólico que ocurre a nivel celular, en el que se obtiene energía metabólica en forma de ATP, mientras que la ventilación es el movimiento de aire o agua desde el medio interno del organismo hacia la superficie donde se produce el intercambio de gases, y de estos al exterior.

¿Sabías que...?

La capacidad vital es la cantidad total de aire que se puede espirar después de una inspiración profunda. El ser humano posee una capacidad vital de 4 a 5 litros, y el caballo de 30 litros.

Los procesos ventilatorios de inspiración y espiración están regulados por el sistema neurovegetativo. La frecuencia de los movimientos ventilatorios se puede modificar ante variaciones de los medios externo o interno.

Aplicación práctica

Durante la realización de una ventilación óptima se deben tomar una serie de medidas como:

- inspirar por las fosas nasales,
- no permanecer con animales, ni lámparas de combustión encendidas, en habitaciones cerradas, ya que consumen oxígeno y liberan dióxido de carbono,
- evitar inhalar las emanaciones de gases, humo, polvo y sustancias químicas,
- concebir una arquitectura sostenible, con óptima utilización de los recursos naturales, tomando en cuenta la afectación que provoca el clima a esta actividad, y sobre esa base diseñar habitaciones con entrada de aire cruzada.

Acoplado a la ventilación se realiza el intercambio de gases, por lo que este constituye el proceso auxiliar de la respiración aerobia en el que el medio interno del organismo incorpora el dioxígeno del medio ambiente, y libera a este el dióxido de carbono. Este proceso requiere de un conjunto de factores entre los que encontramos:

- La existencia de áreas de intercambio formadas por una superficie permeable a los gases y al agua.

- Un medio líquido o superficie húmeda donde se disuelvan los gases.
- Un gradiente de difusión determinado por la diferencia de presión parcial de los gases a ambos lados de la membrana.

En muchos organismos se han desarrollado adaptaciones que posibilitan este intercambio, entre las que se encuentran la presencia de membranas desnudas o cutículas muy finas, áreas de intercambio situadas en órganos internos (tráquea, pulmones), glándulas secretoras de mucus que mantiene húmeda la superficie de intercambio, entre otras.

Este intercambio se realiza entre el medio externo y el medio interno. El medio externo es el que se encuentra rodeando inmediatamente al organismo (agua o aire) y el medio interno donde se encuentran disueltos los gases de intercambio, que varía en dependencia del grado de complejidad de dicho organismo. Por ejemplo, en los unicelulares lo constituye la matriz citoplasmática, en las plantas los líquidos que llenan los espacios intercelulares, y en los animales este medio interno lo constituyen el líquido intersticial, la linfa y la sangre.

El intercambio de gases directo es característico de los organismos que carecen de sistema ventilatorio o respiratorio y los gases difunden directamente a través de la membrana citoplasmática o de la epidermis. Este tipo de intercambio lo realizan bacterias, hongos, plantas y algunos animales sencillos, como las esponjas, los celenterados, los anélidos, y los platelmintos, entre otros (figura 3.17).

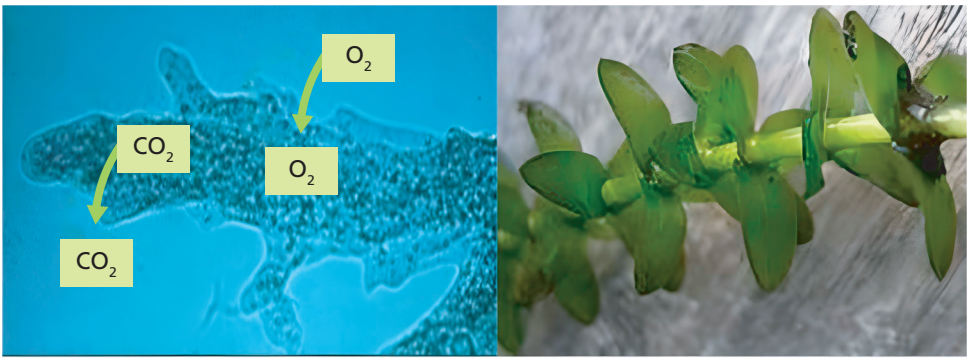


Fig. 3.17 Intercambio de gases directo en organismos sencillos

A pesar de que las plantas vasculares presentan una gran complejidad, casi todas sus células vivas se encuentran en contacto con el medio

ambiente, por lo que el dioxígeno y el dióxido de carbono pueden llegar a las células directamente atravesando los espacios intercelulares. En el proceso evolutivo se desarrollaron adaptaciones especializadas que han hecho posible el intercambio gaseoso, entre las que tenemos: los estomas (en las hojas, tallos jóvenes, flores y frutos), las lenticelas (en los tallos leñosos) y los pelos absorbentes (prolongación del tejido epidérmico en las raíces).

Como conoces, los estomas y las lenticelas son orificios de intercambio. En el caso de los estomas el orificio se denomina ostiolo y presenta dos células oclusivas que regulan el intercambio gaseoso mediante su apertura o cierre, en dependencia de la presencia o no de agua en el medio ambiente. En condiciones cálidas y secas los estomas se cierran, contribuyendo de esta forma a reducir la pérdida de vapor de agua; en condiciones de humedad atmosférica las células oclusivas cambian su forma, por lo que se abre el ostiolo (figura 3.18).

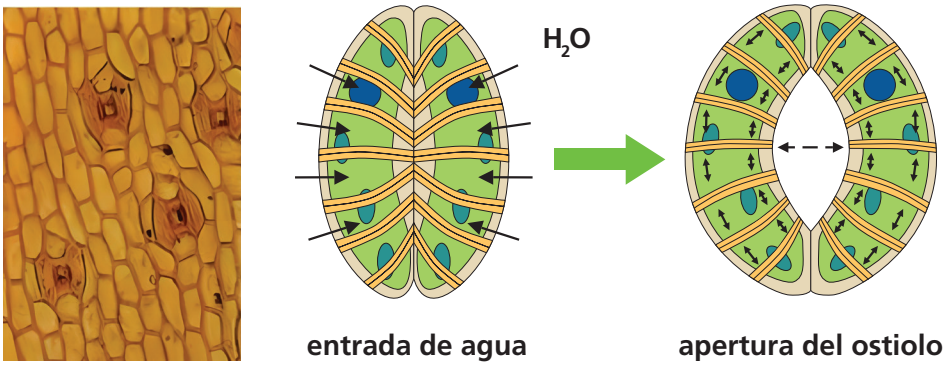


Fig. 3.18 De izquierda a derecha: tejido epidérmico con estomas y modelación del funcionamiento del estoma

Saber más

El movimiento de apertura y cierre de los estomas guarda relación con la presión de turgencia de las células oclusivas. La pared interior de esta célula es gruesa y elástica, mientras que la exterior es mucho más delgada, por lo que al modificarse la turgencia de las células oclusivas (plasmólisis y desplasmólisis), se produce aumento o disminución, según sea el caso, del diámetro del ostiolo. El aumento de la turgencia de las células oclusivas hace que se acentúe la curvatura de su pared exterior, lo que obliga a las paredes interiores a arquearse, y esto hace que se abra el orificio del estoma.

Las plantas acuáticas desarrollaron diferentes adaptaciones según su hábitat; como las que presentan las raíces parcialmente sumergidas como el mangle. Esta planta muestra tallos, raíces y hojas aéreas o flotantes, y espacios intercelulares que posibilitan la circulación del aire y facilitan la difusión de los gases hacia las células. Las raíces modificadas del mangle se denominan neumatóforos y se elevan verticalmente, lo que permite el intercambio gaseoso.

Reflexiona

Los manglares son de gran importancia; sin embargo, aproximadamente el 30% de los existentes en Cuba están siendo afectados por el incremento de la salinidad y la disminución de los nutrientes, derivados del represamiento, la contaminación, la deforestación no sostenible, la acción abrasiva del mar sobre las costas, la acumulación de arena sobre las raíces, y la disminución de las precipitaciones, entre otras causas. Estos problemas se ven acrecentados en la actualidad por los efectos del cambio climático. En nuestro país se realiza la repoblación forestal del manglar en zonas de la costa sur de Mayabeque y de Guantánamo, como una de las acciones a favor de la conservación de estos importantes ecosistemas (figura 3.19).

Fig. 3.19 Recuperación de manglares en Cuba

En los anélidos como la lombriz de tierra, y en los platelmintos como la planaria, el intercambio de gases se realiza directamente a través del tegumento húmedo. La lombriz de tierra presenta glándulas debajo de la piel que segregan mucus, y esto la mantiene húmeda permitiendo la difusión de los gases (figura 3.20).

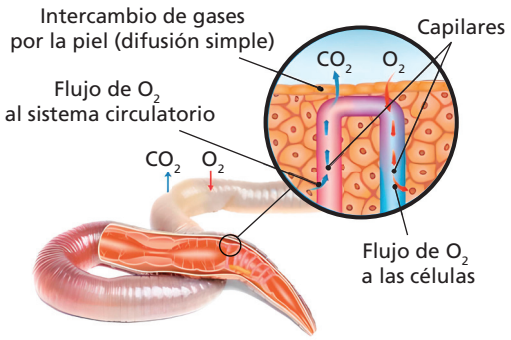


Fig. 3.20 Intercambio de gases en los anélidos

Los insectos y algunos arácnidos presentan en la superficie del cuerpo unos pequeños orificios llamados espiráculos (figura 3.21), a continuación se encuentran un sistema de túbulos muy finos denominados tráqueas que se ramifican hacia todos los órganos y tejidos. En su porción final, las tráqueas presentan un líquido en el que se difunden los gases y se realiza el intercambio.

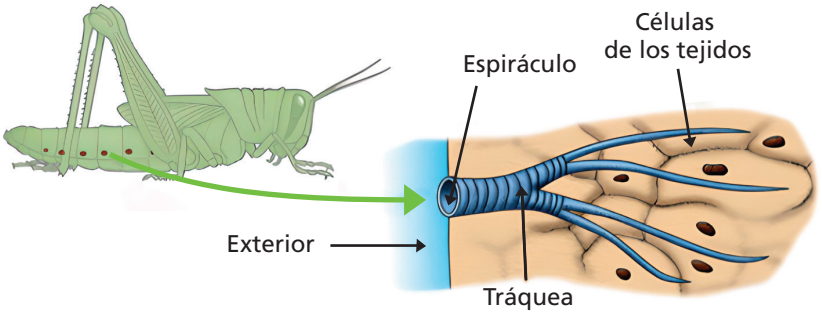


Fig. 3.21 Sistema de ventilación en los insectos

Aplicación práctica

El ser humano aplica los conocimientos sobre el sistema de ventilación de los insectos en el combate contra las plagas que perjudican las cosechas agrícolas.

Los insecticidas compuestos por aceites, emulsiones o polvos, afectan la función de los espiráculos de los insectos dañinos e impiden la entrada del aire, produciendo así la muerte de estos.

En animales terrestres existen adaptaciones que permiten mantener la humedad de la membrana permeable de las áreas de intercambio gaseoso, situadas en el interior del organismo.

¿Sabías que...?

Las aves migratorias presentan sacos aéreos conectados a los pulmones que posibilitan el paso del aire oxigenado hacia los pulmones durante la espiración. Esto constituye una adaptación al vuelo a gran altura, para el que se necesita mucha energía. Estas aves en época de frío, se trasladan desde lejanas latitudes en busca de condiciones en las que puedan reproducirse mejor. Es necesario preservar la vida de estas aves, con el fin de conservar el equilibrio medioambiental.

Como debes recordar, en los animales superiores de vida terrestre como los humanos, el intercambio gaseoso se produce en los alveolos pulmonares, que son pequeños sacos en forma de racimo, formados por una membrana muy fina, húmeda y elástica, lo que permite el cambio de tamaño de estos durante la entrada y la salida de aire. Dicha membrana se encuentra cubierta de una red de capilares, y cuando el aire hace contacto con la superficie de intercambio, los gases difunden a través de esta obedeciendo a la presión parcial de ellos (figura 3.22).

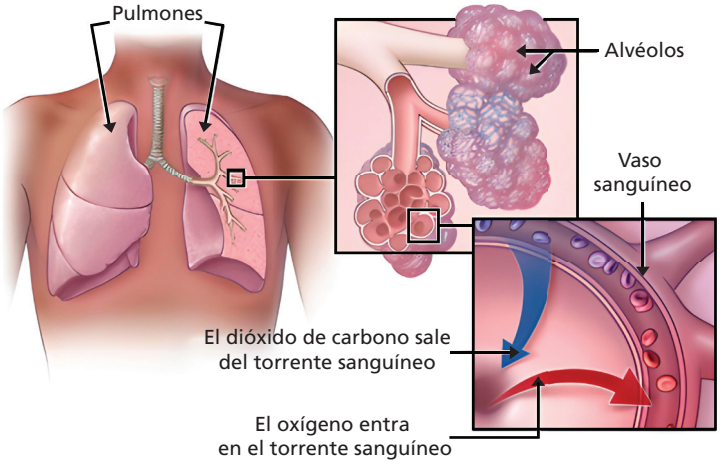


Fig. 3.22 Intercambio de gases en los alveolos pulmonares

3.4.2 ¿Cómo se pueden prevenir y tratar las enfermedades respiratorias?

En un grupo de onceno grado se encuentra un estudiante de buena conducta que desde pequeño fue fumador pasivo, pues sus abuelos y su

padre eran fumadores. Él adquirió este hábito desde octavo grado, ahora presenta cambios físicos y del comportamiento, tose mucho y se cansa rápido cuando practica deportes, su piel se ve opaca y reseca, sus dedos presentan una coloración amarillenta, y lo peor de todo es que su rendimiento académico ha ido empeorando y se encuentra siempre intranquilo.

- ¿Consideras que esta persona puede padecer alguna de las enfermedades obstructivas respiratorias? Fundamenta tus criterios.
- Él tiene a su alcance revertir su situación actual. ¿Compartes este criterio? ¿Por qué?

Los órganos del sistema respiratorio están expuestos a diversas afecciones agudas provocadas por infecciones virales y bacterianas, y otras que constituyen enfermedades crónicas no transmisibles. Entre las más comunes se encuentran la bronquitis, la neumonía, el asma bronquial, la tuberculosis y el cáncer de pulmón.

El asma bronquial es una enfermedad del sistema respiratorio que se caracteriza por una inflamación crónica de las vías aéreas. Sus manifestaciones clínicas son muy diversas y variables en el tiempo, y consiste en falta de aire, tos, opresión torácica, y emisión de ruidos espiratorios que aparecen como consecuencia del estrechamiento de estas vías.

En los individuos susceptibles, esta inflamación origina que dichos episodios se presenten en muchas ocasiones de noche o de madrugada. Estos síntomas aparecen con una frecuencia e intensidad variables, generalmente en forma de crisis que alternan con períodos asintomáticos. Cuando empeora, la crisis puede prolongarse por varios días.

Saber más

En una crisis grave de asma las vías ventilatorias pueden cerrarse impidiendo el intercambio de gases en los pulmones, e interfiriendo con la oxigenación y el funcionamiento de los órganos vitales. En estos casos puede sobrevenir la muerte. Existen muchas medidas para la prevención y el tratamiento de esta enfermedad.

El asma se manifiesta como respuesta a numerosos estímulos tanto internos como del medio ambiente. Estos estímulos pueden actuar directamente sobre los músculos lisos del árbol bronquial, o sobre células propias

que al secretar sustancias activas causan reacción inflamatoria y constricción de los bronquios.

Entre los estímulos que desencadenan los síntomas de esta enfermedad se encuentra la exposición al frío, la humedad, el polvo, a sustancias que puedan producir alergias (alergenos), y el estrés emocional. En el caso de los niños los desencadenantes más frecuentes son las enfermedades comunes, como el resfriado.

Saber más

El tratamiento del asma debe ser sistemático y mantenido durante muchos años, incluso durante toda la vida. Esto hace que se tengan presentes aspectos relacionados con la organización familiar, la planificación de los recursos, el control ambiental, etc., al igual que en otras enfermedades crónicas. Evitar la exposición a factores de riesgo y alergenos, contribuye a la prevención de las crisis y a la reducción de los síntomas.

Otras de las afecciones frecuentes de las vías ventilatorias es la rinitis, que consiste en una inflamación del revestimiento mucoso de la nariz y se caracteriza por picor y congestión nasal, estornudos y emisión abundante de líquido por la nariz.

Según su evolución, esta puede ser aguda (coriza), o crónica si se mantiene por más de seis meses. Su causa puede ser alérgica o no alérgica. En el segundo caso generalmente responde a la acción de virus o bacterias, de algunos medicamentos como vasoconstrictores, o antidepresivos, a enfermedades endocrinas como el hipertiroidismo, etc. Debido a la variedad de elementos que pueden ocasionarla se recomienda consultar al médico para instaurar tratamiento.

La neumonía es una infección del parénquima pulmonar que afecta los alveolos, el intersticio y en algunos casos los bronquios. Cuando el proceso inflamatorio abarca los bronquios, los bronquiolos y además está diseminado en focos por uno o más lóbulos de uno o de ambos pulmones, se denomina bronconeumonía.

En la neumonía de causa viral no se debe administrar antibióticos, excepto en pacientes desnutridos severos e inmunodeprimidos con procesos avanzados. La neumonía bacteriana sí debe ser tratada con antibióticos, y en la elección del tratamiento deben tenerse en cuenta los gérmenes

patógenos probables, el espectro de actividad, perfil de seguridad y costo del antibiótico, y el potencial de desarrollo de resistencia del paciente.

Reflexiona

Una causa común de afección de las vías ventilatorias es la inhalación del aire contaminado por el humo del cigarrillo, que al combustionar genera sustancias capaces de dañar los tejidos del árbol respiratorio de las personas que se encuentran expuestas a este. Por eso podemos afirmar que el tabaquismo es un problema de salud que no solo afecta al fumador.

La causa más frecuente del enfisema pulmonar (otra de las enfermedades comunes del sistema respiratorio), es el consumo de cigarrillos. Esta afección se caracteriza por el agrandamiento permanente de los espacios aéreos distales a los bronquiolos terminales, con destrucción de la pared de los alveolos. Se plantea que el tabaco, entre otros contaminantes, provoca la liberación de productos químicos que dañan las paredes de los alveolos pulmonares por lo que estos no pueden expulsar fácilmente el aire. Al quedar retenido aire en los pulmones colapsan las vías aéreas, también se destruyen los capilares que suministran sangre al alveolo, afectándose así el suministro de dioxígeno al organismo.

Entre los síntomas del enfisema pulmonar se encuentran la dificultad en la ventilación por pérdida de la elasticidad pulmonar y la disminución del peso corporal.

Entre las diferentes medidas de prevención de esta enfermedad se encuentran evitar la inhalación de humo del cigarro y no eliminar desechos contaminantes en áreas no establecidas para esto.

El cambio climático incide notablemente sobre las funciones vegetativas; en el caso de la respiración tenemos el ejemplo de las ciudades con alto nivel de contaminación atmosférica, en las que son frecuentes las enfermedades respiratorias por el bajo nivel de O_2 y altas concentraciones de CO_2.

Reflexiona

Las sustancias que se incorporan al organismo a través del sistema respiratorio deben encontrarse en correcto estado y libres de sustancias tóxicas, de ahí la importancia de evitar la contaminación ambiental por desechos industriales, vehículos automotores y aerosoles, con los que el ser humano contamina la biosfera.

La ventilación puede verse afectada, además de por las enfermedades mencionadas, por situaciones como la asfixia. Esta se produce cuando deja de fluir oxígeno a los pulmones o a los bronquios, por eventos como la obstrucción de la tráquea o atragantamiento (comúnmente por fallos en la deglución), ahogamiento, envenenamiento por gases, estrangulación, sobredosis de narcóticos, electrocución, o cualquier estado que cause una alteración prolongada en la aireación de la sangre, como enfermedades o traumatismos que causan depresión del centro respiratorio, localizado en el cerebro.

Las primeras fases de un cuadro de asfixia se acompañan de disnea y movimientos convulsivos, después la ventilación se hace lenta y superficial, y finalmente los movimientos se reducen a meras contracciones; la piel se torna cianótica, las pupilas se dilatan, se pierden los reflejos y se detiene por completo la respiración. Si el corazón continúa latiendo es posible la recuperación por medio de la respiración artificial, por lo que la población debe estar preparada en el dominio de esta técnica.

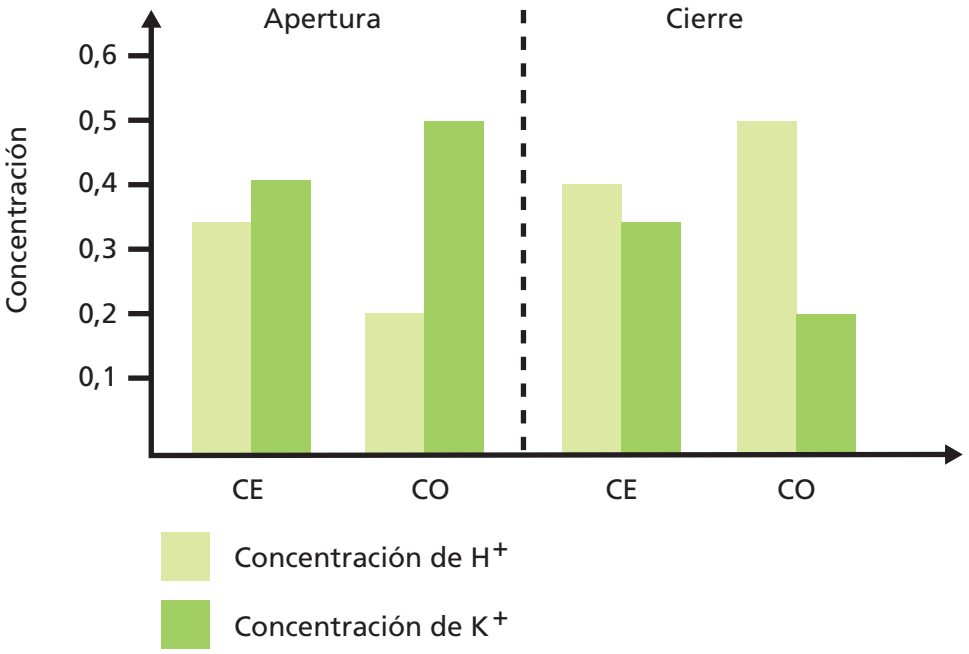
Si se detiene la oxigenación tisular puede ocurrir daño cerebral irreparable; la mayoría de las personas mueren seis minutos después de la parada respiratoria. Los primeros auxilios en estos casos incluyen la respiración artificial que consiste en exhalar aire en la boca de la persona afectada, dando tiempo a que esta exhale, y repetir sucesivamente hasta que se reanime (respiración boca a boca). En caso de atragantamiento se debe realizar una compresión abdominal desde la espalda, rodeando a la persona con los brazos alrededor de la cintura; esta técnica es llamada maniobra de Heimlich, y se debe repetir hasta que salga el objeto causante de la obstrucción.

Comprueba lo aprendido

1. El movimiento de apertura y cierre de los estomas es ocasionado por el flujo de iones de H^+ y K^+ entre las células oclusivas (CO) del estoma y las células epidérmicas (CE) que lo rodean. El siguiente esquema representa la concentración de iones H^+ y K^+ de las células oclusivas y epidérmicas en la apertura y cierre de los estomas.

Según el esquema, la afirmación correcta sería que los estomas:
__ se cierran cuando baja la concentración de H^+ en la célula epidérmica;

__ se abren cuando las células epidérmicas tienen mayor concentración de K^+ que las células oclusivas;
__ se abren cuando aumenta la concentración de K^+ en las células oclusivas, o
__ se cierran cuando aumenta la concentración de K^+ en las células oclusivas.



Esquema 3.6 Variaciones de la concentración de iones durante el funcionamiento de los estomas

2. El traslado de iones potasio (K^+) hacia el interior o exterior de la planta está relacionado principalmente con la disposición de agua del medio. De acuerdo con el modelo de movimiento estomático, cuando una planta se adapta al bosque tropical lluvioso la mayoría de los estomas presentes en las hojas mantienen una alta concentración de potasio. Tomando en cuenta que la afirmación anterior es válida, consideras que esto sucede porque:

__ el movimiento del estoma depende de la concentración de iones de potasio en su interior. Si la planta está en un medio con escasez de agua la concentración de potasio es baja, así el estoma se mantiene cerrado y regula la cantidad de agua en el interior de los tejidos celulares;

__ el movimiento del estoma depende de la concentración de iones potasio en su interior. Si la planta está en un medio con niveles normales de agua la concentración de potasio es intermedia, así el estoma se mantiene abierto cada media hora y se cierra de noche;
__ el movimiento del estoma depende de la concentración de iones de potasio en su interior. Si la planta está en un medio con abundante agua la concentración de potasio es alta, así el estoma se mantiene abierto, y regula la cantidad de agua en el interior de los tejidos celulares, o
__ el movimiento del estoma depende de la concentración de iones de potasio en su interior. Si la planta está en un medio con abundante agua la concentración de potasio es baja, así el estoma se mantiene cerrado, y regula la cantidad de agua en el interior de los tejidos celulares.

a) Justifica tu respuesta.

3. ¿Cómo diseñarías una campaña dirigida a promover el rechazo al consumo de cigarrillos entre la población estudiantil aplicando los conocimientos de este epígrafe? Elabora infografías, carteles o videos y súbelo a una red social de tu preferencia.

4. Explica las relaciones existentes entre los procesos auxiliares de la respiración aerobia con la función de nutrición y el metabolismo celular. Para ello auxíliate de un esquema lógico.

5. Demuestra mediante ejemplos que las funciones vegetativas incluyen procesos regulados (regulación nerviosa o endocrina). Escoge uno de los ejemplos y diseña un esquema lógico donde muestres los componentes del patrón general de regulación.

3.5 Los organismos desarrollaron adaptaciones que hacen posible el transporte continuo de sustancias en su interior

Las enfermedades no transmisibles ocupan el 90 % de las principales causas de mortalidad general en Cuba. Entre las 10 primeras, según estadísticas del Ministerio de Salud Pública, se encuentran las enfermedades

del corazón y las afecciones cerebrovasculares con el primer y tercer lugar respectivamente. Se han identificado como los principales factores de riesgo asociados a estas, el tabaquismo, la obesidad, el sedentarismo y el consumo nocivo de alcohol.

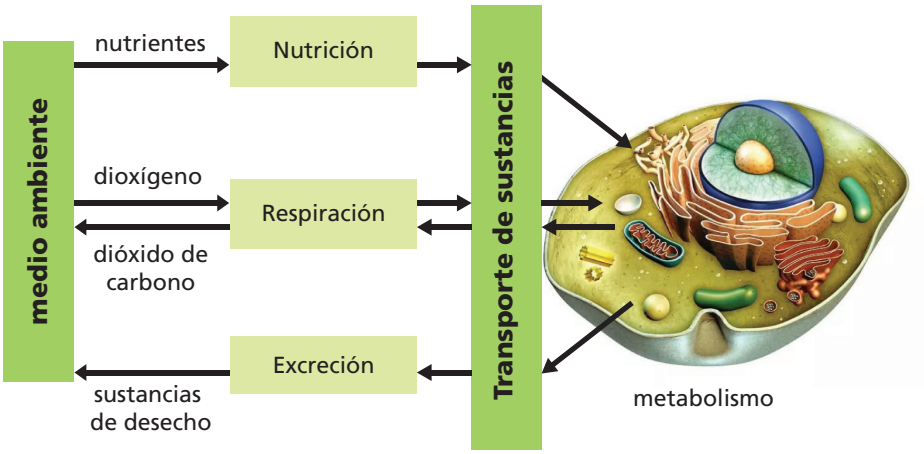
- ¿Por qué las enfermedades que afectan al sistema cardiovascular son tan mortales?
- ¿Por qué las adicciones, como el tabaquismo y el alcoholismo, son nocivas para nuestro sistema cardiovascular?
- ¿Qué estilos de vida podemos asumir si queremos reducir los riesgos de estas enfermedades?

Las respuestas a estas interrogantes están estrechamente relacionadas con la función vegetativa de transporte de sustancias. Como esta función se realiza en todos los organismos, su estudio también te ayudará a encontrar respuestas a problemas de la vida práctica muy relacionados con la salud humana, la producción agropecuaria, la protección y conservación de la biodiversidad, entre otras.

Todos los organismos incorporan nutrientes y otras sustancias necesarias en los diferentes procesos del metabolismo celular. A la vez, estos procesos producen residuos o sustancias en exceso, que deben ser eliminados.

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

Al analizar el esquema 3.7 podrás comprender que esta función vegetativa es de gran importancia en el metabolismo y el mantenimiento de la homeostasia o equilibrio interno del organismo. Mediante el transporte de sustancias se distribuyen los nutrientes y el dioxígeno a cada una de las células en las que se realizan los procesos metabólicos, y circulan otras producidas por el organismo, con importantes funciones en la regulación (hormonas y anticuerpos). También se trasladan el dióxido de carbono y las sustancias de desecho hasta los lugares de eliminación. En muchos organismos esta función participa en la regulación de la temperatura corporal.



Esquema 3.7 Relación entre el transporte de sustancias, las demás funciones vegetativas y el metabolismo

Los organismos presentan adaptaciones que les permiten realizar el transporte de sustancias, en dependencia del grado de complejidad y las características del medio ambiente donde se desarrollan.

En organismos unicelulares y pluricelulares menos complejos esta función se realiza fundamentalmente por difusión y por movimientos citoplasmáticos. Por ejemplo, en las bacterias y los protistas el transporte ocurre por mecanismos de difusión que se producen en el interior de las células.

Después de que una ameba engloba los alimentos con los seudópodos y realiza la fagocitosis, se forma en su interior una vacuola digestiva. Los nutrientes que se obtienen en este proceso son transportados hacia el citoplasma por mecanismos de difusión o transporte activo (figura 3.23).

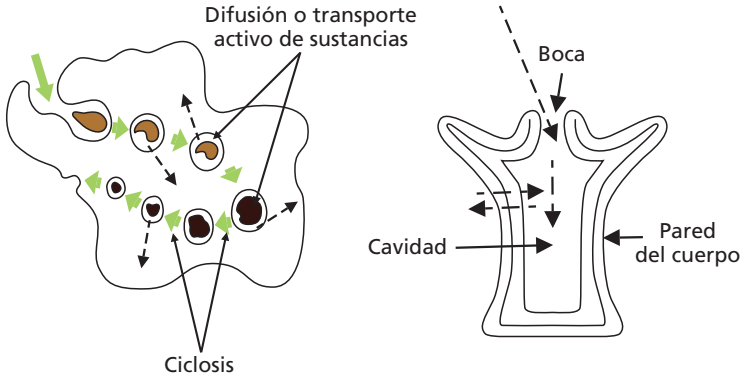


Fig. 3.23 Transporte de sustancias en organismos sencillos

En organismos eucariotas como las amebas, se realizan movimientos del citoplasma como resultado de cambios dinámicos en el citoesqueleto; este proceso es llamado ciclosis. En el caso de la ameba y en otros como el paramecio, la ciclosis provoca el movimiento de las vacuolas por el interior del citoplasma y así se distribuyen las sustancias por toda la célula.

En hongos pluricelulares, así como en plantas y animales menos complejos, las sustancias son transportadas de célula a célula por difusión. Muchos animales acuáticos como los poríferos y los celenterados poseen cavidades en su cuerpo que facilitan el transporte de sustancias.

En los organismos con mayor complejidad estructural y funcional existen vías especializadas y líquidos circulantes, estos posiblitan que los nutrientes lleguen a cada célula, y al mismo tiempo transportan desde estas las sustancias de desecho que se generan durante el metabolismo. Como resultado de la evolución se desarrollaron adaptaciones cada vez más especializadas, esto conllevó al incremento de la complejidad y la especialización.

¿Sabías que...?

Los organismos que habitan en condiciones extremas de vida han desarrollado procesos fisiológicos especiales que les permiten adaptarse al medio ambiente. Por ejemplo, algunas especies como los llamados "peces de hielo" se han adaptado a vivir en zonas donde la temperatura es cercana o inferior a los 0 °C. Estos peces poseen en su sangre y otros fluidos corporales, una sustancia anticongelante que mantiene su fluidez y evita los efectos dañinos de la congelación.

Es importante aclarar que en los organismos más complejos también existen procesos de transporte de sustancias dentro de las células y entre estas, y entre los tejidos y los órganos, que se basan en los mecanismos de transporte pasivo y activo estudiados en décimo grado. Las células de los organismos pluricelulares intercambian sustancias con los líquidos circulantes, lo que contribuye a mantener el equilibrio del medio interno.

3.5.1 ¿Qué adaptaciones al transporte de sustancias se desarrollaron en las plantas durante su evolución?

Seguramente recordarás de tus estudios primarios el experimento donde se colocó una rama de una planta con flores blancas en un recipiente

con agua coloreada de rojo. Al cabo de un tiempo las flores blancas se coloreaban de rojo. Esto demostró que en el interior de este tallo, las células y tejidos tienen determinada organización estructural que hace posible el transporte del agua hacia las partes superiores. Pero ¿cómo es posible que el agua ascienda hasta distancias tan grandes como es la copa de los grandes árboles, en contra de la fuerza de gravedad que debe atraer el líquido hacia abajo?

Para dar respuesta a esta pregunta es necesario analizar las adaptaciones que tienen las plantas, que les permiten el transporte en diferentes condiciones ambientales, pues no es lo mismo las plantas acuáticas, generalmente pequeñas, que los grandes árboles que habitan en los bosques.

En todas las plantas el transporte de sustancias en el interior de las células se realiza mediante la difusión. En muchas de ellas, como es el caso de la elodea, planta acuática muy común en aguas dulces, es posible observar el movimiento de ciclosis que contribuye a la distribución de nutrientes (figura 3.24).

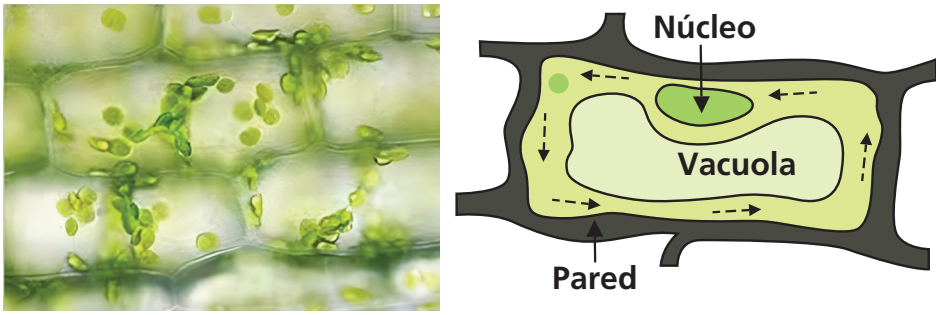


Fig. 3.24 Ciclosis en el interior de las células de la elodea

Las células vegetales poseen pared celular. La comunicación entre estas células se realiza a través de los plasmodesmos, por lo que estos son fundamentales en el transporte de sustancias de célula a célula en las plantas. El tejido parénquima clorofílico donde se realiza la fotosíntesis está situado en las partes verdes de las plantas, fundamentalmente en las hojas. Por esta razón, es indispensable el transporte de agua hasta estos órganos. De igual forma, una vez sintetizadas las moléculas orgánicas, deben ser transportadas a todas las partes de organismo vegetal donde participan en el metabolismo.

El transporte de la materia prima de la fotosíntesis y de los nutrientes orgánicos sintetizados, se realiza mediante difusión o por medio de sistemas vasculares. Las plantas no vasculares son aquellas que no poseen sistemas especializados en el transporte de sustancias, como los musgos y los helechos. Estos viven en ambientes acuáticos o muy húmedos, por lo que el transporte de agua y sales minerales es realizado directamente por difusión a través de toda su superficie. Este proceso puede producirse gracias a que los epitelios carecen de cutícula impermeable, por lo que es posible la entrada de agua y sales minerales al interior del organismo, donde el transporte ocurre de una célula a otra.

Las plantas no vasculares como los musgos, los helechos y las hepáticas, poseen por sus características, una alta sensibilidad y fragilidad ante cambios en el hábitat, por eso pueden ser muy afectadas por las sequías derivadas del cambio climático. El helecho ***Maxonia apiflora*** fue considerada en el 2013 una de las 50 plantas más amenazadas de Cuba (figura 3.25).

Fig. 3.25 Helecho ***Maxonia apiflora***

En las plantas de mayor complejidad existe especialización en la realización de esta función; esto ha traído como consecuencia una mayor adaptación al medio ambiente terrestre, y la gran diversificación de estas que hoy componen la flora de nuestro planeta.

¿Cómo podemos explicar que el agua del suelo llegue hasta las hojas, donde se realiza la fotosíntesis, en plantas tan altas como una palma real?

Al observar la figura 3.26 podrás recordar que en las plantas de mayor nivel de complejidad se han desarrollado tejidos conductores que forman el xilema y el floema, vías especializadas por las que ocurre el movimiento de los líquidos circulantes: la savia xilemática y la savia floemática.

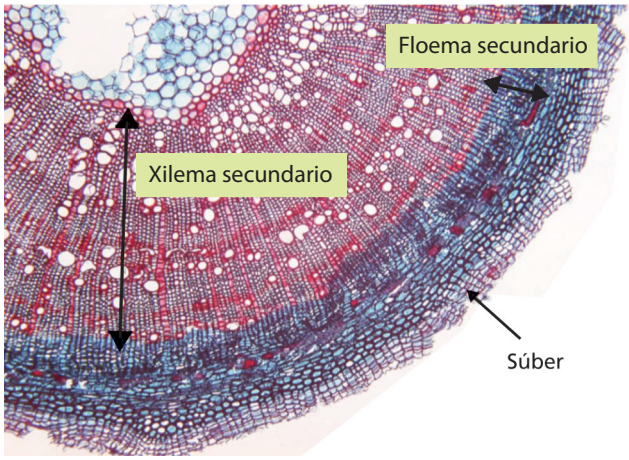


Fig. 3.26 Microfotografía del corte transversal de un tallo. Vasos del xilema y floema

Por el xilema se transporta el agua y los minerales desde las raíces hasta las hojas, y por el floema se trasladan las sustancias orgánicas resultantes de la fotosíntesis, desde las hojas hasta las diferentes partes del organismo vegetal.

El xilema está formado por vasos conductores llamados tráqueas y traqueidas. Estos están constituidos por células muy alargadas que han perdido su citoplasma durante la formación del vaso, por eso son consideradas células muertas. Su diámetro es muy estrecho, lo cual le confiere la propiedad de capilaridad, de gran importancia en el transporte. Sus paredes están impregnadas de lignina, sustancia que le otorga dureza y proporciona la consistencia leñosa de los tallos y las raíces; esto contribuye a la función de sostén que también realizan estos órganos (figura 3.27).

Fig. 3.27 Vasos xilemáticos

Las traqueidas están formadas por células alargadas con perforaciones en los tabiques transversales que separan dos células contiguas. En las tráqueas, los tabiques entre las células se encuentran parcial o completamente atrofiados, dando lugar a tubos continuos dispuestos en paralelo que constituyen haces conductores; estos se forman a partir de células que van perdiendo el citoplasma y la pared celular que separa una de otra, formando un tubo capilar (figura 3.28).

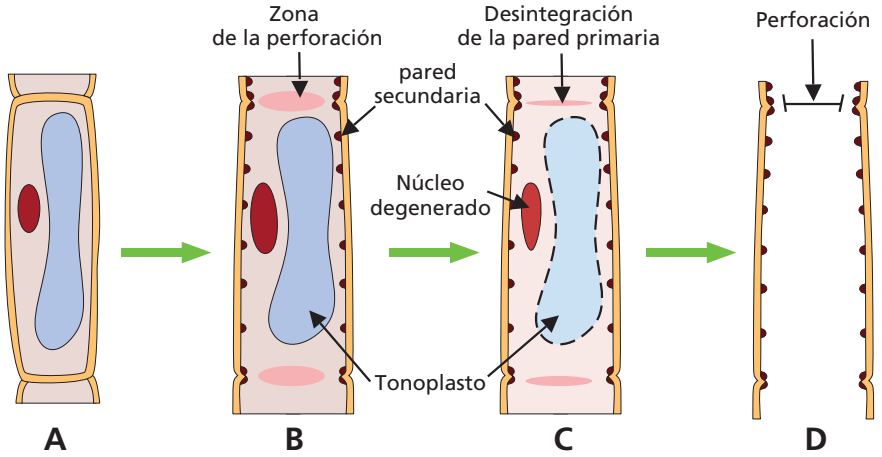


Fig. 3.28 Representación de la formación de una tráquea y esquema de una traqueida

Por el xilema asciende toda el agua y las sustancias minerales que necesita la planta y algunas sustancias orgánicas nitrogenadas sintetizadas en las raíces.

¿? ¿Sabías que...?

La edad de los árboles se puede calcular por la cantidad de anillos de crecimiento que forma el tejido xilemático. Esto se puede observar al hacer un corte transversal de su tallo (figura 3.29).

El agua con sales minerales que penetra a las células epidérmicas recibe el nombre de savia xilemática o savia bruta. Este líquido circula por el interior de la raíz hacia el tallo, donde se encuentran los vasos del xilema. Este movimiento ocurre de forma polar, o sea, en un solo sentido: desde las raíces hasta las hojas, y a todas las partes aéreas de la planta.

Fig. 3.29 Anillos de crecimiento del tejido xilemático

Transporte por el xilema: se realiza en contra de la fuerza de gravedad, y como ya se ha referido, la savia xilemática puede alcanzar grandes alturas, como es el caso de nuestra palma real. Son varias las teorías que tratan de explicar el ascenso del agua por los vasos del xilema, entre estas se encuentran la teoría de la presión radicular y la teoría coheso-tenso-transpiratoria.

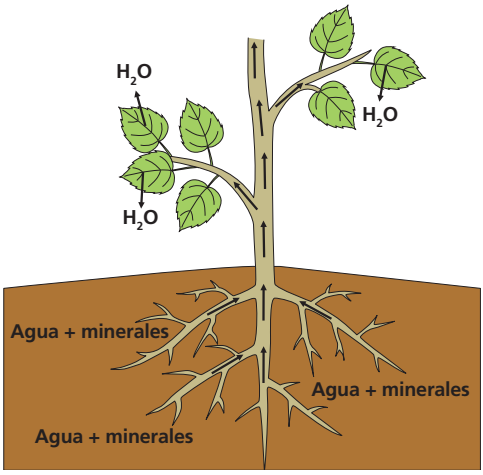


Fig. 3.30 Movimiento polar de la savia bruta por el xilema

La teoría de la presión radicular se basa en que la raíz funciona como un sistema osmótico, en el cual la presión radicular genera una fuerza que provoca el ascenso de la savia bruta. Este razonamiento es válido para explicar el fenómeno 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 (figura 3.30).

¿Cómo se han explicado las cau sas del transporte de la savia xilemática en plantas de mayor talla?

La teoría coheso-tenso-transpiratoria plantea que la fuerza impulsora no se origina en las raíces sino en las hojas, por la transpiración que en estas ocurre. El agua que se pierde por la transpiración es reemplazada por la contenida en los vasos xilemáticos, de manera que genera una fuerza de succión sobre la columna líquida de la savia dentro de dichos vasos. Esta columna se mantiene por la cohesión que existe entre las moléculas de agua, y por la fuerza de tensión superficial. La rigidez de los vasos y su capilaridad impiden que el agua ascienda, de manera muy similar a cuando absorbemos un líquido de un vaso con una pajilla.

Esta teoría no excluye el hecho de que exista una presión radicular que propicie la entrada del agua por las raíces, pero tiene en cuenta la estructura y propiedades de los vasos conductores, así como los mecanismos químicos y físicos que se ponen de manifiesto. Esto ha sido demostrado de manera experimental como se muestra en la figura 3.31: en la a), se observa que la arcilla porosa, al permitir la evaporación del agua provoca el ascenso de la columna líquida; en la b), se observa el mismo efecto producido por la transpiración del agua por las hojas.

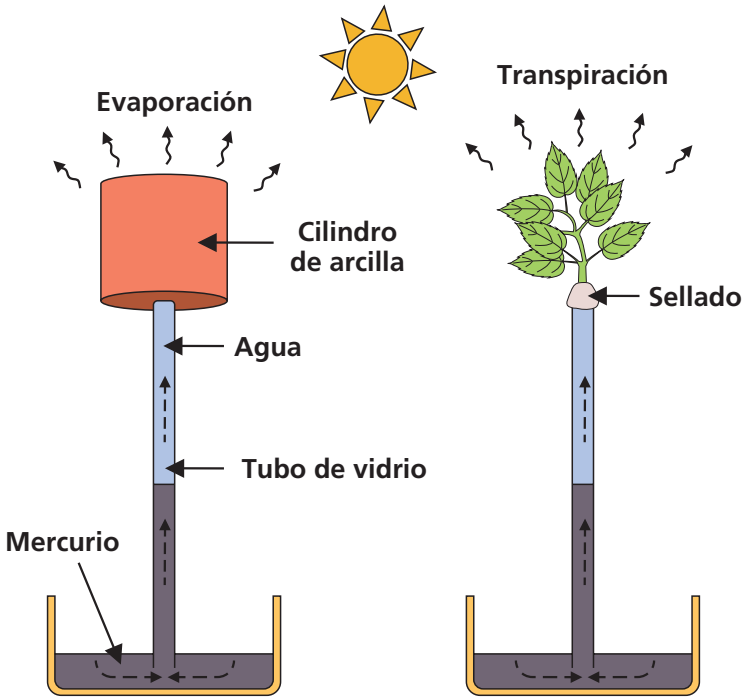


Fig. 3.31 Experimento de comprobación de la teoría coheso-tenso-transpiratoria

Aplicación práctica

El conocimiento de las características estructurales de los vasos conductores y de los mecanismos de transporte, tanto por el xilema como por el floema, son fundamentales en la agricultura y en la conservación de la flora. Si la pérdida de agua por transpiración supera las posibilidades de incorporación de agua por las raíces, las plantas se marchitan y pueden llegar a morir. Esto suele ocurrir por la elevación de la temperatura y la reducción de la humedad, como sucede en las condiciones de sequía que se manifiestan ante el cambio climático. También el estado de los suelos influye en estos mecanismos, pues un suelo compactado y salinizado afecta el sistema radicular de las plantas e impide su desarrollo.

El floema es un tejido altamente especializado en la función de conducción, compuesto por células vivas (llamadas células cribosas) y las células acompañantes. Estas se comunican entre sí mediante los plasmodesmos, orificios que permiten el paso del líquido entre una célula y otra. Las células cribosas son alargadas y presentan tabiques transversales perforados, su forma es similar a una criba o espumadera, de ahí su nombre. Estos tabiques se encuentran reforzados por una sustancia llamada calosa.

Transporte por el floema: a diferencia del xilema, por el floema se traslocan los productos sintetizados por la planta, es decir, la mayoría de los productos de la fotosíntesis. Este transporte se realiza de forma apolar, en cualquier dirección, desde los sitios de producción hasta los de utilización o almacenamiento.

Las moléculas orgánicas fabricadas por las plantas, principalmente glúcidos como la sacarosa, forman la savia floemática o elaborada. Esta puede contener también aminoácidos, fitohormonas y otras sustancias.

Los glúcidos y demás componentes orgánicos producidos en el parénquima clorofílico de las hojas, pasan por transporte activo a las células acompañantes del floema, y a través de los plasmodesmos ingresan a los tubos cribosos. Ya en las células cribosas se conocen dos mecanismos de transporte, uno pasivo y otro activo.

El mecanismo físico del transporte pasivo se basa en la teoría del flujo de masa. Según esta teoría, una diferencia de presión hace que el flujo vaya desde donde hay más concentración de sacarosa, es decir, desde los órganos fotosintetizadores como las hojas, hacia las regiones de consumo y almacenamiento donde hay menos concentración de sacarosa (frutos y

raíces). El aumento de glúcidos en los tubos cribosos provoca la entrada por ósmosis, de agua a los plasmodesmos. Como resultado de la entrada masiva de agua se produce un empuje de la savia elaborada, que pasa por transporte activo desde los tubos cribosos hacia las células de los órganos consumidores (figura 3.32).

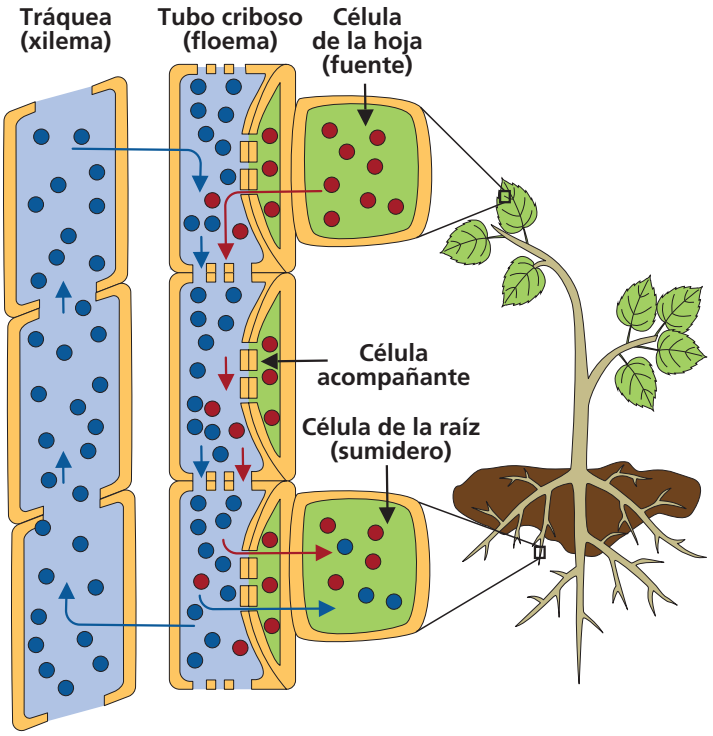


Fig. 3.32 Flujo de masa por el floema

El mecanismo de transporte activo se basa en la teoría de las corrientes intracitoplasmáticas. Esta plantea que muchos de los compuestos orgánicos pueden transportarse a través del citoplasma de los tubos cribosos con consumo de energía. El transporte de la savia elaborada es lento, ya que la luz de los vasos cribosos está interrumpida por las placas cribosas, cuyos orificios pueden taponarse y afectar el transporte. Del mismo modo, algunos factores como la actividad metabólica, la temperatura, la luz y el dioxígeno, aumentan la intensidad del transporte.

Si analizas los mecanismos de transporte estudiados, comprenderás que entre el xilema y el floema existe una interrelación dinámica que permite el transporte de sustancias, lo que demuestra la integridad biótica en las plantas. De igual forma existe una estrecha vinculación entre los diferentes procesos y los órganos de las plantas, ejemplo de esto son la transpiración y la absorción, que ocurren en las hojas y las raíces, respectivamente.

Es evidente que la nutrición y el transporte de sustancias en las plantas son funciones vegetativas que mantienen una gran interdependencia, aspecto que se debe tener en cuenta en la aplicación de diferentes técnicas agrícolas, para alcanzar una agricultura sostenible.

Entre los problemas que pueden afectar el transporte de sustancias en las plantas y por lo tanto, su integridad y la biodiversidad vegetal, podemos citar el deterioro de la cubierta vegetal, la erosión del suelo, y el incremento de su salinidad, la disminución del manto freático, y las inundaciones, entre otros. Estos problemas son algunas de las múltiples consecuencias de lo que ocurre hoy en la agricultura, ya que se utilizan agroquímicos contaminantes y tecnologías convencionales que deterioran los suelos de forma considerable y en muchos casos irreversible.

Aplicación práctica

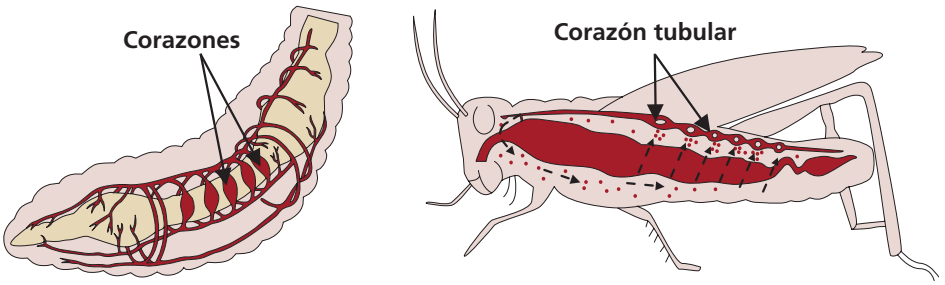
Las técnicas de agricultura sostenible proponen mantener una relación suelo sano-planta sana y planta sana-suelo sano. Para ello es necesario conservar las condiciones biológicas del suelo mediante el control de la erosión y del uso del agua, también es importante el control biológico, y la sustitución de los agroquímicos (aunque en un inicio sea necesario su empleo) por los fertilizantes orgánicos. Además se propone reducir la intervención humana sobre el suelo hasta alcanzar la cero labranza.

3.5.2 ¿Qué adaptaciones al transporte de sustancias se desarrollaron en los animales durante su evolución?

Los animales, por ser organismos que han alcanzado mayor complejidad durante el proceso evolutivo, presentan vías especializadas en el transporte de sustancias con gran diversidad de adaptaciones; por estas circulan líquidos que difieren en sus características, composición, y en los

mecanismos que determinan su movimiento.

En la mayoría de los animales existe un sistema circulatorio compuesto por una bomba impulsora: el corazón, y por un sistema de tubos o vasos.



Este sistema circulatorio puede ser abierto o cerrado (figura 3.33).

Fig. 3.33 De izquierda a derecha: sistema circulatorio cerrado y abierto

En el sistema circulatorio abierto o lagunar la sangre no está siempre dentro de los vasos sanguíneos, sale del corazón e irriga a los órganos a través de senos abiertos. En realidad, el líquido circulante de estos organismos no debiera denominarse sangre, ya que está combinado con los líquidos intersticiales.

¿Sabías que...?

Los equinodermos, como los erizos y las estrellas de mar, poseen un líquido circulante (la hidrolinfa) muy similar al agua de mar, que transporta nutrientes y productos de desecho. Esta la encontramos en el interior del sistema acuífero ambulacral que le permite moverse (figura 3.34).

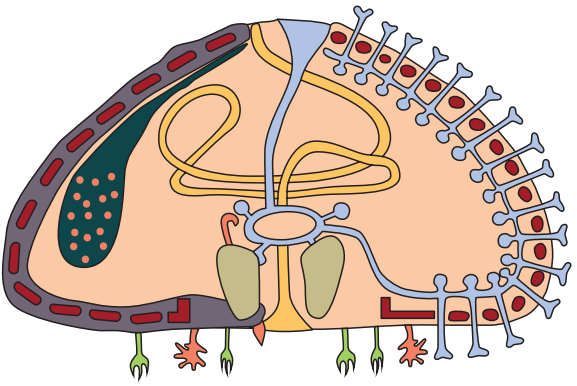


Fig. 3.34 Sistema acuífero ambulacral de un erizo de mar

El líquido circulante en algunos invertebrados como los insectos y los moluscos se llama hemolinfa, y es la combinación de la sangre y el líquido intersticial. Los animales con hemolinfa utilizan hemocianina en lugar de hemoglobina en el transporte de dioxígeno. El sistema circulatorio abierto se encuentra en la mayoría de los invertebrados, como los artrópodos y algunos moluscos (figura 3.35).

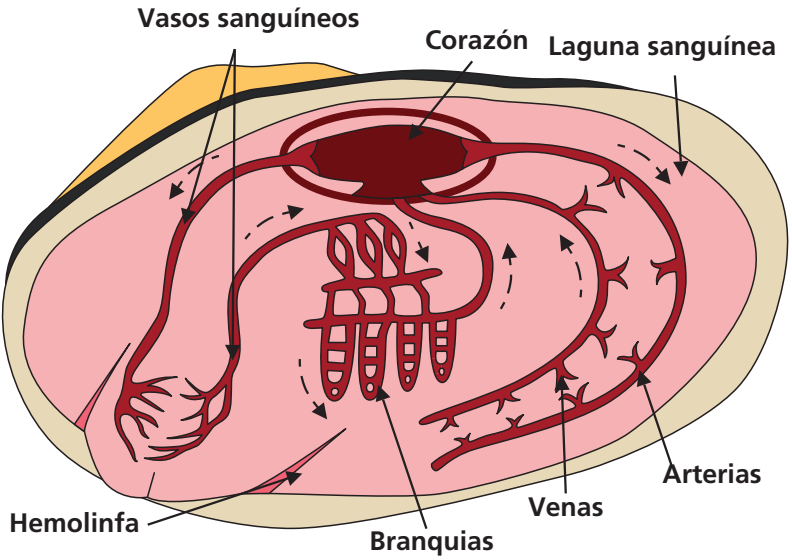


Fig. 3.35 Sistema circulatorio abierto de un molusco bivalvo

¿? ¿Sabías que...?

Los moluscos que son animales de poca actividad en comparación con los insectos tienen sistema circulatorio abierto, a excepción de los pulpos y los calamares que tienen sistema circulatorio cerrado, pues son muy activos y se desplazan a grandes velocidades por lo que sus requerimientos metabólicos son mayores.

Los sistemas circulatorios cerrados se caracterizan porque los líquidos circulantes siempre están dentro de un circuito de vasos. Entre los invertebrados que poseen sistema circulatorio cerrado podemos citar a los anélidos y a los moluscos cefalópodos, como los pulpos y calamares (figura 3.36).

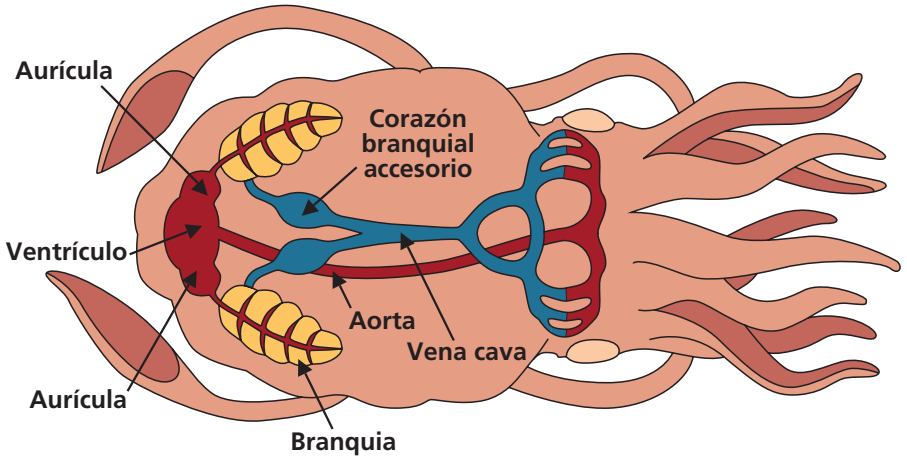


Fig. 3.36 Sistema circulatorio cerrado en moluscos cefalópodos

En este sistema el líquido circula a presiones altas y a mayor velocidad, lo que implica un mayor suministro de sustancias nutritivas y dioxígeno a cada una de las células. Los cordados, desde los peces hasta los mamíferos, tienen sistema circulatorio cerrado en el que el líquido circulante es impulsado por contracciones rítmicas del corazón.

Dos de los cambios evolutivos más importantes en los cordados son la división del corazón en cavidades y el engrosamiento de las paredes musculares, lo que permite impulsar el líquido a mayores distancias y con mayor presión. Con relación al número de cavidades del corazón y los circuitos de vasos que se forman, podemos decir que el sistema circulatorio en los vertebrados sufrió cambios durante la evolución hasta llegar al de las aves y los mamíferos, en los que se observan un corazón con cuatro cavidades (figura 3.37) y una circulación doble y completa.

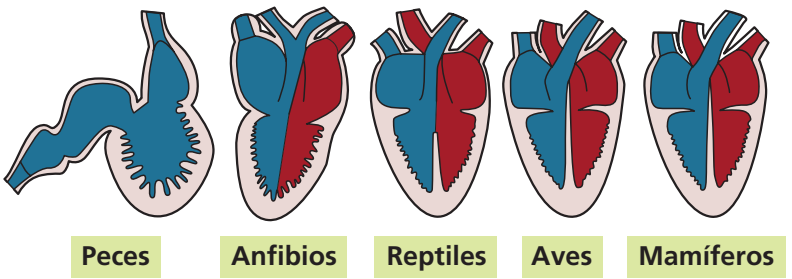


Fig. 3.37 Transformaciones en la estructura del corazón de los vertebrados durante el proceso evolutivo

¿Sabías que...?

El corazón humano pesa entre 7 y 15 onzas (200 a 425 g) y es un poco más grande que una mano cerrada. Al final de una vida larga el corazón de una persona puede haber latido (haberse dilatado y contraído) más de 3 500 millones de veces. Cada día, el corazón como promedio late 100 000 veces, bombeando aproximadamente 2.000 galones (7.571 litros) de sangre.

Por lo general la presión sanguínea oscila entre los 120 mm de Hg de presión sistólica, que se expresa al contraerse el ventrículo izquierdo, y de 80 mm de Hg de presión diastólica, cuando este se relaja. Estos valores pueden oscilar ligeramente con la actividad física y la edad.

Reflexiona

Uno de los signos vitales más importantes del ser humano es su presión sanguínea, que se mide utilizando un esfigmomanómetro. Este parámetro fisiológico proporciona a los médicos una información fundamental sobre el estado funcional de nuestro sistema cardiovascular. La hipertensión arterial es uno de los problemas de salud más frecuentes; entre sus principales causas se encuentra el tabaquismo, el consumo de alcohol, las dietas inadecuadas y el sedentarismo.

Como sabes, la sangre es un tejido conjuntivo cuyo componente líquido es el plasma, y contiene en su interior células que se observan al microscopio: los glóbulos rojos o eritrocitos que transportan gases en sus moléculas de hemoglobina, los glóbulos blancos o leucocitos que intervienen en la inmunidad, y las plaquetas o trombocitos con función específica en la coagulación de la sangre (figura 3.38).

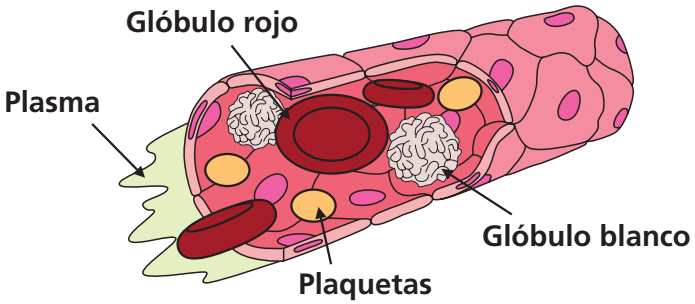


Fig. 3.38 Principales componentes de la sangre dentro de un vaso sanguíneo

En la composición de la sangre, además de la hemoglobina existen también sustancias como algunos iones disueltos en el plasma, que contribuyen a regular el pH del medio interno cuando se produce alguna alteración de la actividad metabólica normal, específicamente cuando la concentración de los iones de hidrógeno se aleja de los valores normales. Los sistemas respiratorio y renal también intervienen en la regulación del pH del organismo.

La sangre circula por todo el cuerpo a través de los vasos sanguíneos, que son tubos ramificados de diferente calibre. Estos son de tres tipos: arterias, venas y capilares, y presentan diferencias estructurales en correspondencia con sus funciones.

¿Sabías que...?

Si las válvulas de las venas son débiles o el flujo de sangre es lento, la sangre se acumula, se dilatan las venas y se forman las várices.

La ateroesclerosis es una enfermedad que se origina cuando en las paredes interiores de las arterias se depositan grasas y determinadas sustancias, dando lugar a la formación de placas de ateroma. Este hecho provoca al aumento del grosor de la capa interna de las arterias, lo que sumado al endurecimiento y estrechamiento de estas, impide el flujo de sangre a los diferentes órganos, haciendo que el aporte sea insuficiente y no satisfaga las necesidades del tejido en cuestión. Este proceso con frecuencia es causa de la enfermedad hipertensiva.

Cuando las arterias afectadas son las coronarias, que vascularizan al corazón, se puede producir un infarto del miocardio. La afectación del cerebro por la ateroesclerosis puede provocar isquemias cerebrales y diversos trastornos como pérdida de memoria y cambios en la conducta.

¿Sabías que...?

El ictus es un evento producido por un conjunto de enfermedades que afectan a los vasos sanguíneos que suministran la sangre al cerebro. Existen dos tipos principales de ictus: los hemorrágicos o hemorragias cerebrales, que se producen cuando un vaso sanguíneo que irriga a este órgano (arteria de mayor o menor calibre) se rompe; y los isquémicos o infartos cerebrales, que ocurren cuando una arteria se obstruye por la presencia de un coágulo de

sangre. Cuando se sufre un ictus, el daño cerebral que se produce puede ser irreparable y dejar secuelas graves que repercuten de forma notable en la calidad de vida de los afectados.

La circulación sanguínea lleva constantemente líquidos hacia los tejidos, en los que ocurre el intercambio entre las células y la sustancia intercelular. ¿Cómo este líquido retorna al torrente sanguíneo?

El sistema linfático está compuesto por los vasos y ganglios linfáticos, y la linfa o líquido linfático. Los vasos linfáticos, a diferencia de los sanguíneos, son cerrados por un extremo y presentan paredes permeables, lo que permite el paso de las proteínas y el líquido extracelular hacia su interior, donde circula la linfa. De esa manera, muchas sustancias se reincorporan desde el líquido intersticial al torrente sanguíneo; de no ocurrir esto se acumularían sustancias en los tejidos. Además, estos vasos poseen válvulas que ayudan a la circulación en contra de la gravedad (figura 3.39).

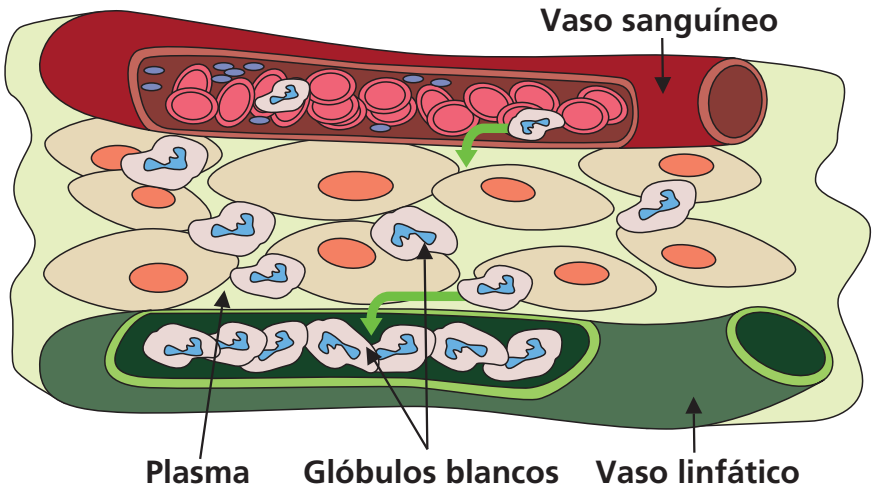


Fig. 3.39 Relación entre los vasos capilares y los vasos linfáticos en los tejidos

En el trayecto de los vasos linfáticos están los ganglios linfáticos, productores de un tipo de glóbulo blanco (los linfocitos) cuya función es fagocitar a las bacterias u otras partículas extrañas que penetran al organismo, y así evitan que estas pasen al torrente circulatorio.

La linfa es un fluido ligeramente alcalino que funciona como un líquido intersticial en el cuerpo humano, es decir, que corre por el espacio que existe entre una célula y otra. Se encuentra contenida en los vasos linfáticos, por los que fluye recogiendo el plasma que se escapa por los vasos sanguíneos y retornándolo al sistema.

Este líquido linfático circula en una sola dirección: desde los tejidos a la sangre y al corazón, y contiene solamente un tipo de células, los glóbulos blancos, que presentan función defensiva. Cuando enfermamos de la garganta, se nos inflaman los ganglios del cuello; esto se produce como consecuencia del aumento de la producción de linfocitos por la entrada de agentes patógenos.

3.5.3 ¿Cómo ocurre la regulación del funcionamiento del sistema circulatorio en los humanos?

Las características que presenta el músculo cardíaco en los mamíferos hacen posible que este pueda autorregularse, es decir, que existe un control de su actividad dado por las características del propio órgano.

Si colocamos la mano sobre nuestro pecho o nos tomamos el pulso, podremos apreciar que los latidos del corazón se producen de manera rítmica, y con una frecuencia que es normal entre 60 a 100 impulsos por minuto aproximadamente. El ritmo está determinado por la propiedad del corazón de generar sus propios impulsos, llamada automatismo. Esta propiedad se debe a que en las paredes del corazón existen dos nódulos o nodos llamados sinoauricular (marcapasos) y auriculoventricular, en los cuales se originan impulsos que son transportados por fibras hacia las paredes del corazón. El ritmo de generación de estos impulsos determina la frecuencia del latido cardíaco. Cuando se produce un desorden en ellos es imprescindible acudir al médico.

Las propiedades de automatismo, conducción y contracción del corazón, determinan su funcionamiento, y proporcionan los gradientes de presión que permiten el recorrido del flujo sanguíneo por los vasos hacia todas las partes del organismo (figura 3.40).

En el corazón la transmisión del impulso nervioso se produce por la despolarización de las células del nodo sinoauricular. Esta señal eléctrica se propaga mediante fibras especializadas a las aurículas y los ventrículos, que se contraen o se dilatan de forma rítmica, según reciban este estímulo.

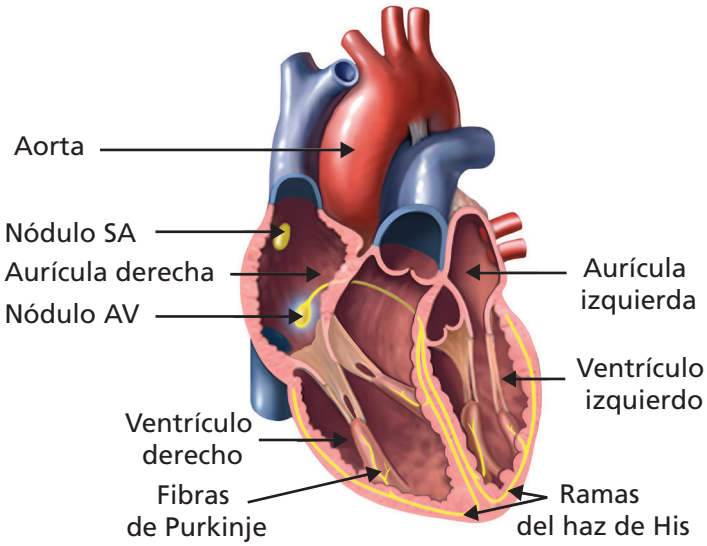


Fig. 3.40 Localización de los nódulos sinoauricular y auriculoventricular en el corazón humano

Está demostrado que el corazón bombea toda la sangre que le llega dentro de límites fisiológicos, es decir, se adapta a volúmenes de sangre variables que llegan a él. En los seres humanos la regulación de la circulación depende del ritmo cardíaco (regulación del corazón) y de la dilatación o constricción de los vasos (regulación de la circulación de los vasos). Los sistemas nervioso y endocrino inciden en la regulación del ritmo cardíaco.

En el bulbo raquídeo se encuentra el centro nervioso que regula el ritmo cardíaco, este recibe información del exterior (señales de alarma, emociones, etc.) y envía las órdenes precisas al corazón, haciendo que este aumente o disminuya el ritmo de sus latidos. En la regulación del latido cardíaco las fibras cardíacas simpáticas aceleran el ritmo (efecto estimulador), mientras que las fibras parasimpáticas lo hacen más lento (efecto inhibidor).

La alteración de la actividad del corazón trae consigo que varíe el gasto cardíaco, es decir, la cantidad de sangre que este impulsa hacia los vasos sanguíneos por minuto. Al aumentar la frecuencia cardíaca también aumenta el gasto cardíaco, llegando así mayor cantidad de sangre a los tejidos.

La regulación nerviosa de la circulación en los vasos sanguíneos está dada por el aumento o la disminución del diámetro de estos, atendiendo a las circunstancias de cada momento. Esto es modulado también por el bulbo raquídeo, donde se localiza un centro vasomotor. Por ejemplo, en caso

de hipertensión los receptores activan los centros reguladores, y estos aumentan el calibre de las arteriolas haciendo disminuir la presión sanguínea.

La inervación de las arterias pequeñas por nervios simpáticos hace que aumente la resistencia de estas al flujo sanguíneo, y disminuya así el transporte de sangre a los tejidos.

Existen diversos factores que regulan el flujo sanguíneo, por ejemplo la necesidad de dioxígeno en los tejidos. Cuando la presión parcial de este gas disminuye y aumenta la de dióxido de carbono, los vasos sanguíneos se dilatan, aumenta el flujo de sangre a los tejidos, y con ello la cantidad de dioxígeno y sustancias nutritivas que llegan a las células.

Además de la regulación nerviosa existe una acción reguladora del sistema endocrino sobre el sistema circulatorio. Esto se pone de manifiesto cuando las glándulas suprarrenales secretan adrenalina y noradrenalina, o cuando la glándula tiroides sintetiza tiroxina, pues estas hormonas incrementan la frecuencia cardíaca.

Existen hormonas que pueden provocar el aumento del diámetro de los vasos (vasodilatación) o su disminución (vasoconstricción); por ejemplo la noradrenalina secretada por las glándulas suprarrenales, produce vasodilatación.

El organismo humano funciona como un todo íntegro. Si se afectan los sistemas cardiovascular y linfático se produce un desequilibrio que puede conducir a la muerte. Las enfermedades de estos sistemas, como la ateroesclerosis, la hipertensión, la oclusión de los vasos por estenosis o embolia, el infarto y muchas otras, con frecuencia se deben a los hábitos inadecuados que desarrollan los individuos.

Aplicación práctica

- Las prendas de vestir deben utilizarse holgadas, para permitir la libre circulación de la sangre arterial y venosa.
- Debemos tener presente que la sangre venosa carece de fuerza que la impulse a llegar al corazón y se auxilia de válvulas que impiden su retorno.
- La ingestión de bebidas alcohólicas y el mal hábito de fumar provocan trastornos en la estructura de los vasos sanguíneos y en la circulación de los líquidos, por lo que son hábitos que deben y pueden evitarse.
- También es dañino el exceso de sal en los alimentos.
- Estos malos hábitos pueden provocar el aumento de la presión arterial y otros eventos dañinos, y por consiguiente trastornos en el funcionamiento del organismo.

- Es indispensable asumir un estilo de vida saludable con la práctica sistemática de ejercicios físicos, el consumo de una dieta saludable: baja en sal y grasas, y rica en frutas y fibra vegetal, que ayude a mantener un peso adecuado, entre otras medidas.

Comprueba lo aprendido

1. Explica por qué el transporte de sustancias es imprescindible en el mantenimiento de la vida del organismo.

2. ¿Qué relación se establece entre las funciones de nutrición, transporte de sustancias y el proceso metabólico de respiración aerobia? Representa en un esquema estas relaciones.

3. Ejemplifica la afirmación siguiente: las vías y los líquidos circulantes constituyen adaptaciones de los organismos pluricelulares que han alcanzado mayor nivel de complejidad.

4. Elabora un esquema lógico con los conceptos siguientes: plantas vasculares, vías, líquidos circulantes, xilema, floema, savia xilemática, savia floemática.

5. Compara las características estructurales del tejido xilemático y floemático. Argumenta las razones de las diferencias basado en la relación estructura-propiedades-funciones.

6. El cambio climático ha provocado el incremento de la sequía y la elevación de la temperatura anual promedio, lo que afecta los resultados productivos de la agricultura. Elabora una hipótesis para explicar este hecho, considerando la posible afectación al transporte de sustancias en las plantas.

7. Elabora un esquema lógico con los conceptos siguientes: animales más complejos, vías, líquidos circulantes, sistema circulatorio, sistema vascular, sangre, linfa, corazón, vasos sanguíneos, arterias, venas, vasos capilares.

8. Explica la relación entre estructura, propiedades y función del corazón. ¿Por qué este órgano y los vasos conductores son considerados adaptaciones surgidas durante el proceso evolutivo?

9. En el entrenamiento de los atletas se hace un control periódico de los cambios en la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Explica por qué.

10. Se conoce que los infartos del miocardio se producen con mayor frecuencia en individuos fumadores que en no fumadores. Explica este hecho según lo aprendido sobre el funcionamiento del sistema cardiovascular.

11. Cuando le tememos a algo y emprendemos la huida, se incrementa la frecuencia cardíaca y la piel del rostro se torna pálida. ¿Qué explicación podrías dar a este fenómeno? Para pensar en la respuesta diseña un esquema lógico donde analices cómo se revelan en este ejemplo las interacciones entre los componentes del patrón general de regulación.

3.6. Las sustancias tóxicas del metabolismo deben ser expulsadas del organismo mediante diversas adaptaciones en la excreción

Un individuo acude al médico de la familia por presentar pérdida de sangre en su orina y de forma inmediata es remitido a un nefrólogo. El paciente se pregunta:

- ¿Por qué debo acudir a un nefrólogo?
- ¿Qué sistema se me estará afectando?
- ¿Cuáles funciones vegetativas estarán involucradas en esta situación?

Has estudiado que como resultado de las reacciones metabólicas, en el organismo se producen sustancias de desecho que deben ser expulsadas al exterior, pues pueden ser tóxicas y causar graves daños a la salud e incluso la muerte. Durante la evolución, los organismos han desarrollado diferentes procesos de excreción que posibilitan su eliminación.

La excreción es la función de 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 u homeostasia.

3.6.1. ¿Qué adaptaciones a la excreción han desarrollado los diversos organismos durante el proceso evolutivo?

Los diferentes grupos de organismos presentan moléculas, orgánulos, células, órganos y sistemas de órganos especializados, que constituyen adaptaciones desarrolladas durante el proceso evolutivo, y los utilizan en la realización de la función de excreción, fundamental en el mantenimiento de la estabilidad dinámica del medio interno.

Los organismos de poca complejidad realizan la excreción directamente de las escasas células que poseen, al medio en que se encuentran.

Las plantas presentan características particulares en cuanto a la excreción de sustancias pues no poseen órganos excretores especializados. ¿Cómo realizan entonces esta función? Como la cantidad de productos nitrogenados de excreción que producen es muy pequeña o nula los eliminan de una forma peculiar, que consiste en acumular en las hojas esas sustancias, antes de que estas caigan. Ejemplo de esto es el almendro, en el que este proceso se evidencia por un cambio de coloración en sus hojas de verde a rojo, posteriormente al amarillo y finalmente, se desprenden; en este proceso la planta recupera algunas sustancias útiles.

Saber más

Algunas plantas como resultado de su metabolismo secretan sustancias que desempeñan una función determinada, como el látex que impide la entrada de microrganismos patógenos y favorece el proceso de cicatrización cuando se producen daños mecánicos en las plantas. Esta sustancia al ponerse en contacto con el aire se endurece formando una capa que protege la planta. Otras sustancias que provienen de las plantas son las resinas, que también evitan la entrada de microrganismos en el vegetal y la pérdida excesiva de la savia.

En las hojas de la espinaca se acumulan sustancias de excreción en forma de cristales intracelulares de ácido oxalacético, que es un ácido orgánico. Esto ocurre igual en la cebolla, en cuyas hojas externas, en la medida que se secan o envejecen, se almacenan cristales de oxalato de calcio que también es una sal orgánica (figura 3.41).

Existen plantas xerófitas, como el lirio y el crotón de costa, que eliminan sustancias de excreción por difusión a través de las hojas, en forma de amoníaco, lo que hace que la atmósfera que los rodea se impregne del olor característico de esta sustancia. Esto constituye una adaptación, ya que la atmósfera enrarecida impide la pérdida de agua por los estomas de las hojas (figura 3.41).

Fig. 3.41 De izquierda a derecha: espinaca, cebolla y crotón de costa

Algunas plantas cuentan con unas adaptaciones denominadas lenticelas, que son orificios localizados en los tallos, y también participan en la eliminación de agua y gases como el dióxido de carbono (CO_2).

Las plantas halófilas (figura 3.42) que se desarrollan en ambientes salinos presentan otro tipo de adaptaciones denominadas glándulas salíferas, que facilitan la excreción de sal que la planta recibe en exceso como consecuencia de su crecimiento en estos ambientes.

Es común que en las plantas se acumulen diferentes tipos de sustancias que pueden ser adquiridas del medio, o resultar del proceso metabólico, y que no son utilizadas por ellas. Este tipo de sustancias se almacena en vacuolas, y en algunos casos puede llegar a formar cristales,

Fig. 3.42 Planta halófila: ***Spartina alterniflora***

como ocurre con el sílice o el oxalato de calcio; estos cristales son para las plantas, lo que un cálculo es para un animal.

En los animales se observan órganos y sistemas excretores que varían en complejidad y especialización, dependiendo del medio en el que se desarrollan los organismos. Estos ajustan de manera selectiva las concentraciones de sales y otras sustancias en la sangre y demás líquidos corporales, manteniendo así la homeostasia.

Las principales sustancias de desecho producidas por los animales son las sales y los compuestos nitrogenados como el amoníaco, el ácido úrico y la urea, que son derivados de la degradación de proteínas y ácidos grasos.

En los animales se han desarrollado diferentes adaptaciones en las que se realiza la excreción mediante los procesos de filtración, reabsorción y secreción.

La mayor parte de los invertebrados marinos excretan nitrógeno hacia el agua, en forma de amoníaco, por mecanismos de difusión. En los invertebrados que viven en ambientes de agua dulce y terrestre se han desarrollado diferentes órganos excretores cuyo principio básico es la filtración de los fluidos del cuerpo, su secreción, y la reabsorción de ciertas sustancias; ejemplo de ellos son los protonefridios en platelmintos y nemátodos, los metanefridios en anélidos y moluscos, los túbulos de Malpighi en arácnidos e insectos, y las glándulas antenales en crustáceos (figura 3.43).

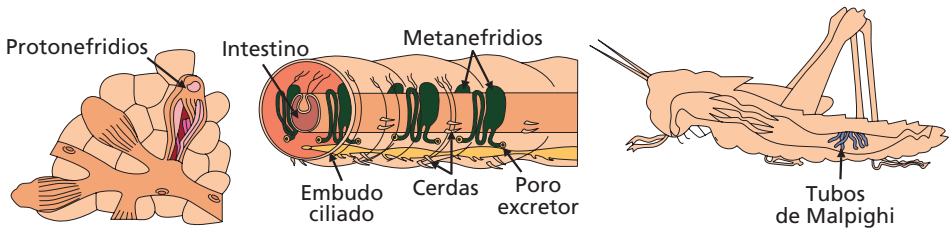


Fig. 3.43 Órganos excretores en invertebrados. De izquierda a derecha: protonefridios (platelmintos), metanefridios (anélidos), tubos de Malpighi (artópodos)

Desde el inicio de la vida el agua ha sido fundamental en el desarrollo de los organismos. Todas las funciones vitales se desarrollan en medios acuosos. Una de las principales limitaciones en la colonización de los nuevos ambientes, como el terrestre, fue la imposibilidad de eliminar con

facilidad las sustancias de excreción y mantener relativamente constante la concentración de líquidos dentro del organismo.

El establecimiento de sistemas especializados de osmorregulación y excreción, permitió que los vertebrados colonizaran nuevos ambientes y lograran un nivel de desarrollo más elevado. En respuesta a los requerimientos de estos ambientes desarrollaron adaptaciones que les han permitido regular su contenido de sal y agua, y también eliminar los desechos.

El principal órgano osmorregulador y excretor de los vertebrados es el riñón, aunque también están presentes otras estructuras excretoras menos especializadas como la piel, las glándulas sudoríparas, las glándulas lagrimales, los pulmones o las branquias, y el intestino, que también ayudan a conservar el equilibrio hídrico y eliminar los desechos metabólicos.

¿Qué importancia tiene la osmorregulación del organismo?

La osmorregulación es la regulación de la presión osmótica de los líquidos corporales que permite mantener la homeostasia. Este equilibrio está dado por la retención del agua necesaria en las funciones del organismo, y el mantenimiento de los niveles adecuados de sales y otras moléculas disueltas (solutos), que se precisan en la actividad celular.

El sistema circulatorio de los vertebrados participa en el mantenimiento del equilibrio interno, pues su función es la de transporte de nutrientes al interior del organismo, y al mismo tiempo filtrar la sangre que contiene sustancias de desecho a través de los riñones, con lo que esta se limpia y mantiene los niveles de agua y solutos adecuados.

Saber más

Los vertebrados acuáticos se pueden encontrar inmersos en medios cuyo contenido de sales puede ser muy alto (agua salada), o muy bajos (como los que habitan en agua dulce). En estos organismos los riñones reabsorben las sales.

En los vertebrados terrestres la regulación entre el medio interno y el externo es posible por la presencia de los riñones, que se encargan de filtrar las sustancias de desecho y el agua (que irán a formar parte de las excretas), e incrementan la capacidad de reabsorción de

las sales. En los vertebrados acuáticos esta función se complementa con la de otros órganos como las branquias, el tegumento (la piel) y el intestino.

Como recordarás, los mamíferos presentan un sistema renal o urinario más complejo formado por dos riñones, dos uréteres, la vejiga y la uretra (figura 3.44 a). Los riñones constituyen los componentes más importantes de este sistema, y su unidad estructural y funcional son las nefronas. Cada nefrona está constituida por un corpúsculo renal o de Malpighi donde se filtra la sangre, y un tubo renal largo a través del cual se reabsorben las sustancias que aun resultan útiles (figura 3.44 b).

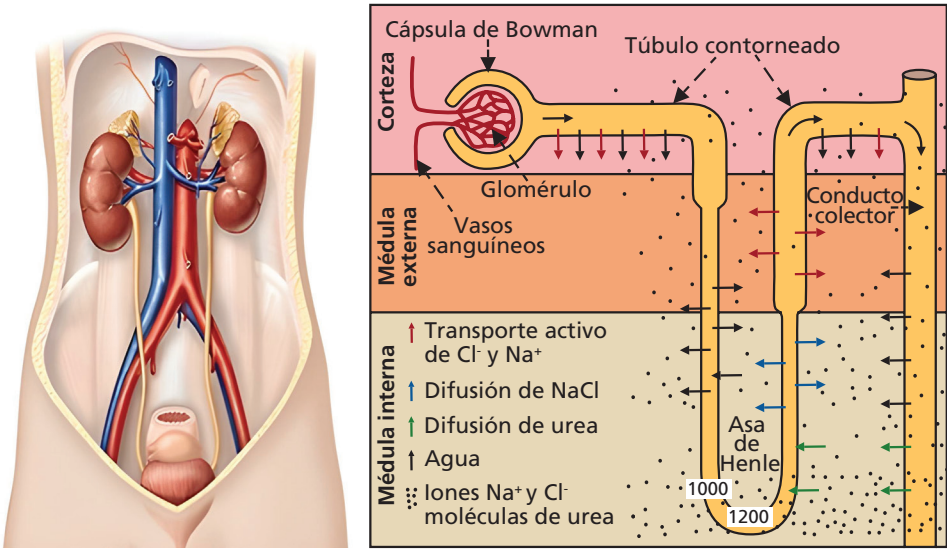


Fig. 3.44 a) Sistema renal humano y b) estructura-función de la nefrona

3.6.2. ¿Por qué el sistema renal está regulado y a la vez, tiene función reguladora?

Cuando hablamos de excreción siempre pensamos en la separación y eliminación de las sustancias nocivas y sobrantes del organismo. Esta sin embargo, es solo una de sus funciones.

La excreción también contribuye a regular el medio interno y el metabolismo al expulsar el exceso de agua y sales, contribuyendo a mantener constantes la composición química y el volumen del medio interno

(homeostasia). Así es como los organismos aseguran su supervivencia frente a las variaciones ambientales.

Se puede decir que la función realizada por los órganos excretores y el sistema renal o urinario de los mamíferos ayuda a mantener la homeostasia por varios mecanismos como son:

- la regulación de la presión osmótica en la sangre y el control del equilibrio hídrico;
- la excreción de los productos de desecho del metabolismo celular;
- la regulación de los iones del medio interno, como sodio, potasio, cloruro y calcio;
- el mantenimiento del pH normal en la sangre, y
- la regulación de la presión arterial, del volumen sanguíneo y del gasto cardíaco.

La regulación neuroendocrina de la función renal es llevada a cabo por la hormona ADH, que controla la permeabilidad al agua de los tubos renales. Esta hormona se produce en el hipotálamo y es almacenada en la neurohipófisis

En la regulación del funcionamiento renal intervienen además otras hormonas como la aldosterona, producida por la corteza suprarrenal, que estimula la reabsorción del sodio en los túbulos (distal y colector) y la secreción de iones potasio. También interviene en esta función el péptido cardíaco, hormona producida por el corazón, que inhibe la reabsorción de sodio y agua en el túbulo distal e incrementa la secreción de estos.

El mecanismo de micción es controlado por los centros nerviosos, y ocurre la mayoría de las veces de forma voluntaria cuando se encuentra la vejiga llena. Al control pobre o ausente de la micción se le denomina incontinencia urinaria.

¿Sabías que...?

En los niños menores de dos años el reflejo de micción es incondicionado, pero como resultado de la educación y entrenamiento que se recibe de la familia, este reflejo transforma en condicionado. En la tercera edad, o como resultado de algunos desórdenes de tipo neurológico, el control de este reflejo puede verse afectado.

3.6.3 ¿Cómo prevenir las afecciones y enfermedades renales más frecuentes?

Si el sistema renal presenta un mal funcionamiento se afecta el equilibrio homeostático y con ello la integridad biótica. Estas afectaciones pueden ser provocadas por agentes infecciosos, tóxicos, vasculares o de otro tipo, que producen alteraciones funcionales y enfermedades renales.

Entre estas enfermedades se encuentra el síndrome nefrítico, que se caracteriza por el deterioro de la función renal, y es producido por la inflamación de los glomérulos renales; su causa es por lo general autoinmune, aunque puede ser de origen infeccioso. El resultado es un aumento de sangre y proteínas en la orina por alteraciones en el filtrado glomerular y una caída rápida del índice de este. Clínicamente se caracteriza por la tríada de hipertensión arterial, edema y hematuria (orinas con sangre).

¿Qué sucede si los riñones no funcionan correctamente?

Cuando los riñones no son capaces de filtrar apropiadamente las sustancias tóxicas o de desecho de la sangre debido a una disminución del flujo plasmático renal, se produce la insuficiencia renal.

Reflexiona

A los pacientes con insuficiencia renal se les aplica hemodiálisis sistemáticas y si es necesario se les realiza trasplante de riñón, operación muy costosa en los países capitalistas. En nuestro país estos tratamientos y operaciones son gratuitos para todos, ¿qué opinas al respecto?

La nefrolitiasis (cálculo renal, litiasis renal o piedra en el riñón) es una enfermedad producida por la formación de un material sólido dentro de las cavidades del riñón, compuesto de sales de fosfato y carbonato cálcico, o uratos, provenientes de sustancias que están en la orina. Esta se manifiesta generalmente por crisis, con dolores agudos y otros síntomas. Si se produce insuficiencia renal en estos casos, el tratamiento consiste en hemodiálisis o trasplante de riñón.

Etimológicamente todos los términos médicos acabados en "itis", hacen referencia a la inflamación de un órgano. La uretritis es una enfermedad que produce la inflamación de la uretra, vía final de expulsión de la orina en ambos sexos. La cistitis es la inflamación aguda o crónica de la vejiga urinaria, con infección o sin ella.

¿Sabías que...?

Aproximadamente cada 45 minutos toda la sangre del cuerpo es filtrada, o sea, que en 24 horas pasa por los riñones 30 veces. Alrededor del 99 % del filtrado se reabsorbe a la sangre y queda apenas 1,5 litros que se excretan en forma de orina. En este proceso son devueltas a la sangre sustancias como glucosa, aminoácidos, cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl), y cloro (Cl).

Para lograr un buen funcionamiento del sistema renal, un estado óptimo de salud y mejor calidad de vida debemos tener en cuenta que:

- No debes postergar la micción cuando sientas deseos de orinar.
- Las niñas y mujeres no deben asearse de atrás hacia delante, así se evita la contaminación de esta zona con bacterias procedentes del ano.
- Un fluido vaginal copioso, de diferente color al habitual o de un olor muy fuerte puede ser indicativo de alguna infección, por lo que se debe acudir al médico.
- Las bacterias y gérmenes se reproducen fácilmente en los genitales, en condiciones de calor y humedad, por lo que se debe higienizar esta zona con agua y jabón suave.
- Debes beber grandes cantidades de agua diariamente, esto garantiza la limpieza de la orina de gérmenes.
- No hay nada mejor que dejar a un lado el tabaco, el café, el alcohol y las comidas muy condimentadas. La ingestión excesiva de café y alcohol, aumenta la filtración renal, y puede llevar a la deshidratación.
- Orinar después de tener relaciones sexuales es un hábito saludable.

Comprueba lo aprendido

1. Explica por qué se plantea que la excreción se relaciona con los procesos metabólicos, y con el resto de las funciones vegetativas y las de autorregulación. Elabora un esquema lógico que permita primero organizar tu análisis, y luego redactar un párrafo con la respuesta a la pregunta.

2. Argumenta el planteamiento siguiente: las plantas presentan características particulares en cuanto a la excreción.

3. Ejemplifica el planteamiento siguiente: la eliminación de sustancias tóxicas en los animales de mayor grado de complejidad se realiza a través de adaptaciones especializadas.

4. Teniendo en cuenta los procesos de formación de la orina, explica la importancia de que la orina inicial no sea igual que la orina final.

5. Si a un individuo se le inhibe, hipotéticamente, la reabsorción que se efectúa en los tubos renales, ¿qué pasaría con la homeostasia?

6. La excreción es un proceso imprescindible en el mantenimiento de la vida de los organismos. Si por alguna causa se afecta esta función, ¿qué consecuencias traería para el organismo?

7. Los riñones son de gran importancia en el mantenimiento de la homeostasia en animales más complejos como los humanos, sin embargo hay personas que no los cuidan. Valora este planteamiento.

8. La hormona ADH, secretada por el hipotálamo y almacenada por la hipófisis, desempeña un importante papel en el funcionamiento de los riñones. Explica por qué.

9. Entre las medidas para prevenir enfermedades renales se encuentran el consumo de cantidades adecuadas de agua, la eliminación del consumo de alcohol y tabaco, y la reducción del café y comidas condimentadas. Argumenta las medidas antes mencionadas.

3.7 En el funcionamiento del organismo se integran las funciones vegetativas y la regulación de la homeostasia

Ante un problema de salud, una madre decide llevar a su hijo al consultorio del médico de la familia y allí le plantea: "Doctor mi hijo es de mal comer, tiene 14 años y tiene baja talla, su relación talla-peso es de 18 Kg por debajo de la ideal, no presenta signos de desarrollo de los caracteres sexuales, siempre tiene anemia, respira muy lentamente y se enferma con frecuencia".

- ¿Qué opinas de estado de salud este adolescente?
- ¿Por qué presenta esta situación, si él solo es de mal comer?

El análisis de las interrelaciones entre los tejidos, órganos, y sistemas de órganos pone en evidencia la integridad biótica, y muestra cómo la interacción entre los tejidos de un órgano posibilita su función.

De forma general, la distribución de cada tipo de tejido en los diferentes órganos y sistemas depende de la función que estos realizan.

Al observar en el microscopio óptico el corte transversal de la hoja de una planta comprobamos la presencia de diferentes tejidos vegetales (figura 3.5). El tejido epidérmico recubre toda la hoja, y los estomas posibilitan el intercambio de gases con el exterior. El transporte de agua y minerales se realiza en los vasos del xilema, y los productos elaborados mediante la fotosíntesis son transportados por el floema. El parénquima clorofílico, que es donde se realiza la función de nutrición en las hojas (fotosíntesis), es el tejido más abundante en este órgano.

Por otra parte, en un órgano como el estómago se puede llevar a cabo la digestión química de determinados alimentos gracias a la acción de las enzimas digestivas, que son vertidas en esta cavidad luego de haber sido producidas por el tejido epitelial glandular que posee propiedades biosintética y de secretabilidad.

Además, en este órgano el tejido muscular liso produce movimientos peristálticos gracias a sus propiedades de excitabilidad, conductibilidad y contractibilidad, y con ello facilita la digestión mecánica (figura 3.45).

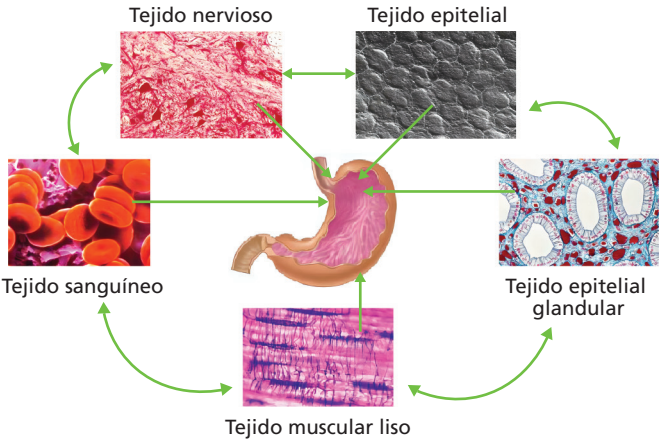


Fig. 3.45 Interacciones entre los tejidos del estómago

En este mismo órgano podemos encontrar otros tipos de tejido como la sangre, que presenta determinadas propiedades físicas (fluidez y capilaridad) y bioquímicas (pH, solubilidad y concentración de biomoléculas), entre otras; esta suministra a los demás tejidos sustancias como glucosa, hormonas, vitaminas, y dioxígeno, además recoge productos de desecho del metabolismo como el dióxido de carbono, y lo transporta a los pulmones de donde es eliminado.

Asimismo, el tejido nervioso con sus propiedades de excitabilidad y conductibilidad, entre otras, permite detectar la información relacionada con la presencia de alimentos en el estómago, y la transmisión de respuestas reflejas que estimulan o inhiben el funcionamiento de sus músculos y glándulas durante el proceso digestivo.

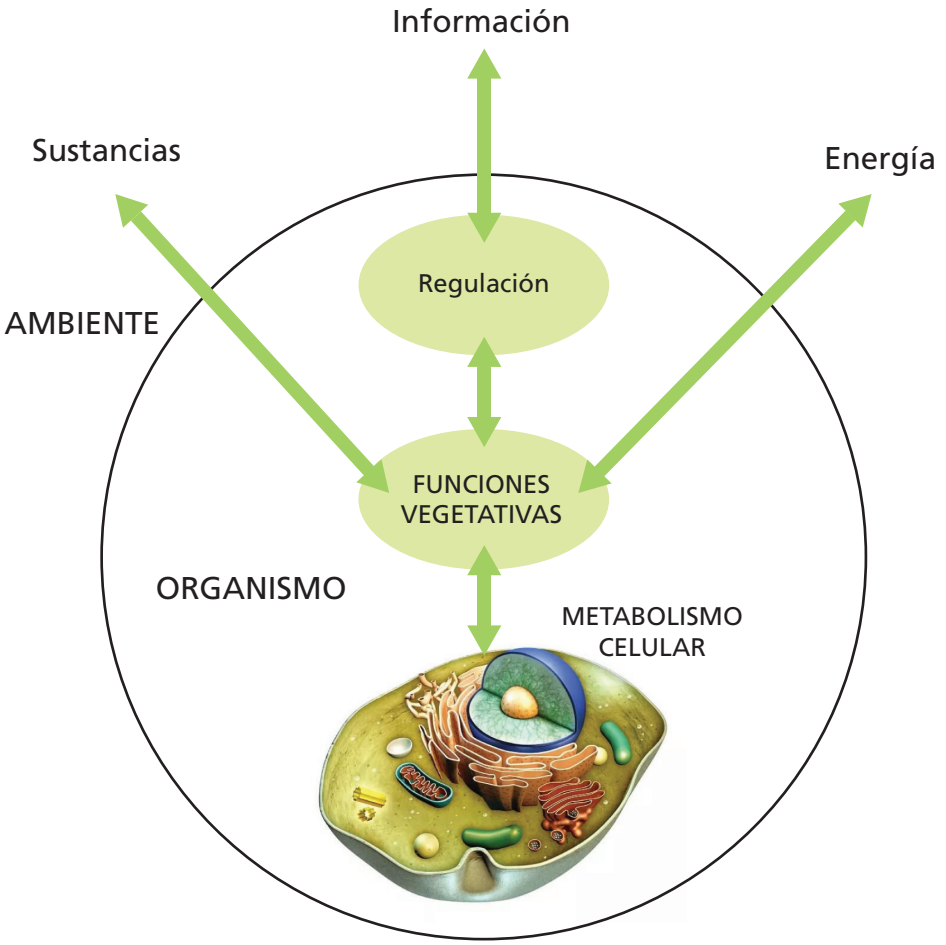
La integración, tanto estructural como funcional, se evidencia en todos los organismos, desde el más simple hasta el más complejo.

Las funciones vegetativas posibilitan el mantenimiento de la vida. Estas funciones (nutrición, ventilación, respiración y excreción) favorecen la relación del organismo con el ambiente, pues mediante ellas toma de este las sustancias que van a ser utilizadas en las reacciones metabólicas (nutrientes y el dioxígeno), las suministra a las células del cuerpo, y a la vez expulsa los desechos del metabolismo al medio externo (ver esquema 3.1).

Por ejemplo, durante el desarrollo y a medida que se producen la diferenciación, el crecimiento y la reproducción de los organismos, son necesarios nutrientes inorgánicos como las sales minerales y el agua, u orgánicos como las biomoléculas utilizadas en los procesos de síntesis de tejidos y órganos del nuevo individuo.

Las funciones de autorregulación son llevadas a cabo por células, tejidos, órganos o sistemas (hormonal, nervioso e inmunitario), que requieren de biomoléculas sencillas como materia prima en la síntesis de hormonas, neurotransmisores, citoquinas, y anticuerpos, entre otras biomoléculas, que participan en su funcionamiento.

Las funciones reguladoras hacen posible la homeostasia, es decir el mantenimiento del equilibrio dinámico del medio interno, mediante mecanismos moleculares y procesos celulares que les permiten controlar el metabolismo celular, a partir de la información que reciben del medio externo o interno, o de la retroalimentación de su propio funcionamiento (Esquema 3.8).



Esquema 3.8 Interrelaciones entre las funciones vegetativas, la regulación y el metabolismo, en interacción con el medio ambiente

Las funciones de autorregulación, como ya hemos planteado, incluyen la regulación hormonal, nerviosa e inmunitaria. Estas formas de regulación se relacionan entre sí, al modular el funcionamiento integrado de las funciones vegetativas del organismo, su desarrollo individual y reproducción. En estas se observa un patrón organizativo común que se corresponde con el patrón general de regulación de cualquier proceso.

Estas funciones también contribuyen a la protección de los organismos ante alguna agresión proveniente del medio externo, a la conservación de

su estado de equilibrio dinámico y a una mejor adaptación ante los cambios ambientales.

El transporte de sustancias se realiza según las necesidades metabólicas; mediante esta función circulan sustancias nutritivas útiles al organismo, como gases y sustancias de desecho del metabolismo, que se expulsan al exterior mediante diferentes adaptaciones excretoras.

En la realización de todas estas funciones los organismos utilizan diversos órganos que constituyen adaptaciones al medio ambiente en que habitan.

Comprueba lo aprendido

1. Observa la figura 3.1 en la que se muestra varios atletas preparados para dar inicio a la carrera y elabora un esquema en el que representes las interrelaciones entre los sistemas de órganos involucrados en la actividad que realizan estos atletas.

2. Explica las relaciones que existen entre las funciones vegetativas, la autorregulación y el metabolismo celular. Para ello auxíliate de un esquema lógico elaborado por ti, de manera creativa.

Desafíos

1. Haz una relación de características de las plantas con flores que ves en los jardines, que consideres sean adaptaciones de la nutrición autótrofa en el planeta Tierra. Explica por qué consideras adaptaciones a cada una de esas características. Te puedes referir a características anatómicas, funcionales o conductuales.

2. Elabora un ejemplo en el que demuestres la hipótesis siguiente: si se afecta uno de los componentes del sistema fotosintético se afecta la función de nutrición del vegetal. Diseña un experimento que permita demostrar esta hipótesis.

3. Investiga sobre las profesiones y los oficios relacionados con las funciones vegetativas de los vegetales y argumenta acerca de su importancia actual en nuestro país.

4. Investiga en qué huerto o finca de tu comunidad se está aplicando la agricultura sostenible y describe las labores que allí se desarrollan. Valora la importancia de las mismas.

5. Realiza un estudio a partir de tus vivencias o de la búsqueda de información impresa o en internet, sobre las adaptaciones que presentan los siguientes grupos de organismos en la realización de los procesos digestivos:

- Protistas
- Celenterados
- Anélidos
- Artrópodos
- Aves
- Mamíferos

Pon ejemplo de organismos en cada caso y describe las relaciones estructura-propiedades-funciones.

6. El trasplante de órganos es un recurso que se utiliza para elevar la calidad de vida de un paciente que padece alguna enfermedad crónica en uno de sus órganos como el corazón, pulmón, riñón, entre otros. Tomando en cuenta los conocimientos que tienes sobre los sistemas circulatorio y respiratorio, y los factores y estilos de vida que pudieran dañarlos, ¿qué criterios utilizarías en la selección de un donante para un trasplante de corazón-pulmón en un individuo fumador?

7. Las dietas para perder peso rápidamente deben ser ricas en proteínas y bajas en carbohidratos, además, las personas que se someten a ellas deben beber una cantidad adecuada de agua. Explica el por qué de esta última afirmación.

8. Algunas amebas que habitan en agua dulce cuando son colocadas en una solución salina expulsan agua con menor frecuencia y en menor cantidad a través de sus vacuolas contráctiles, pero se ha observado que las que habitan en agua salada no presentan vacuolas contráctiles.

a) Basado en tus conocimientos acerca de la excreción, elabora una hipótesis que te permita explicar las observaciones anteriores.

b) Explica y esquematiza qué sucedería si colocamos una de las amebas marinas en agua dulce.

9. Elabora un párrafo en el que relaciones los conceptos siguientes: excreción-medio interno-homeostasia-transporte de sustancias.

10. Basándote en lo planteado en la sección **¿Sabías que…?** del epígrafe 3.5 relacionado con transporte de sustancias, explica y ejemplifica la correspondencia que existe entre los tipos de sistema circulatorio abierto o cerrado, con la movilidad que poseen los organismos en el medio ambiente.

11. Argumenta las consecuencias de las adicciones en la integridad biótica del organismo humano, considerando las interacciones entre las funciones vegetativas y su subordinación a la autorregulación.

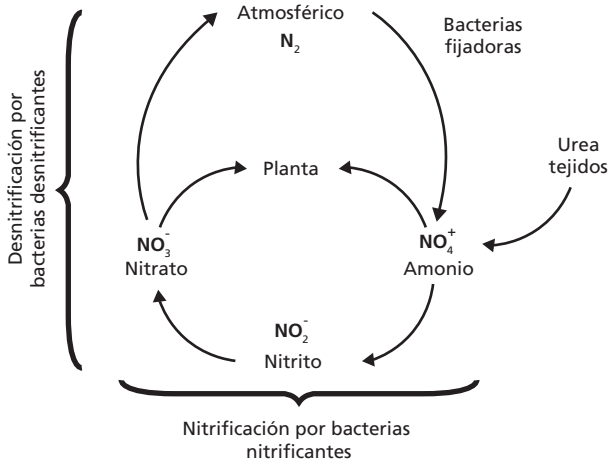
12. Entre los organismos eucariotas solo algunas células poseen cloroplastos, pero todas aquellas que son metabólicamente activas tienen mitocondrias. ¿Por qué?

13. Las reacciones de la glucólisis son idénticas en todos los organismos que obtienen energía a partir del catabolismo de la glucosa. ¿Qué sugiere esa universalidad sobre la evolución de la glucólisis?

14. El dioxígeno molecular es tan reactivo, que no existiera en la atmósfera terrestre si no se repusiera constantemente por los organismos que lo liberan como un producto de la fotosíntesis. ¿Qué sugiere este hecho sobre la evolución de la respiración aerobia y los procesos fotosintéticos que liberan dioxígeno?

15. ¿Por qué es fundamental la membrana mitocondrial interna en el acoplamiento de la cadena de transporte electrónico y la síntesis de ATP? ¿Podría esta membrana realizar su función si la bicapa lipídica fuera permeable a los iones de hidrógeno? Argumenta tu respuesta.

16. Aunque las plantas puedan utilizar el amoníaco directamente, en general absorben el nitrato del suelo a través de las raíces. En el siguiente esquema se representa la función que desarrollan las bacterias en el ciclo del nitrógeno.



Esquema 3.9 Ciclo del nitrógeno

Para elevar los niveles de nitrógeno en el suelo un agricultor decide sembrar leguminosas, ya que estas presentan una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta simbiosis consiste en que el nitrógeno atmosférico:

__ pasa a amonio, que es fijado por la planta;
__ es fijado directamente por las hojas de las plantas;
__ se fija en las raíces de la planta y se liberan nitratos al suelo, o
__ pasa directamente a nitrato, que es fijado por la planta.

Entre las anteriores afirmaciones selecciona la respuesta correcta.

17. Un investigador siembra siete plántulas de una misma especie con un peso inicial muy similar, en diferentes medios de cultivo. Uno de los medios contiene una mezcla completa de nutrientes. Al cabo de una semana se pesa cada planta y se obtiene lo que muestra la siguiente tabla:

Tratamiento	Peso final de la planta (g)
Completo	6,2
Sin azufre	6,1
Sin zinc	7,3

Tratamiento	Peso final de la planta (g)
Sin magnesio	3,7
Sin aluminio	5,8
Sin manganeso	4,2
Sin potasio	3,9

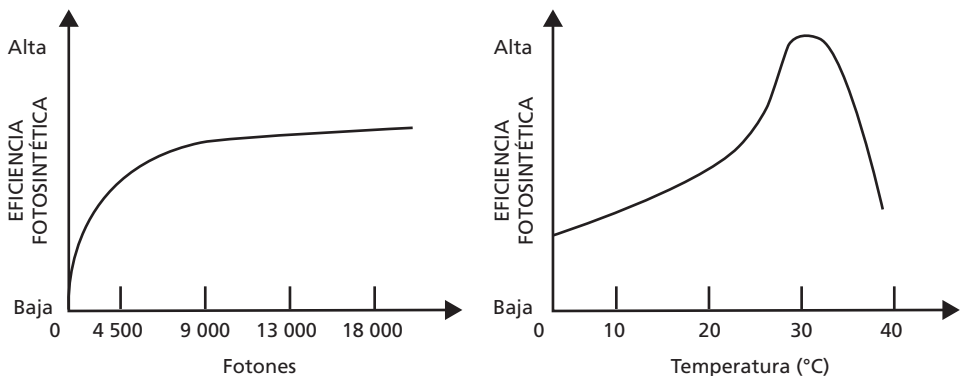
a) Según estos datos podrías decir que el elemento más importante en el crecimiento de la planta es el:

- magnesio
- manganeso
- azufre
- zinc

b) Según los anteriores resultados, una solución completa de nutrientes no garantiza el mayor crecimiento posible en esta especie de planta, por lo tanto tú afirmarías que:

__ la solución completa carece de otros nutrientes fundamentales;
__ el potasio hace que la planta crezca más rápido;
__ el zinc inhibe el crecimiento de la planta, o
__ el manganeso podría excluirse de la solución completa.

18. Los siguientes gráficos representan los efectos de la intensidad de la luz y de la temperatura en la eficiencia fotosintética



Esquema 3.10 Efectos de la intensidad de la luz y de la temperatura en la eficiencia fotosintética

19. Si en una experiencia de laboratorio se someten tres plantas de la misma especie a las condiciones de luz y temperatura que se muestran en la tabla:

Planta No.	Fotones	Temperatura ^{0}C
1	2.000	10
2	16.000	20
3	13.000	30

Se espera que el proceso fotosintético sea:
__ bajo en la planta 1 y eficiente en 2 y 3;
__ más eficiente en la planta 1, medianamente en la 2, y bajo en la 3;
__ más eficiente en la planta 3, medianamente en la 2, y bajo en la 1;
__ eficiente en las plantas 1 y 2, y bajo en la 3.

La dieta nutricional de un mamífero se compone básicamente de carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales. Selecciona de qué tipo de alimento se debe restringir el consumo, en caso de presentarse un problema de salud que conlleve a la extracción de la vesícula biliar:
__ carne de pescado __ arroz blanco
__ mantequilla __ frutas

Cuando los delfines y las ballenas salen a la superficie expulsan un chorro de aire húmedo que contienen entre otras sustancias, gases, vapor de agua y mucus; la función de esta acción es eliminar algunos productos de los procesos respiratorios como:
__ dióxido de carbono __ dinitrógeno
__ exceso de sal __ dioxígeno

Un pez de agua dulce mantiene la concentración de solutos en su sangre un poco más alta que la de su medio, ¿qué esperas que suceda si este pez es llevado a un estanque de agua marina?
__ Que sobreviva porque sus branquias absorben del medio gran cantidad de sales, y este produce una orina abundante y de baja concentración de solutos;

__ que muera deshidratado al expulsar al medio gran cantidad de sales a través de sus branquias y orina;
__ que sobreviva si la orina es escasa y concentrada pero sus branquias pueden excretar al medio gran cantidad de sales, o
__ que muera si sus branquias y riñones disminuyen la salida de agua hacia al medio.

20. Los peces que viven en agua dulce regulan sus concentraciones de sales corporales descargando el exceso de agua, mediante la excreción de grandes cantidades de orina diluida y ganando sales con su alimento, y a través de las branquias. Si por alguna variación en el medio donde habitan estos peces se incrementara la concentración de sales, un mecanismo efectivo de osmorregulación sería:
__ incrementar las cantidades de agua que toman por la boca;
__ excretar la orina más concentrada, o
__ excretar menores cantidades de iones a través de las branquias.

21. Los estomas son adaptaciones especializadas no solo en el intercambio de agua con el medio, también durante el día facilitan el intercambio de gases, incorporando el dióxido de carbono necesario en el proceso fotosintético. Esta es otra de las razones por la que se encuentran regularmente abiertos de día y se cierran durante la noche.

Una manera de comprobar si hay o no ingreso de agua, y por tanto, de iones K^+ al interior del estoma, consiste en agregar azul de metileno al agua y constatar la presencia de este en los tejidos.
Señale a continuación qué sucedería si se agrega dicho colorante en el agua de un cacto:
__ el pigmento se concentraría en los tejidos del tallo, cuya epidermis sería el área de intercambio, porque las hojas se han modificado como espinas y se ha reducido así la pérdida de agua;
__ se observarían teñidas las raíces, cuya epidermis sería el área de intercambio, porque las hojas se han modificado como espinas y se ha reducido así la pérdida de agua;
__ se teñirían los frutos, cuya epidermis sería el área de intercambio, porque las hojas se han modificado como espinas y se ha reducido así la pérdida de agua, o

__ el pigmento se concentraría en las flores, cuya epidermis sería el área de intercambio, porque las hojas se han modificado como espinas, reduciendo así la pérdida de agua

22. Cuando una persona corre, aumenta el ritmo cardíaco y por tanto la cantidad de veces que se realiza el intercambio de gases a nivel pulmonar, con lo que logra aumentar la cantidad de dioxígeno en la sangre. Tomando en cuenta esta información podemos afirmar que el dioxígeno que ingresa al organismo se consume en el cerebro, porque en su funcionamiento estas células dependen:

__ del proceso de síntesis de glucosa en el hígado en el que intervienen hormonas como la insulina y el glucagón, que mantienen equilibrada la concentración de azúcar en el torrente sanguíneo;

__ del proceso de síntesis de glucosa en el hígado que tiene como fin mantener una concentración óptima de esta sustancia en la sangre, mientras que las células musculares no requieren necesariamente de dioxígeno atmosférico en la obtención de la glucosa;

__ de la glucosa proveniente del proceso digestivo, que se almacena en la sangre y por intermedio del sistema circulatorio se provee de ella a las células musculares y a las cerebrales, o

__ del proceso digestivo y de la intervención hormonal del hígado y el páncreas en la síntesis y distribución de la glucosa, según los requerimientos de la misma, a todas las células y líquidos corporales.

a) Justifica tu respuesta.

23. La obesidad es un problema nutricional generalmente asociado al consumo excesivo de azúcar, y por tanto al aumento de glucosa en la sangre, que al encontrarse en exceso es almacenada en el hígado y en las capas subdérmicas de la piel en forma de glucógeno.

Selecciona la respuesta correcta, tomando en cuenta lo que debe ocurrir cuando una persona se encuentra expuesta a una condición extrema, después de haberse utilizado la glucosa presente en la sangre:

__ se recurre al azúcar que se obtiene por degradación de los alimentos en el proceso de digestión, aumentando los niveles de glucagón (en caso de descender el azúcar) y regulándolo con la secreción de insulina, y así se garantiza que el cerebro funcione adecuadamente;

__ se recurre al azúcar que resulta de la degradación de los almidones derivados de los alimentos y al que se encuentra almacenado en los músculos, y así se mantienen los niveles que garantizan que el cerebro funcione adecuadamente;
__ se recurre al azúcar que se obtiene por degradación de los lípidos de las capas subdérmicas, y en casos extremos, al que se encuentra almacenado en los músculos, y así se mantienen los niveles que garantizan que el cerebro funcione adecuadamente, o
__ se recurre al azúcar que se obtiene por glucólisis celular, y en casos extremos, al que se encuentra almacenado en los músculos, a fin de mantener los niveles que garantizan que el cerebro funcione adecuadamente y no se deteriore la capacidad de respuesta.

a) Justifica tu respuesta

24. En un colegio se ha decidido usar una parte de los jardines en el diseño de un pequeño huerto escolar. Lo único que se conoce, de acuerdo con lo que se ha estudiado, es que el suelo se puede acidificar o alcalinizar, y para decidir qué tipo de cultivo elegir tienen la siguiente tabla con los requerimientos nutricionales y de pH, según la especie vegetal a escoger:

Especie vegetal	pH del suelo	Requerimiento nutricional
Cebolla	Ácido	Hierro
Frijol	Básico	Calcio
Lechuga	Básico	Calcio
Remolacha	Ácido	Hierro
Chícharo	Básico	Calcio

a) Selecciona cuál de estos procedimientos debieran seguirse:
__ cultivar inicialmente cebolla y remolacha, pues los requerimientos de mineral y pH del suelo son similares;
__ cultivar inicialmente frijol, chícharo y lechuga, pues los requerimientos de mineral y pH del suelo son similares;

__ rotar los cultivos como sigue: frijol, chícharo y lechuga inicialmente, y después remolacha y cebolla, para que los minerales se mantengan, o
__ rotar los cultivos como sigue: frijol, chícharo y lechuga inicialmente, y después remolacha y cebolla, y así cambiar el pH del suelo.

b) Con el objetivo de neutralizar el pH de un suelo cultivable, lo mejor sería intercalar especies con requerimientos diferentes, como se expone a continuación:
__ cebolla, lechuga, frijol, remolacha, chícharo;
__ cebolla frijol, lechuga, chícharo, remolacha;
__ cebolla frijol, lechuga, remolacha, chícharo, o
__ cebolla, remolacha, frijol, lechuga, chícharo.

Actividades prácticas

Práctica de laboratorio: Observación de tejido parenquimatoso y plastidios de células vegetales en cortes de hojas (cloroplastos, cromoplastos, oleoplastos, amiloplastos)

Materiales: hojas de lengua de vaca, de adelfa, elodea, cordobán u otras hojas, fruto del tomate y tubérculo de la papa, portaobjetos, cubreobjetos, gotero, bisturí o cuchilla, pinzas, aguja enmangada, papel de filtro, lugol y microscopio óptico.

Técnica operatoria:

1. Coloca en el portaobjetos una gota de agua.
2. Realiza un corte transversal en cada una de las hojas y traslada las muestras a diferentes portaobjetos con el auxilio de las pinzas o la aguja enmangada, en la forma que ya conoces.
3. Extiende las muestras de cortes de hojas sobre cada portaobjetos y agrega agua con un gotero en cada uno.
4. Sitúa los cubreobjetos y elimina las burbujas de agua. Seca las preparaciones con el papel de filtro.
5. Obtén con el bisturí un fragmento pequeño del fruto del tomate, colócalo en un portaobjetos. Pon encima de la muestra un cubreobjetos y efectúa el squash o aplastamiento.

6. Realiza un raspado del tubérculo de la papa con el bisturí, coloca en un portaobjetos la muestra obtenida y agrégale una gota de lugol.
7. Pon el cubreobjetos y elimina las burbujas de agua. Seca la preparación.
8. Observa en el microscopio todas las muestras. Regula la luz mediante el diafragma.
9. Dibuja y describe lo observado.

Actividades para las conclusiones

1. Establece la relación que existe entre las características de los diferentes tipos de parénquima, el color observado en los cloroplastos u otros plastidios, y la función que tienen en las plantas.
2. ¿Te permiten los resultados de esta actividad práctica corroborar la teoría celular? Fundamenta tu respuesta.

Práctica de laboratorio: Extracción y separación de pigmentos vegetales por cromatografía de papel

Materiales: hojas de plantas de diferentes colores, alcohol, tijeras, probeta, alambre o presilla de metal, vaso de precipitado, tabla, papel de filtro, lápices de colores y mortero.

Técnica operatoria:

1. Coloca fragmentos de hojas de diferentes colores en un mortero con 5 a 10 ml de alcohol etílico y macéralas.
2. Deposita 5 a 10 ml del extracto de pigmentos en un vaso de precipitado.
3. Ubica en el vaso de precipitado, en posición vertical y sumergida ligeramente en el líquido, una tira de papel de filtro, sostenida por un alambre o presilla.
4. Espera de 4 a 5 minutos, retira la tira de papel de filtro y colócala sobre una superficie seca, que puede ser una tabla, hasta que se seque ligeramente el papel.
5. Observa las zonas de diferentes colores que aparecen en la tira de papel.
6. Dibuja lo observado e identifica con la ayuda del profesor, a qué pigmento corresponde cada zona coloreada.

Actividades para las conclusiones

1. ¿La coloración de las plantas se debe a la presencia de un solo pigmento? Ejemplifica.

2. ¿Qué importancia tiene la presencia de esta diversidad de pigmentos en las plantas?
3. ¿Cuál es la localización de los pigmentos fotosintetizadores en el organismo vegetal y dentro de la célula vegetal?
4. ¿Consideras que la proporción de los pigmentos observados en esta actividad pudiera variar con relación a otras plantas diferentes? Explica tu respuesta. Diseña un experimento que demuestre tu hipótesis.

Práctica de laboratorio: Observación de estomas en hojas y tallos vegetales

Materiales: hojas de cordobán, portaobjetos, cubreobjetos, gotero, bisturí o cuchilla, pinzas, aguja enmangada, papel de filtro y microscopio óptico.

Técnica operatoria:

1. Coloca en el portaobjetos una gota de agua.
2. Realiza un corte tangencial a la superficie del envés de una hoja de cordobán, y traslada la muestra al portaobjetos anterior con el auxilio de las pinzas o la aguja enmangada, en la forma que ya conoces.
3. Extiende la muestra sobre el portaobjetos con ayuda de la aguja enmangada.
4. Sitúa el cubreobjetos y elimina las burbujas de agua. Seca la preparación con el papel de filtro.
5. Localiza los estomas y obsérvalos con lentes objetivas de mayor aumento.
6. Dibuja y describe lo observado.

Actividades para las conclusiones

1. ¿Cómo se manifiesta la relación estructura-propiedad-función en los estomas?
2. Elabora una hipótesis sobre las diferencias en la cantidad de estomas que deben existir entre el haz y el envés de las hojas de cualquier planta y entre plantas que viven en ambientes secos, con relación a las que viven en ambientes muy húmedos.
3. Diseña una posible práctica de laboratorio para comprobar tu hipótesis.

Actividad práctica extradocente: Obtención de fertilizantes orgánicos (compost) con desechos vegetales

En cualquier estación del año se puede producir compost. De hecho, muchas áreas pequeñas como techos y terrazas, balcones y pequeños huertos

o simples canteros, pueden ser útiles en el reciclaje de los desechos del huerto y la cocina.

Para sacarle el máximo al clima y producir más compost en menos tiempo es necesario seguir las siguientes recomendaciones:

1. Cortar en pedazos pequeños todo lo que se va a poner en la pila, esto es especialmente importante con elementos como las cáscaras de frutas o de vegetales y cualquier elemento duro. No agregar demasiados ingredientes de solo tipo, como cáscaras de cítricos.
2. Hacer pequeños grupos para facilitar el viraje. Es necesario mezclar y airear cuidadosamente la pila con frecuencia, esta necesita ser volteada al menos cada tres días, y mientras más veces se realice esta operación más pronto quedará listo.
3. Se puede producir buen compost utilizando los desechos de la cocina y añadiendo varios materiales que se obtienen fácilmente cerca de la casa o la escuela, entre ellos: hierba y césped cortados que no contengan semillas, hojas y flores caídas, cáscaras de coco etc.
4. Teniendo siempre más de una pila en producción, tendremos compost maduro en diferentes fechas. De esta forma puedes utilizar el material que se consiguió en una pila nueva, mientras que otra se está madurando.
5. Es indispensable mantener la pila húmeda pero no empapada. Puedes añadir una parte de orina mezclada con 5 partes de agua; esto facilita una rápida descomposición.
6. Cubre la pila de compost con un nylon u otro tipo de material que ayude a mantener el calor dentro y así acelerar la descomposición, no obstante, si está cubierta con un material impermeable debes asegurarte de airearla más frecuentemente, pues si no hay ventilación se producirá respiración anaerobia, la maduración demorará más y el producto adquirirá mal olor.
7. Es conveniente agregar un poco de compost maduro a la pila nueva, que aportará los microorganismos que se requieren y se multiplicarán rápidamente. Si no tiene compost maduro para comenzar su primera pila, ponga un poco de tierra. Si sigues los pasos mencionados el compost estará listo aproximadamente en tres o cuatro semanas este cuando está maduro es de color oscuro, seco, suelto, y no tiene mal olor. Si tiene ramitas pequeñas o pedazos de material duro, como semillas de mango o mamey, retírelas.

8. Este se puede hacer en un agujero o sobre la tierra. Es posible también hacerlo en una caja plástica con espacios a los lados que permitan la circulación del aire. También se puede hacer en un saco de yute, e incluso en un saco de nylon trenzado que permita que el aire circule hacia dentro.

Elementos que no debemos poner en el compost:

- Excrementos de gatos, perros y humanos, porque pueden contener microrganismos patógenos que nos provoquen enfermedades.
- Malas hierbas con semillas, porque contaminan el suelo.
- Plantas tóxicas (hojas de eucaliptos, de nogal, nueces, casuarina o pino), porque impiden el crecimiento de otras plantas.
- Plantas tratadas con herbicidas o restos de plantas enfermas o plantas venenosas,
- Vidrios, metales, plásticos y otros materiales que no se descomponen.
- Restos de grasa y carnes, por el mal olor.

Actividades para las conclusiones

- ¿Qué importancia tiene la utilización de abonos orgánicos como el compost en la agricultura?
- ¿Por qué se le denomina agricultura sostenible a estas prácticas que involucran compost y otros abonos orgánicos?
- ¿Qué otras labores posibilitan una agricultura sostenible?

Práctica de laboratorio: Observación de tejido adiposo

Materiales: preparaciones fijas de tejido adiposo y microscopio óptico.

Técnica operatoria:

1. Coloca la preparación fija en el microscopio óptico.
2. Desarrolla todos los pasos que conoces para realizar una correcta observación. Recuerda empezar con la lente objetiva de menor aumento.
3. Describe las características de las células que observas y cómo se disponen unas con relación a las otras.
4. Dibuja lo observado.

Actividad para las conclusiones

- Explica cómo se manifiesta la relación estructura-propiedades-funciones en las células y en los tejidos observados.

Actividad práctica extradocente: Elaboración de yogurt, vino y vinagre casero.

A: Yogurt casero:

Materiales: un vaso de leche, muestra de yogur (2 cucharadas), un pomo con tapa, y recipiente ancho con tapa, agua tibia.

Técnicas operatoria

1. Calentar la leche ligeramente cuidando de que no llegue a hervir, pues las lactobacterias morirían.
2. Incorporarle una o dos cucharadas de yogur como solución madre que contiene lactobacilos.
3. Verter la leche en un pomo y taparlo.
4. Sumergir el pomo con la leche caliente en baño de María (en un recipiente ancho con agua tibia que lo cubra).
5. Taparlo y envolverlo con una toalla o paño que conserve el calor.
6. Dejarlo por unas 10 horas hasta que coagule y se acidifique por la acción bacteriana.

B. Vino casero:

Materiales: jugo de fruta natural, azúcar, recipiente de cristal, gasa, manguerita plástica.

Técnica operatoria:

1. Preparar jugo de alguna fruta como piña, naranja, fruta bomba, etc., que sea ligeramente dulce, si no tiene dulce suficiente añadirle algo de azúcar.
2. Colocar esta disolución en un recipiente limpio.
3. Tapar el recipiente con una gasa de modo que el gas que se produce en la fermentación pueda escapar.
4. Al cabo de 45 días aproximadamente el jugo se ha transformado en vino por la fermentación alcohólica de las levaduras, por lo que se puede extraer mediante una manguerita plástica como las que se usan en los sueros, hacia otro recipiente limpio.
5. Para que el vino no se enturbie al moverlo durante su extracción, se introduce en él un extremo de la manguerita y se coloca una botella limpia a un nivel inferior. Por el otro extremo de la manguerita se succiona

con la boca hasta que la columna de vino salga hacia esta otra botella en la que se envasará el vino. Si no se mantiene la higiene adecuada el vino se puede contaminar con bacterias que producen la acidificación, de ahí la importancia de mantener estrictas medidas de higiene y esterilización en los instrumentos y en los envases que se utilicen.

C. Vinagre casero:

Materiales: cáscaras de frutas (de piña, plátano fruta o plátano burro maduros), azúcar, recipiente de boca ancha, gasa, manguerita de goma.

Técnica operatoria:

1. Se colocan las cáscaras de frutas en un recipiente de boca ancha.
2. Se le incorpora agua de azúcar y se tapa con una gasa.
3. Se deja en reposo en un lugar preferentemente oscuro hasta que se forma alcohol etílico (vino) por las levaduras, y luego este es transformado por las acetobacterias en el vinagre, debido a la fermentación acética.

Actividades para las conclusiones

- ¿Qué ventajas y desventajas tiene elaborar en casa yogur, vino y vinagre?
- Explica los procesos metabólicos que se involucran en la elaboración de estos productos. Escribe las reacciones generales en cada caso.
- ¿Qué microorganismos hacen posible que se realicen estos procesos metabólicos?
- ¿Qué cuidados hay que tener para que los productos elaborados en esta práctica no se echen a perder? Argumenta tu respuesta.

Práctica de laboratorio: Identificación de xilema y floema en cortes transversales y longitudinales de órganos vegetales

Materiales: planta de vicaria o de madama, de flores blancas o amarillas, portaobjetos, cubreobjetos, vaso de precipitado, gotero, bisturí o cuchilla, pinzas, aguja enmangada, papel de filtro, lápices de colores, rojo aseptil al 2 % u otro colorante, lugol o disolución de yodo al 1 % y microscopio óptico.

Técnica operatoria:

1. Con antelación coloca tallitos con flores en una disolución de rojo aseptil. Observa la planta colocada.

2. ¿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? ¿De qué manera podrías comprobar cómo las características del xilema y el floema permiten el transporte de sustancias en las plantas?
3. Coloca una gota de agua en un portaobjetos.
4. Realiza cortes transversales y longitudinales del tallo y las hojas de la planta.
5. Traslada la muestra al portaobjetos. Extiéndela con ayuda de la aguja enmangada.
6. Coloca el cubreobjetos, elimina las burbujas de aire y seca la preparación.
7. Observa al microscopio óptico. Localiza el tejido conductor. Identifica los vasos coloreados por el colorante.
8. Puedes utilizar preparaciones fijas para comparar las observaciones con las de las preparaciones hechas por ti.
9. Dibuja lo observado.

Actividades para las conclusiones

- ¿A qué se deben los cambios de coloración en los cortes de tallos?
- ¿Cómo se manifiesta la relación estructura-propiedades-funciones tanto en el xilema como en el floema?

Actividad práctica extraclase: Comprobación de la regulación de las funciones vegetativas en el ser humano durante el ejercicio físico

Materiales: cinta métrica, regla graduada y lápices de colores.

Técnica operatoria:

1. Inicialmente los equipos deben estar conformados por compañeros de ambos sexos, que estarán sentados sin realizar ningún tipo de ejercicios físicos.
2. Observa la piel de cada integrante del equipo, ¿se aprecia sudoración? Anota los resultados.
3. Toma el pulso a diferentes compañeros durante un minuto. 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 índices y del medio en la muñeca,

hasta que aprecies los latidos (pulso arterial). Si tuvieras dificultad en detectarlos en el extremo radial de la muñeca, puedes presionar con los mismos dedos en la región centrolateral el cuello.

4. Repite el paso anterior, pero inmediatamente después que los compañeros hayan saltado en el lugar durante dos minutos. Déjalos reposar 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 después de terminado el ejercicio.
6. Determina el número de inspiraciones de tus compañeros en reposo, durante un minuto. Rodea con una cinta métrica el tórax de estos y mide a cada uno la circunferencia del tórax.
7. Repite el paso anterior, pero en este caso toma dos mediciones del número de inspiraciones por minuto, la primera inmediatamente después de que los compañeros hayan saltado en el lugar, y la otra a los dos minutos 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 dos minutos después del ejercicio y medida circular del tórax pasado ese tiempo.
9. Procede en la forma en que se indicó en el paso 2 con los compañeros que realizaron el ejercicio físico. Compara ambos resultados.

Actividades para las conclusiones

- Confecciona un gráfico de líneas, por sexos, donde se señalen los datos recogidos en la tabla confeccionada en el paso 5. Determina el promedio de pulsaciones por sexos y del equipo en reposo, después del ejercicio, y después de dos minutos de finalizado el ejercicio. ¿A qué conclusiones puedes llegar?
- Confecciona gráficos de líneas en el que compares por sexos, 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 minutos de finalizado el ejercicio. ¿A qué conclusiones puedes llegar?

- Relaciona las dos conclusiones anteriores con la comparación realizada en el paso 9. Argumenta cómo ocurre la regulación de las funciones vegetativas. Analízalo colectivamente, auxíliate de las gráficas elaboradas y construye otras que consideres necesarias.
- Si el ejercicio que se realiza fuera más intenso que el indicado en los pasos 4 y 7, ¿qué ocurriría con la concentración de glucosa en sangre? Explica tu respuesta y elabora un modelo que represente este proceso.

Seminario: Medio ambiente, estilo de vida y salud. Importancia del ejercicio físico y la alimentación adecuada.

Objetivo: Valorar la importancia de adoptar estilos de vida saludables en armonía con el medio ambiente, y las posibilidades que brinda el Estado cubano para garantizar la atención y el mantenimiento de la salud física, mental y social de niños, adolescentes, jóvenes y adultos en desventaja social.

Propuesta de temáticas:

1. Salud física, mental y social. Medidas para su prevención.
2. Estilo de vida. Sus componentes y relaciones con el funcionamiento del organismo como un todo íntegro, y la salud.
3. La práctica de ejercicios físicos y la recreación sana. Su importancia para la salud.
4. Acciones del Estado cubano, las organizaciones juveniles, estudiantiles y en el instituto preuniversitario, que hacen posible la recreación sana y educativa en los niños, adolescentes y jóvenes.
5. El gimnasio biosaludable. Sus características e importancia. Utilización de los localizados en la comunidad.
6. La alimentación sana. Sus requerimientos e importancia. Situación en la población escolar y en la comunidad. Medidas para lograr la seguridad alimenticia.

Sugerencias para el desarrollo:

- Cada equipo puede elegir una temática y realizar la gestión de conocimientos en la diversa bibliografía existente en bibliotecas, centros de documentación, la prensa escrita, redes sociales y sitios de

internet. También pueden realizar entrevistas o encuestas a miembros de la institución o la comunidad, entre otras iniciativas.

- Las ponencias, con los resultados del trabajo independiente y grupal, serán entregadas por cada equipo al profesor, en formato digital, para su evaluación.
- La presentación en el colectivo será mediante la elaboración de una presentación, infografías, un video, u otros recursos que le permita al equipo demostrar sus habilidades comunicativas durante la exposición oral.

CAPÍTULO 4

La reproducción de los sistemas vivientes en la perpetuación de la vida

Hasta donde sabemos, nuestro planeta es singular en el Universo por la existencia de vida. La biodiversidad brinda el equilibrio esencial en la naturaleza, y aporta muchos de los "servicios básicos" de nuestra supervivencia (figura 4.1).

Fig. 4.1 Biodiversidad y equilibrio del planeta Tierra

Sin embargo, la velocidad con la que perdemos especies es alarmante. Se calcula que en los últimos 100 años han desaparecido alrededor de 279 especies y cerca de 20 mil se encuentran en peligro de extinción. Los expertos consideran que estamos ante una pérdida masiva provocada por la actividad humana. No hay dudas de que, conservar la biodiversidad, es uno de los retos más grandes en la actualidad.

Reflexiona

¿Cómo podemos contribuir a proteger, conservar y a hacer un uso sostenible de la biodiversidad?

Ya conoces que la reproducción es la función que permite la perpetuación de la vida, mediante la formación de nuevos organismos en las poblaciones de cada especie. Es por eso que cualquier acción humana que se proponga la protección, conservación y uso sostenible de la biodiversidad, no solo requiere de conocer las relaciones que se establecen en los ecosistemas, o cómo viven y realizan sus funciones los diferentes organismos que los componen; es indispensable también la aplicación de los conocimientos sobre cómo se reproducen, pues esta función está relacionada con la perpetuación de cada especie.

El estudio de este capítulo te permitirá responder preguntas siguientes:

- ¿Cómo se manifiesta la integridad biótica de los organismos en la reproducción, y qué adaptaciones permiten esta función en diversas condiciones ambientales?
- ¿Qué importancia tienen los procesos de división celular en las diferentes formas de reproducción?
- ¿Cómo se pueden aplicar los conocimientos sobre la reproducción, en la solución de problemas de diversas esferas de la vida: agricultura, ganadería, salud humana; y en la protección, conservación y uso sostenible de la biodiversidad?
- ¿Qué aspectos debes tener en cuenta para asumir, conscientemente, un estilo de vida saludable con relación a la reproducción y la sexualidad humanas?

Los conocimientos sobre la reproducción tienen una amplia aplicación en la práctica y pueden contribuir a resolver muchos problemas de la humanidad, dentro de una concepción de desarrollo sostenible, sin comprometer la capacidad de las generaciones venideras de satisfacer sus necesidades. No es posible el desarrollo de la agricultura, la ganadería, la medicina, la microbiología, la biotecnología, entre otras ramas de la ciencia y la tecnología, sin profundizar en el hecho de cómo la reproducción permite la perpetuación de la vida.

Saber más

El Convenio sobre la Diversidad Biológica reconoció la necesidad mundial de conciliar la preservación de la biodiversidad con el progreso humano, según los criterios de sostenibilidad. En Cuba existe un Programa Nacional sobre la

Diversidad Biológica, como respuesta a los compromisos adquiridos, con objetivos y metas que responden a las prioridades nacionales, en concordancia con las metas internacionales que se renuevan periódicamente.

4.1 La reproducción permite la perpetuación de la vida

Cada vez que una especie se extingue, se pierde una variedad agrícola o se afecta un ecosistema, se altera el equilibrio natural, que es el resultado del proceso evolutivo durante más de cuatro mil millones de años.

Reflexiona

Si la reproducción es una función que permite la perpetuación de la vida, ¿cómo explicar las variaciones y las adaptaciones de los organismos, surgidas durante la evolución a lo largo de tantos millones de años?

Con anterioridad has estudiado que la reproducción es la función en la que los organismos originan nuevos individuos. Al profundizar podemos elaborar la siguiente definición:

La reproducción es la función que permite la multiplicación del número de individuos de una especie, y posibilita la transmisión de la información genética de generación en generación y su variabilidad, lo que contribuye a la perpetuación de cada especie en el tiempo y el espacio (figura 4.2).

Fig. 4.2 Estabilidad y variabilidad en la descendencia mediante la reproducción

Por medio de la transmisión de la información genética se produce tanto la estabilidad de las especies como su variabilidad, las cuales son propiedades de la herencia que se manifiestan mediante la reproducción. Esta función permite que los sistemas vivientes se perpetúen en el tiempo y el espacio manteniendo un patrón estructural y funcional, gracias a la transmisión de la información genética de los progenitores a sus descendientes; al mismo tiempo se produce variabilidad, lo que es fundamental en el proceso evolutivo pues contribuye a la biodiversidad. Durante diferentes momentos de la reproducción pueden ocurrir variaciones en los organismos de una misma especie, esto los hace más adaptables a los cambios del medio ambiente.

Aunque en este capítulo no estudiaremos el fenómeno de la herencia, es fundamental comprender su relación con la reproducción. Para ello es necesario recordar cómo la información genética está contenida en el ADN, que se transmite de generación en generación al dividirse, originar células hijas y nuevos individuos.

Recuerda que...

Los ácidos nucleicos contienen la información genética determinada en la secuencia de nucleótidos de su estructura. Esto constituye la base de su función en la trasmisión hereditaria. Cada molécula de ADN puede duplicarse y producir moléculas hijas con la misma secuencia.

Los genes, constituidos por ADN, contienen la información genética que se transmite a la descendencia. En células eucariotas el ADN se une a proteínas histonas y forma la cromatina, que se condensa y se transforma en los cromosomas durante la división celular (figura 4.3).

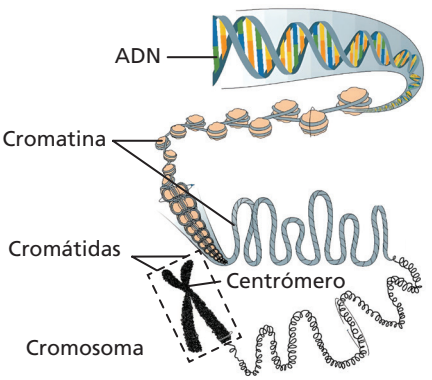


Fig. 4.3 Empaquetamiento del ADN en la formación de cromosomas en células eucariotas

La reproducción es una función esencial en la supervivencia de las especies y en la perpetuación de la vida en el tiempo, pues permite la multiplicación del número de individuos. Por otro lado, es trascendental en el surgimiento y mantenimiento de la biodiversidad, ya que a la vez que ocurre la transmisión hereditaria de generación en generación, se producen cambios y reorganización de la información genética. Esta variabilidad ha sido indispensable durante el proceso evolutivo, en el desarrollo de innumerables adaptaciones a las diversas condiciones ambientales de nuestro planeta.

Ya conoces que el equilibrio de la naturaleza depende en gran medida de las relaciones que se establecen en los ecosistemas, entre las poblaciones de diferentes especies. La densidad de una población está determinada, entre otras causas, por las características reproductivas de la especie, que influyen en su potencial biótico. Por eso en el desarrollo de acciones de protección y conservación de la biodiversidad, así como en cualquier intervención humana sobre la naturaleza, es necesario tener en cuenta todos los factores que pueden alterar la reproducción de las especies y por lo tanto la densidad de las poblaciones.

Reflexiona

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza, existen algunas especies que no consiguen reproducirse con éxito cuando hay temperaturas muy elevadas como resultado del cambio climático. La fragmentación de hábitats y la deforestación practicada con la finalidad de desarrollar la ganadería, la agricultura o la construcción, pueden separar poblaciones de organismos de una misma especie e impedir su reproducción, lo que reduce la variabilidad genética y ocasiona la pérdida de biodiversidad. ¿Es posible adoptar decisiones acertadas sobre las intervenciones humanas en la naturaleza, sin conocer las características de la reproducción descubiertas por las ciencias biológicas?

Sin lugar a dudas, el estudio de la reproducción te ayudará a comprender y buscar soluciones a muchos problemas relacionados con el pasado, el presente y el futuro de la vida. A fin de profundizar en su estudio te proponemos comenzar explicando cómo ocurren los procesos de división de las células durante el ciclo celular; estos conocimientos son básicos para comprender cómo durante la reproducción se produce la transmisión de la

información genética a los descendientes, y a la vez se producen cambios que confieren la variabilidad a las especies.

Comprueba lo aprendido

1. A partir de la definición de reproducción, argumenta su importancia en la naturaleza.

2. Elabora un resumen en el que establezcas la relación entre ADN, gen y cromosomas.

3. Los cromosomas homólogos en los organismos diploides contienen la información para los mismos caracteres, sin embargo esta información genética no es idéntica. ¿Qué explicación puedes dar a este hecho?

4. Investiga sobre los efectos del cambio climático en la biodiversidad, y elabora una hipótesis sobre sus posibles causas, relacionadas con afectaciones a la reproducción.

4.2 En el ciclo de vida de las células eucariotas ocurren procesos de división por mitosis y meiosis de gran importancia en la reproducción de los organismos.

El cáncer es una de las principales causas de muerte en todo el mundo y en Cuba. Se conoce que en esta enfermedad se produce una proliferación descontrolada de las células; tal multiplicación en el número de células puede llegar a formar unas masas denominadas "tumores" o "neoplasias", que en su expansión pueden destruir y sustituir a los tejidos normales, como ocurre en el cáncer de pulmón (figura 4.4).

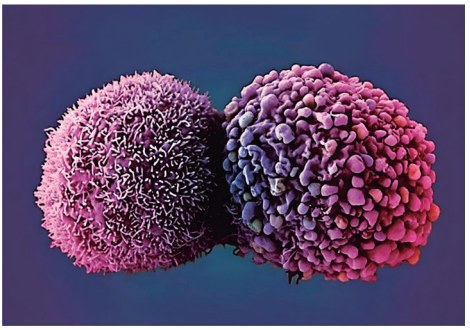


Fig. 4.4 Microfotografía electrónica de barrido a color de dos células de cáncer de pulmón

Reflexiona

¿Por qué ocurre esto, si los procesos de división celular son imprescindibles en la reproducción y desarrollo de los organismos?

Para responder la pregunta anterior es necesario profundizar en cómo ocurren los procesos de división celular, que son la base de la reproducción y el desarrollo de todos los organismos.

El desarrollo de la vida de las células atraviesa por diferentes transformaciones que van desde su nacimiento, como resultado de la división de otra célula; su crecimiento, por el aumento del volumen y la complejidad; su reproducción, como resultado de la división celular, o su muerte por la acción de factores ambientales o internos. Tanto las células procariotas como los eucariotas tienen ciclos de crecimiento, replicación del ADN y división, lo que constituye su ciclo celular.

El ciclo celular es un conjunto ordenado de sucesos que conducen al crecimiento de la célula y la división en dos células hijas (figura 4.5).

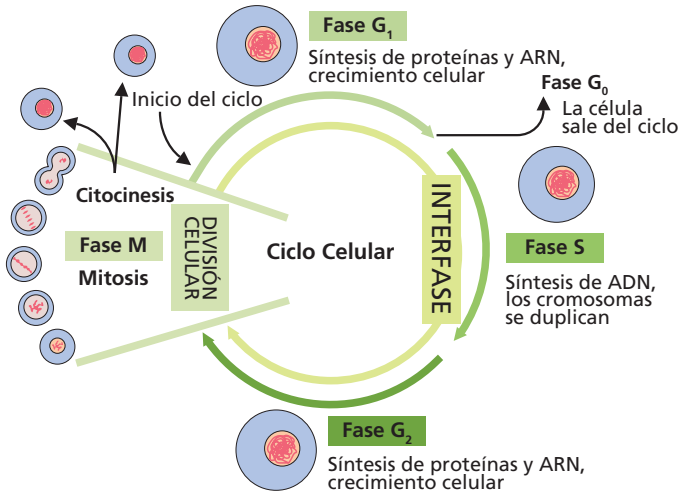


Fig. 4.5 Ciclo celular en células eucariotas

Buscando mayor detalle en el estudio de cada uno de los procesos del ciclo celular, estos han sido divididos en etapas, y estas a su vez en fases.

En las células eucariotas el ciclo celular es una sucesión de dos etapas fundamentales: la interfase y la división celular (figura 4.5). La comprensión de ambos procesos, es fundamental en el estudio de la reproducción y el desarrollo, tanto de organismos unicelulares como pluricelulares eucariotas, así como en su aplicación con fines productivos y conservacionistas.

La interfase es la etapa del ciclo celular que media entre dos divisiones celulares sucesivas, en la cual la célula crece, duplica su material genético y se prepara para una división celular.

Durante la interfase, el material nuclear se encuentra en forma de cromatina y no es posible distinguir a los cromosomas como entidades individualizadas; sin embargo el núcleo interfásico, es el escenario de una intensa actividad metabólica.

En la etapa de interfase se pueden distinguir tres fases: G_1, S y G_2 (G del inglés ***Growth*** que significa crecimiento, y S de ***Synthesis***). En la fase G_1 se produce crecimiento celular con síntesis de proteínas y de ARN. Durante la fase S ocurre la replicación del ADN, lo que trae como resultado la duplicación de las fibras de cromatina que constituirán a las cromátidas de los cromosomas. La tercera fase se denomina G_2 y en ella continúa la síntesis de proteínas y ARN. Al final de esta etapa ocurren cambios en la estructura celular.

Cuando las células cesan su crecimiento por diversos factores, se detienen en un punto tardío de la fase G_1. En algunos casos las células pasan de la fase G_1 a un estado especial de reposo llamado G_0, en el cual pueden permanecer durante días, semanas o años.

En las células animales se observa al microscopio que el centrosoma, formado por dos centriolos y el material que les rodea, se duplica y se forman dos centrosomas que se mueven hacia los polos opuestos de la célula, lo que permitirá más adelante durante la división, la formación del huso acromático.

Se considera que la interfase termina al iniciarse la condensación de la cromatina. Una vez finalizada la interfase, la célula con su material genético ya duplicado, entra en el proceso de división, en el que ocurren una serie de complejos eventos.

La división celular es la etapa del ciclo celular en la que la célula se multiplica en dos o cuatro nuevas células según el tipo de división, y los cromosomas se distribuyen hacia las células hijas.

En una división celular típica, la célula inicial divide su núcleo en dos núcleos hijos con la misma información genética. Este proceso se denomina cariocinesis. Al dividirse la célula, el citoplasma y los diferentes orgánulos celulares quedan repartidos; durante la posterior interfase se producirán nuevos orgánulos a partir de los que cada célula hija ha recibido. La división del citoplasma se denomina citocinesis.

En las células vegetales, que carecen de centriolos, el huso acromático se organiza a partir de una zona difusa y desprovista de orgánulos (la zona clara que se divide al comienzo de la profase), constituyéndose así los dos polos del futuro huso acromático.

De la historia

El famoso aforismo ***Omnis cellulae e cellula***, planteado por Rudolf Virchow (1821-1902), significa que "todas las células se originan de células preexistentes"; de esta forma estableció que la división celular era un proceso esencial de la reproducción de los organismos. Posteriormente Alexander Fleming (1843-1905) demuestra que esto ocurre mediante el proceso de mitosis, a partir de la observación hecha en 1879 de que cada cromosoma se dividía en dos, y de esa forma se transmitían de manera idéntica a los núcleos de las células hijas.

División celular por mitosis

Los procesos que ocurren durante la mitosis se pueden dividir para su estudio en cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase (figura 4.6).

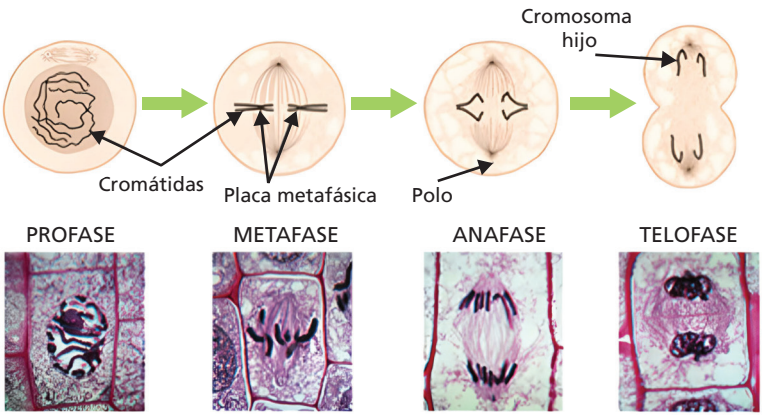


Fig. 4.6 Esquemas y microfotografías de las fases de la mitosis

En la profase, las fibras de cromatina comienzan a condensarse progresivamente transformándose en los cromosomas, que empiezan a hacerse visibles al microscopio óptico como delgados filamentos en el interior del núcleo. A medida que esta condensación progresa, los cromosomas se van haciendo más cortos y más gruesos, y se puede apreciar que están formados por dos cromátidas hermanas que permanecen unidas por el centrómero. Paralelamente, el nucléolo se va difuminando y termina por desaparecer.

Mientras esto sucede en el núcleo, en el citoplasma se va formando el huso acromático; este es un conjunto de fibras formadas por microtúbulos que se organizan en torno a ambos centrosomas, los cuales se van separando progresivamente hacia ambos polos de la célula.

En la parte final de la profase, la envoltura nuclear se rompe y sus membranas se van degradando progresivamente hasta hacerse indistinguibles. La desaparición de la envoltura nuclear permite que los cromosomas puedan interactuar con los microtúbulos del huso acromático, llegando a insertarse cada uno a través del centrómero, en una de las fibras del huso.

En la metafase los cromosomas se disponen en el plano ecuatorial de la célula constituyendo la llamada placa metafásica, y se produce la división de los centrómeros que mantenían unidas a las cromátidas hermanas de cada cromosoma. De este modo, las dos cromátidas hermanas de cada cromosoma metafásico se escinden, y dan lugar a dos cromosomas hijos. La división de los centrómeros marca el final de la metafase.

En la anafase, los cromosomas hijos (que anteriormente eran las cromátidas hermanas), se van desplazando progresivamente desde la placa ecuatorial hacia polos opuestos de la célula, arrastrados por los microtúbulos. Así se forman dos grupos idénticos de cromosomas hijos, en los que cada uno se desplaza hacia un polo opuesto del huso mitótico. El mecanismo molecular de producción de este desplazamiento, se basa en la polimerización y despolimerización de las subunidades de tubulina que forman los microtúbulos del huso mitótico. Hacia el final de la anafase, los cromosomas hijos alcanzan los polos opuestos del huso mitótico.

En la telofase, los dos grupos de cromosomas hijos, que se han constituido durante la anafase, dan lugar a los núcleos de las futuras células hijas. Los acontecimientos que tienen lugar durante la telofase son similares a los de la profase, pero transcurren en sentido inverso. Los cromosomas comienzan a desenrollarse haciéndose cada vez más largos y delgados, hasta que al final de la telofase se hacen indistinguibles, y adoptan el aspecto

característico de la cromatina interfásica; va apareciendo en cada núcleo hijo, un nucleolo que se forma a partir de unas regiones de determinados cromosomas, denominadas organizadores nucleolares. Las membranas del retículo endoplasmático se organizan alrededor de cada grupo de cromatina y reconstruyen las envolturas nucleares.

Mientras tanto en el citoplasma, los microtúbulos del huso mitótico se despolimerizan, haciéndose cada vez más tenues hasta desaparecer por completo. Con los últimos acontecimientos de la telofase concluye la mitosis, cuyo resultado es la obtención de dos núcleos hijos a partir del núcleo de la célula madre, con una dotación cromosómica completa.

Como completamiento del proceso de división celular ocurre la citocinesis, o división del citoplasma de la célula madre.

Finalmente como resultado de la mitosis, se producen dos nuevas células hijas diploides (2n) con igual número de cromosomas con respecto a una célula madre (2n), debido a que en la interfase el material genético se duplica (4n).

Las células resultantes de la mitosis entran en interfase, y en dependencia del tipo de célula, del tejido que formen y sus funciones, pueden volver a iniciar una división celular o mantenerse en interfase, de manera que la duración del ciclo celular es variable.

¿? ¿Sabías que...?

En dependencia del tipo de célula y de factores como la temperatura o los nutrientes disponibles, el ciclo celular puede requerir desde pocas horas hasta varios días hasta su completamiento. Por ejemplo:

- las células en la punta de una raíz del frijol se dividen cada 19 horas;
- las células embrionarias de mamíferos completan su ciclo celular en aproximadamente 24 horas;
- en el organismo humano, las células de la piel se dividen hasta una vez al día y las del recubrimiento estomacal se dividen todos los días.

Existen células cuyos ciclos celulares duran más de un año.

El ciclo celular es un proceso regulado, de manera que hay puntos de control en diferentes momentos: en los inicios de la replicación del ADN, de la división celular, y de la muerte celular. Estos procesos son muy complejos, por lo que serán estudiados con posterioridad.

En ocasiones las células escapan a los controles normales de división y muerte celular; la proliferación descontrolada de estas da origen al cáncer,

y este crecimiento desmedido, a la formación de masas tumorales. Las células de los tumores malignos (células cancerosas) pueden propagarse a tejidos circundantes, y a través de los vasos sanguíneos y linfáticos, a otras partes del cuerpo. La diseminación de células cancerosas fuera de sus sitios originales se denomina metástasis.

Reflexiona

Las sustancias tóxicas contenidas en el humo del tabaco pueden dañar o cambiar el ADN de las células; esto influye en la regulación del ciclo celular, provocando descontrol de las divisiones mitóticas y cáncer. El sistema inmunitario normalmente reconoce como extraña a una célula transformada y la destruye; pero estas sustancias tóxicas debilitan dicho sistema de defensa y hacen más difícil la destrucción de las células cancerosas. ¿Qué harás entonces, cuando alguien te invite a fumar?

Como resultado de la mitosis se logra la distribución equitativa e idéntica de la información genética entre las células hijas, por lo que esta es la base de la reproducción asexual de los organismos tanto unicelulares como pluricelulares eucariotas. La mitosis posibilita la formación de nuevas células durante el desarrollo embrionario, y el crecimiento de los organismos pluricelulares, así como el recambio de células en los tejidos, la cicatrización de heridas, y la **regeneración**.

División celular por meiosis

En los organismos con reproducción sexual ocurre fecundación, y con ella, la fusión de la información genética de dos células. Por ejemplo, en la especie humana hay un número diploide (2n=46) de cromosomas, es decir 23 pares de cromosomas.

Reflexiona

Si los gametos se formaran por mitosis, ¿qué ocurriría con el número de cromosomas del cigoto formado de la unión de dos gametos con 23 pares de cromosomas cada uno? Al ocurrir la fusión de estos gametos por fecundación se formaría un cigoto con 92 cromosomas, y por lo tanto las células del embrión tendrían el doble de cromosomas de la especie. ¿Qué consecuencias tendría esto en el individuo resultante y en la población?

En la formación de los gametos ocurre la división celular por meiosis, en la que se reduce a la mitad el número de cromosomas de la especie. De esta manera, en los organismos con reproducción sexual al ocurrir la fecundación, se restablece el número de cromosomas de la especie, y así este se mantiene constante de generación en generación (figura 4.7).

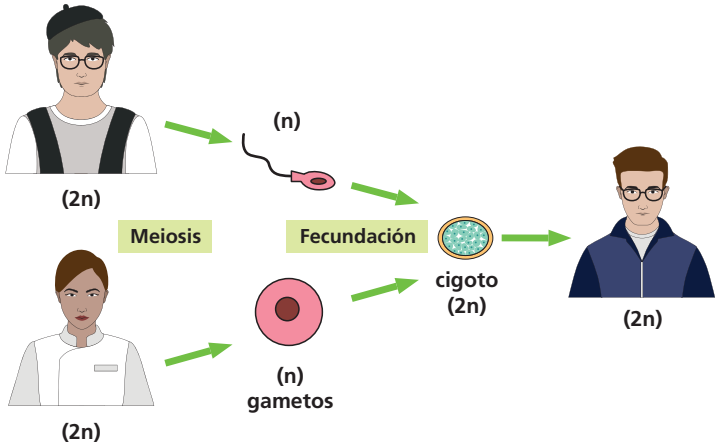


Fig. 4.7 Relación entre la meiosis y la fecundación

La meiosis, al igual que la mitosis, es precedida por la replicación del ADN en la interfase. Sin embargo, esta replicación va seguida por dos divisiones celulares consecutivas denominadas meiosis I y meiosis II. Estas divisiones sucesivas dan origen a cuatro células hijas, cada una con la mitad del número de cromosomas de las células progenitoras (figura 4.8).

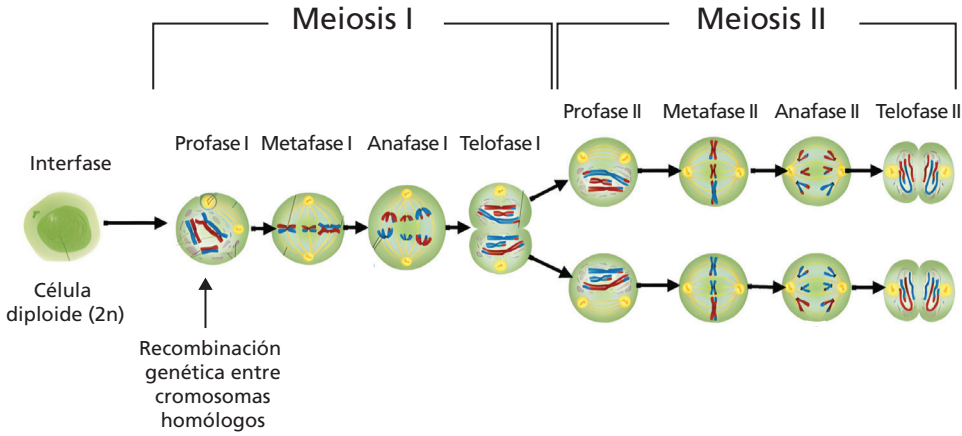


Fig. 4.8 Fases de la meiosis

La primera división meiótica es la más larga y compleja. En ella se producen tres acontecimientos importantes: el apareamiento de cromosomas homólogos, la recombinación genética, y la separación de los cromosomas homólogos.

La profase de la primera división meiótica, denominada profase I, es más larga y compleja que la de la división mitótica. En esta suceden los dos primeros acontecimientos más característicos de la meiosis antes citados. La envoltura nuclear se conserva hasta el final de la fase, que es cuando se desintegra, al mismo tiempo desaparece el nucléolo y se forma el huso acromático. En esta fase los cromosomas homólogos se aparean en determinados puntos; este apareamiento puede comenzar bien por el centro, o por los extremos, y continuar a todo lo largo del cromosoma.

Los pares de cromosomas homólogos estrechamente unidos se denominan tétradas, están formados por cuatro cromátidas. Al microscopio es posible observar que cada cromosoma tiene sus dos cromátidas. Mientras están estrechamente unidos en tétrada, entre los cromosomas homólogos puede ocurrir un intercambio de segmentos. Este intercambio se llama entrecruzamiento genético o ***crossing-over***, en el cual ocurre una redistribución cromosómica del material genético. Por último, se degrada la envoltura nuclear y los cromosomas se liberan en el citoplasma, donde interactúan con las fibras del huso acromático que se ha ido formando a lo largo de toda la profase.

En la metafase I los cromosomas migran hacia el plano ecuatorial de la célula dando lugar a la placa metafásica, la cual a diferencia de lo que ocurre en la mitosis, está formada por pares de cromosomas homólogos y no por cromosomas individuales.

En la anafase I se separan definitivamente los pares de cromosomas homólogos, y los dos miembros de cada par son arrastrados hacia polos opuestos del huso acromático, debido a la tracción ejercida por los microtúbulos. Se forman así, en las inmediaciones de los respectivos centrosomas hijos, dos grupos de cromosomas hijos, y cada uno de ellos incluye una dotación haploide completa (n).

La telofase I incluye la descondensación de los cromosomas, la desaparición del huso acromático, y la reconstrucción de las envolturas nucleares, lo que da lugar a los dos núcleos hijos. Con la citocinesis, que sigue a la telofase I, culmina la primera división meiótica.

Como resultado de la primera división meiótica cada una de las dos células hijas ha recibido una serie completa de cromosomas homólogos, es decir, una dotación haploide (n). Como vimos, en la anafase I de la primera división meiótica se han separado cromosomas homólogos, y no cromátidas hermanas como ocurre en la mitosis, por lo tanto, las dos células hijas que resultan de la primera división meiótica contienen cromosomas hijos formados por dos cromátidas. Entre la primera y la segunda división meiótica no ocurre replicación del ADN, por lo que muchos autores consideran que no ocurre una interfase.

La segunda división meiótica es prácticamente idéntica a una división mitótica, con la diferencia de que se parte de células con dotación cromosómica haploide. La profase II es muy breve, e incluye la desintegración de la envoltura nuclear y la formación del nuevo huso acromático; el grado de condensación de los cromosomas, que no han llegado a desenrollarse por completo durante la telofase I, vuelve a aumentar progresivamente.

En la metafase II los cromosomas se alinean formando la placa metafásica. Una vez divididos los centrómeros, las dos cromátidas hermanas de cada cromosoma, transformadas ya en cromosomas hijos, emigran durante la anafase II hacia polos opuestos de la célula.

En la telofase II se reconstruyen los núcleos de las nuevas células hijas, a lo que le sigue la citocinesis o división del citoplasma. De este modo culmina la división meiótica, en la que a partir de una célula diploide se obtienen, mediante dos divisiones sucesivas, cuatro células reproductoras haploides (estos son los gametos o las meiosporas), (figura 4.8).

La meiosis tiene gran significado en la naturaleza porque en primer lugar, permite la reducción del número de cromosomas, con lo que se obtienen células haploides. El hecho de que esta ocurra en determinados momentos de la reproducción sexual permite que se mantenga constante el número de cromosomas de cada especie. También, la meiosis es una de las causas de la variabilidad genética, pues mediante el entrecruzamiento genético se pueden formar nuevas combinaciones de genes en los cromosomas. Por otra parte, cada una de las cuatro células finales, dispone de un conjunto de n cromátidas que no es idéntico al de las otras. Como la distribución de las cromátidas durante la anafase II ocurre aleatoriamente, es decir al azar, se incrementa la variabilidad, pues cada una de las cuatro células resultantes tendrá una combinación diferente de genes.

Al observar la figura 4.9 se pueden constatar las semejanzas y diferencias que existen entre la mitosis y la meiosis. En la mitosis ocurre una sola división celular y se obtienen dos células hijas iguales entre sí, por lo que se mantiene el número de cromosomas de la célula progenitora; mientras que en la meiosis ocurren dos divisiones y se obtienen cuatro células hijas haploides (n), que contienen la mitad de la información genética es decir, el número de cromosomas se encuentra reducido a la mitad. Además, como resultado del entrecruzamiento que ocurre en la profase I y la distribución aleatoria de las cromátidas en la segunda división meiótica, se pueden producir células con variabilidad genética entre ellas; mientras que en la mitosis, las dos células resultantes tienen las mismas características, no manifiestan variabilidad, por lo que se les llaman clones.

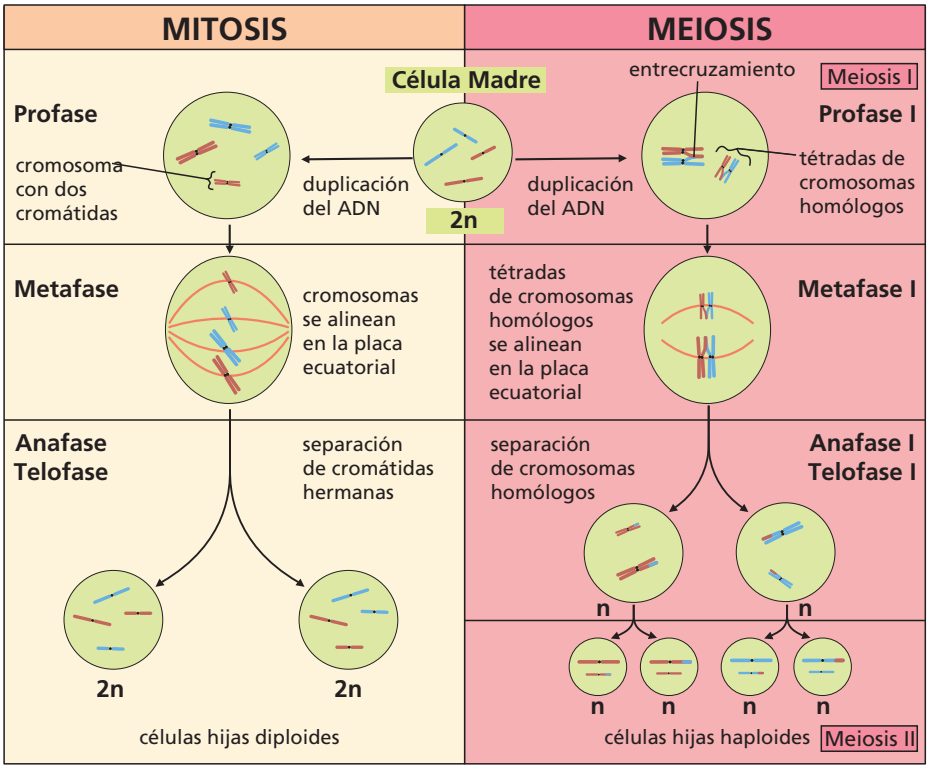


Fig. 4.9 Modelos generales de la mitosis y la meiosis

El estudio del ciclo celular y de las divisiones por mitosis y meiosis, es fundamental para que puedas comprender las bases celulares de la reproducción,

cómo se transmiten las características hereditarias, y se perpetúa la vida. También has podido analizar su relación con el origen del cáncer, pero sobre este aspecto continuaremos profundizando en otros capítulos y epígrafes, en los que podrás conocer importantes aplicaciones de estos conocimientos.

Comprueba lo aprendido

1. La interfase es la etapa que media entre dos divisiones celulares sucesivas. Algunos autores la han considerado como una etapa de "reposo". ¿Estás de acuerdo con estas consideraciones? Justifica tu respuesta.

2. Luego de la unión de las células sexuales que dan origen a un organismo pluricelular de reproducción sexual, las células somáticas comienzan a reproducirse y organizarse rápidamente en la conformación de los sistemas. Entre las opciones que te damos a continuación, selecciona en qué consiste el proceso de formación de estas células somáticas:

__ unión de dos células maternas con igual cantidad de información genética;
__ división de una célula materna, que origina dos células hijas con la misma información genética;
__ unión de una célula paterna y una célula materna, con la misma información genética, o
__ división de una célula materna, que origina dos células hijas con la mitad de la información genética.

3. En la siguiente microfotografía (figura 4.10), identifica las fases de la mitosis en las células señaladas con letras.

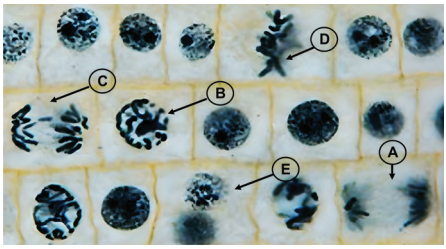


Fig. 4.10 Microfotografía de un corte de tejido meristemático de una raíz de cebolla

4. Compara los procesos de división celular por mitosis y por meiosis en cuanto a número de divisiones, resultados del proceso, e importancia biológica.

5. Durante el proceso de mitosis en una célula humana, las cromátidas de un cromosoma no se separaron, y aun así se realizó la migración hacia los polos. En consecuencia, una cromátida y su copia migraron hacia uno de los polos. Selecciona la respuesta que muestre correctamente qué número de cromosomas se esperaría obtener al final de la división celular en las dos células hijas:
__ 47 cromosomas cada una;
__ una con 46 cromosomas y otra con 47;
__ 46 cromosomas cada una, o
__ una con 45 cromosomas y la otra con 47.

6. Explica por qué las células somáticas de una jutía, se dividen por mitosis durante su desarrollo individual y sus células germinales por meiosis.

7. Argumenta la importancia de estos procesos de división celular en la vida y en el mantenimiento de las especies con dos razones en cada caso.

4.3 Las diversas formas de reproducción de los organismos han posibilitado su adaptación a las variadas condiciones del medio ambiente

El conocimiento sobre cómo ocurre la mitosis durante el crecimiento de los tejidos, es básico para el desarrollo de la técnica de cultivos ***in vitro*** de plantas. Mediante esta tecnología se separa una parte del vegetal y se cultiva en un medio aséptico con condiciones ambientales controladas. Esta técnica permite la multiplicación de clones de plantas de alto valor genético y agronómico, mucho más resistentes a plagas y enfermedades, y de mayores rendimientos respecto a las tradicionales, por lo que constituye prioridad del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) a fin de incrementar la producción de alimentos, hacerle frente al cambio climático, y conservar la agrobiodiversidad.

Reflexiona

- ¿Por qué las plantas obtenidas por cultivo in vitro son clones, es decir, idénticas a la progenitora?
- Si se acepta la aplicación de tecnologías de clonación de plantas, ¿por qué supone un riesgo utilizarlas en animales y seres humanos?
- ¿Cuáles son las implicaciones bioéticas de la clonación de animales y en los humanos?

Para dar respuestas adecuadas a estas preguntas, es necesario que conozcas la diversidad de formas de reproducción que existen en la naturaleza, y las adaptaciones que se han desarrollado como resultado de la evolución; solo así podrás reconocer los posibles riesgos y beneficios que tiene la aplicación de las tecnologías derivadas del conocimiento biológico, como los cultivos ***in vitro*** o la clonación en animales y humanos. Profundizar y valorar su posible impacto en la naturaleza y la sociedad, te permitirá adoptar decisiones en el futuro que no afecten ni el equilibrio ambiental, ni el bienestar humano.

4.3.1 ¿Qué adaptaciones poseen los organismos que se reproducen de manera asexual?

Si observas detenidamente un sembrado de plátano o piña desarrollado mediante la tecnología de cultivo ***in vitro***, notarás que todas las plantas tienen las mismas características anatómicas, sin embargo cuando se realizan los cultivos mediante semillas de plantas como los frijoles, suelen apreciarse diferencias, ¿a qué se debe esto? En esto están involucradas las diferentes formas de reproducción. En este epígrafe comenzarás a profundizar en la reproducción asexual.

La reproducción asexual es la multiplicación del número de organismos con las mismas características hereditarias de los progenitores. En este tipo de reproducción solo interviene un individuo que se divide en dos o más descendientes, y no existen células sexuales especializadas o gametos. Generalmente, en cortos períodos de tiempo produce gran cantidad de descendientes idénticos al progenitor, por lo que este tipo de reproducción tiene gran importancia en la perpetuación de las especies.

En la naturaleza existen dos formas de reproducción asexual: vegetativa y por esporas, en ambos casos producidas por mitosis.

En la reproducción asexual vegetativa se desarrollan nuevos individuos a partir de una parte del cuerpo del progenitor, por lo que la descendencia posee las mismas características genéticas de este (figura 4.11). Este tipo de reproducción produce un mayor número de descendientes en cortos períodos de tiempo, y proporciona una mayor velocidad de propagación.

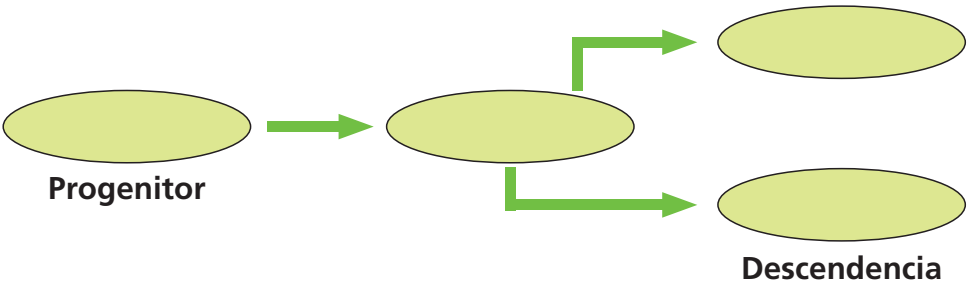


Fig. 4.11 Modelo de la reproducción asexual vegetativa

Esta forma de reproducción puede realizarse en la naturaleza de diversas formas: bipartición, gemación, fragmentación, y otras propias de algunas plantas, que se presentan a continuación.

La bipartición es propia de organismos unicelulares eucariotas, ocurre cuando la célula se divide en dos mediante mitosis y cada una origina a un individuo.

En algunos organismos unicelulares como las levaduras, y en ciertos organismos pluricelulares como las esponjas, la hidra verde y otros celenterados, ocurre la gemación. En esta el organismo adulto, ya sea unicelular o pluricelular, produce una yema que crece y luego se desprende, dando lugar a un nuevo individuo independiente.

A la formación de nuevos individuos a partir de fragmentos de organismos que ya existían, se le llama reproducción por fragmentación. Esto ocurre, bajo condiciones favorables, en algas filamentosas como la ***Spirogyra***, que se fragmentan en porciones menores y originan nuevos filamentos; también se reproducen por fragmentación muchas algas marinas y líquenes.

En las plantas se desarrollaron durante el proceso evolutivo, adaptaciones especializadas en la reproducción vegetativa, como los bulbos,

bulbillos, tubérculos y rizomas. Estos se presentan en musgos, helechos y plantas con flores (figura 4.12).

Bulbos de la cebolla

Estolones en la planta de fresa

Rizoma de la planta de mariposa

Tubérculos de la papa

Fig. 4.12 Diversidad de adaptaciones especializadas en la reproducción vegetativa

Los seres humanos han aplicado los conocimientos sobre la reproducción vegetativa en el desarrollo de las tecnologías agrícolas, por lo que se reconoce la existencia de la reproducción asexual vegetativa artificial. En este caso se emplean partes del cuerpo de las plantas, que posean yemas, en las que se encuentra el tejido embrionario o meristemático. De esta forma, se pueden emplear fragmentos de tubérculos en el cultivo artificial de la papa, bulbos para propagar el ajo, y rizomas en la propagación del plátano. Estas aplicaciones son de gran relevancia tanto en el desarrollo de

la agricultura destinada a la alimentación humana, como en la jardinería y la conservación de la biodiversidad vegetal.

Aplicación práctica

La producción de vitroplantas se basa en la propiedad que tienen los vegetales de regenerar una planta completa a partir de un fragmento de tejido meristemático, y en la aplicación de conocimientos sobre la mitosis, la nutrición en plantas, y la regulación fitohormonal. Con el objetivo de contribuir a la seguridad alimentaria, las biofábricas de Cuba trabajan en la producción masiva de vitroplantas, mediante procedimientos que permiten la clonación de variedades de caña de azúcar, boniato, papa, piña, y plátano, entre otros cultivos de alto valor genético.

La tecnología de producción de vitroplantas impacta también en la conservación de la biodiversidad. Investigadores del Instituto de Biotecnología de las plantas de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, el Centro de Bioplantas de Ciego de Ávila, y del Instituto Nacional Forestal (INAF), han realizado estudios sobre la propagación de especies forestales como: pino macho (***Pinus caribaea***), caoba cubana (***Swietenia mahagoni***), majagua (***Hibiscus elatus Sw.***), entre otras. Estas investigaciones tienen gran importancia en las labores de reforestación y restauración de ecosistemas de bosques en nuestro país.

En Cuba existen muchas instituciones que emplean las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, entre estas se destaca el Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal de la Universidad de Granma, donde se investiga en la conservación ***in vitro*** de cacao (***Theobroma cacao L.***), ñame (***Dioscorea sp.***), boniato (***Ipomoea batata*** (L.) Lam), y plantas medicinales.

La reproducción asexual puede constituir una adaptación de algunos animales sésiles que no pueden moverse en la búsqueda de parejas. En los animales que se mueven, la reproducción asexual puede ser una ventaja cuando la densidad de la población es baja y no se dispone de parejas con facilidad.

En la reproducción asexual por esporas se desarrollan nuevos individuos a partir de formaciones especiales denominadas esporas, que se desarrollan en determinadas condiciones durante la vida de algunos organismos, como ocurre en los hongos. En esta, la descendencia posee las mismas características hereditarias del progenitor (figura 4.13).

Fig. 4.13 Modelo de la reproducción asexual por esporas

Las esporas son células protegidas por una cubierta resistente, esto constituye una adaptación que les permite su propagación en distintas condiciones ambientales; debido a su gran flotabilidad pueden ser diseminadas fácilmente por el aire, y germinar al ponerse en contacto con sustratos con condiciones favorables, como el pan húmedo y los vegetales o frutas muy maduras.

Muchos hongos, incluso aquellos que tienen ciclos sexuales, pueden formar esporas de forma vegetativa, es decir, sin proceso sexual. De hecho, se reproducen asexualmente con más frecuencia de lo que lo hacen sexualmente. Las esporas vegetativas llamadas conidios, se forman en los extremos de hifas fértiles. Los conidios son esparcidos por el viento y pueden resistir condiciones de calor, frío y desecación; cuando las condiciones vuelven a ser adecuadas, estos dan lugar a hifas que se ramifican y forman el micelio.

Este tipo de reproducción es de gran importancia en estos organismos, ya que las características de las esporas posibilitan su diseminación en distintos ambientes y una amplia dispersión geográfica de las especies.

4.3.2 ¿Qué ventajas adaptativas se manifiestan en los organismos que realizan reproducción sexual?

En la agricultura, con el objetivo de obtener nuevas variedades con mayor productividad y resistencia a las plagas y enfermedades, se realizan cruzamientos entre progenitores de la misma especie que presenten variaciones de la característica que se estudia; después se seleccionan las semillas de los descendientes de esta reproducción sexual, que expresen las características deseadas para su cultivo.

Reflexiona

- ¿Por qué en la reproducción sexual se manifiesta variabilidad en la descendencia y cuáles son sus ventajas evolutivas?

- ¿Cómo ha sido aprovechado por la humanidad el conocimiento de esta forma de reproducción?
- ¿Es posible obtener clones de organismos de reproducción sexual que sean exactamente iguales a los progenitores?

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 existen recombinación de la información genética (figura 4.14).

Los organismos que se reproducen de forma sexual manifiestan variabilidad en la descendencia, lo cual es resultado de la meiosis y la fecundación, mientras que los que se multiplican de manera asexual son clones de sus progenitores.

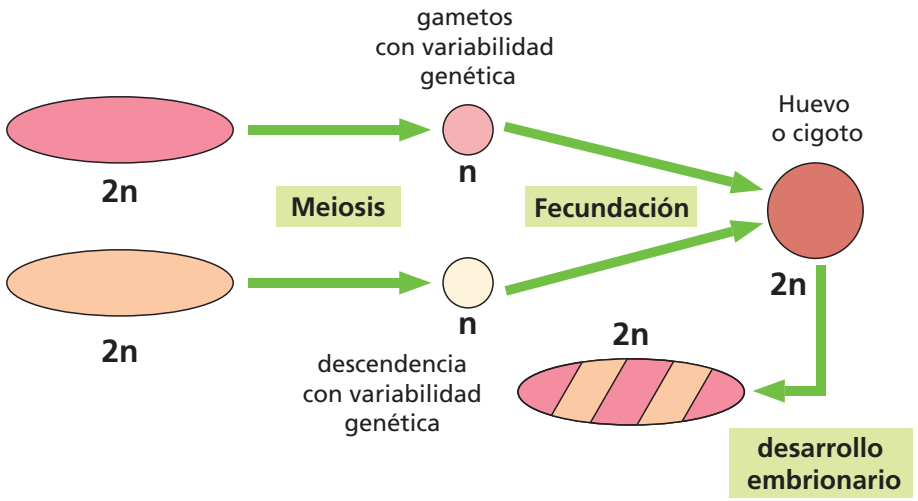


Fig. 4.14 Modelación de los procesos esenciales de la reproducción sexual

La reproducción sexual está relacionada con la formación de gametos y de esporas haploides a partir de la meiosis, en la que el número de cromosomas en las células resultantes, se reduce a la mitad.

En la fecundación, otro proceso indispensable, se unen dos gametos haploides (n) y se forma un huevo o cigoto (2n), restableciéndose así el

número de cromosomas de la especie. De ahí que la meiosis y la fecundación sean procesos cuyos efectos se compensan entre sí. La mayoría de las plantas terrestres producen esporas haploides (n); los animales, gametos también haploides (como resultado de la división celular por meiosis) que forman parte de los procesos de reproducción sexual.

¿? ¿Sabías que...?

Los gametos pueden ser iguales en tamaño y movilidad y se llaman isogametos, como ocurre en el moho del pan y otros hongos. Los gametos de sexos diferentes se llaman heterogametos y existen en musgos, helechos y otras plantas, también en animales; ejemplos de estos últimos son el espermatozoide y el óvulo humanos.

En la reproducción sexual generalmente participan dos progenitores, por lo que en la formación de los nuevos individuos se producen nuevas combinaciones de genes. Este proceso ocurre en dos momentos fundamentales: el primero, en la primera división meiótica, en la que se produce el entrecruzamiento genético durante la formación de los gametos; el segundo momento ocurre como resultado de la fecundación, al unirse la información genética de los dos progenitores, originando individuos con nuevas combinaciones de caracteres.

La reproducción sexual proporciona importantes ventajas pues transmite mayor variabilidad genética a la descendencia, lo que aumenta las posibilidades de adaptación de estos organismos ante los cambios del medio ambiente. Por esta razón, se puede considerar que el origen de la reproducción sexual constituye un hito evolutivo que permitió la diversificación de los sistemas vivientes.

Las adaptaciones reproductivas en los organismos aseguran una descendencia más numerosa de la especie, y esto contribuye a la llegada de mayor número de individuos a la madurez reproductiva. Una de estas adaptaciones suele ser el alternar una reproducción asexual con reproducciones sexuales.

En la naturaleza, la fecundación y el desarrollo embrionario ontogenético solo ocurren si las condiciones ambientales son adecuadas. En algas, musgos y helechos, también en muchos animales, el agua es imprescindible en el proceso de fecundación y por ende, en la reproducción.

Durante el proceso evolutivo, en algunos organismos se desarrollaron órganos especializados que les permitieron reproducirse con independencia del medio acuático. Por ejemplo, en las coníferas y las angiospermas, la fecundación ocurre sin necesidad del agua, pues en estas plantas se ha diferenciado el tubo polínico, que permite el traslado del gameto masculino hasta el gameto femenino por el interior de los órganos reproductores.

Los órganos formadores de esporas haploides protegidas por los conos, constituyeron en las plantas coníferas adaptaciones reproductivas al ambiente terrestre: las macrosporas forman las ovocélulas u óvulos, y las microsporas forman las espermátidas o espermatozoides. En la mayoría de las gimnospermas, el gametofito masculino ha logrado la total independencia del medio acuático, y al ser inmóvil por no presentar flagelos, es transportado por el tubo polínico directamente hasta la ovocélula u óvulo, al que poliniza y fecunda formando el cigoto. Las sustancias de reserva de la semilla se derivan del gametofito femenino (figura 4.15).

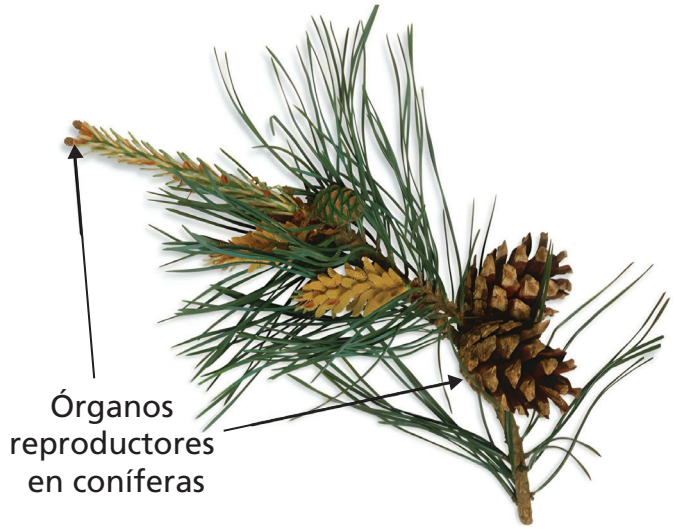


Fig. 4.15 Órganos reproductores en coníferas

En las angiospermas, las flores son órganos de gran valor adaptativo y evolutivo, pues su función es la de producir semillas que proporcionan la perpetuación y propagación de las especies. En estas se manifiesta una gran diversidad y una estructura compleja, pero poseen un patrón

organizacional común que permite la producción de gametos, su protección, polinización y fecundación. En los estambres de las flores ocurre la formación de la microspora masculina o grano de polen, y en el ovario la macrospora (figura 4.16).

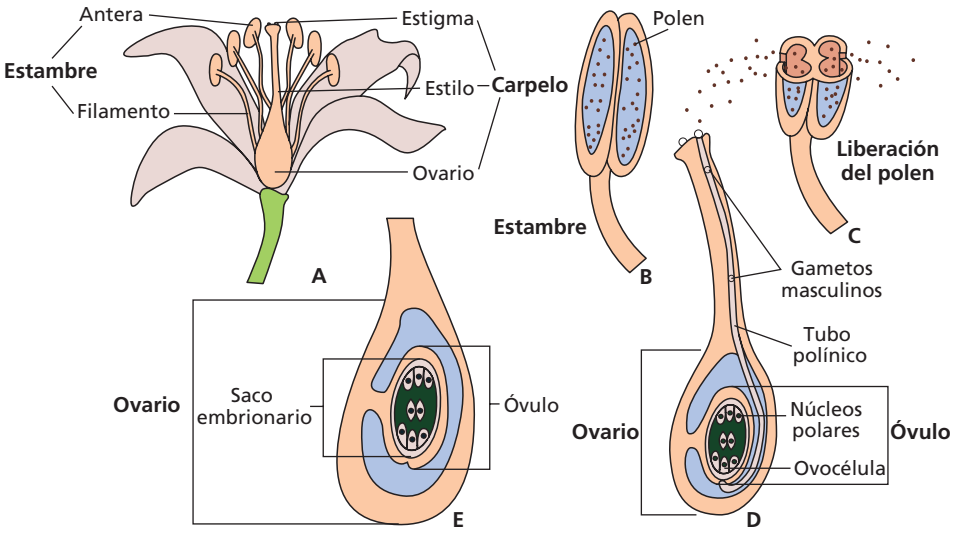


Fig. 4.16 Polinización en plantas angiospermas

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 otros componentes de la estructura floral son adaptaciones que contribuyen a la polinización, debido a que por su color, tamaño y olor, atraen insectos y otros animales polinizadores. Esta característica de las flores ha traído como consecuencia que este tipo de plantas haya prevalecido durante el proceso evolutivo como resultado de la selección natural.

En el estigma de la flor se encuentran algunas sustancias azucaradas y viscosas a las que quedan adheridos los granos de polen; ahí se inicia la germinación, que es regulada por diferentes fitohormonas como las auxinas. En este proceso el tubo polínico se abre paso por el interior del estilo, desde el estigma hasta el ovario, donde se encuentra con el saco embrionario (figura 4.17). En este se produce la fecundación, es decir, la unión de la célula sexual masculina con la célula sexual femenina (óvulo).

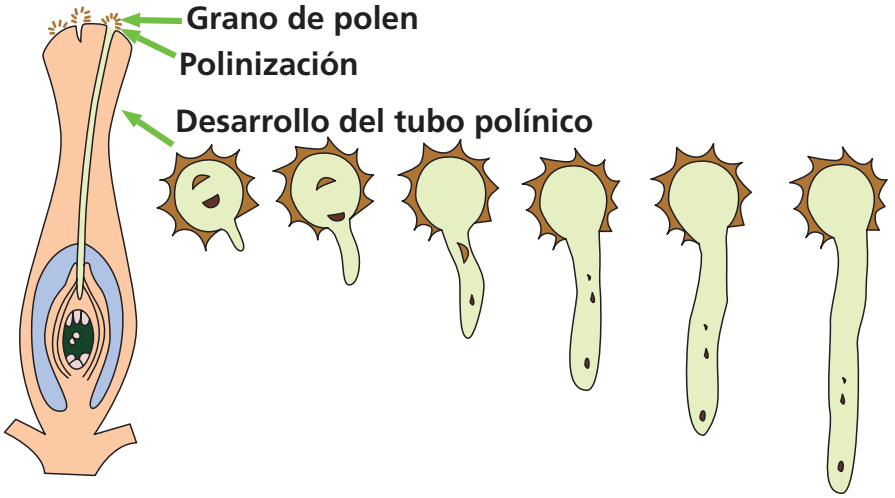


Fig. 4.17 Desarrollo del tubo polínico

Como resultado de la fecundación se forma el cigoto, y de este, el embrión de la semilla, que se convierte en un esporofito con una raíz rudimentaria y una o dos hojas. El núcleo de la célula central del gametofito femenino se divide repetidamente por mitosis y forma el endospermo, un tejido rico en almidón y otras reservas alimentarias. El ovario se transforma en fruto, mientras que sus óvulos se convierten en semillas. Estas últimas son esparcidas, y si las condiciones ambientales son favorables, pueden germinar. En la germinación, la cubierta de la semilla se rompe y el embrión emerge como una plántula, en esto se utiliza el alimento almacenado en el endospermo y los cotiledones de la semilla.

Las condiciones ambientales ejercen una gran influencia sobre los ciclos reproductivos de las plantas, muchas plantas con flores son sensibles a cambios en las cantidades relativas de luz diurna y nocturna que acompañan a los cambios de estación, y florecen en respuesta a dichos cambios. Eso ocurre porque las variaciones en la iluminación constituyen señales desencadenantes de procesos que regulan los tropismos, el tiempo de floración, y el crecimiento y desarrollo.

Reflexiona

Como consecuencia de las alteraciones ambientales inducidas por el cambio climático, ha disminuido la densidad de algunas poblaciones de especies

de insectos, aves y murciélagos polinizadores, en las regiones tropicales de América. Las abejas son los insectos que por excelencia participan en la polinización, por lo que poseen una gran importancia económica y en la dinámica de los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas.

Las interacciones entre las plantas y los polinizadores son particularmente vulnerables ante el cambio climático, pues pueden desacoplarse si ambos elementos no responden de manera similar a los cambios ambientales. Puede pasar que algunas plantas florezcan en épocas diferentes a las que lo hacían, y que algunas especies de insectos emerjan de manera anticipada con respecto a la época del año en que normalmente esto sucedía. Esta situación trae afectaciones a la agricultura, y como consecuencia genera serios desequilibrios alimentarios y problemas de salud en los países de la región.

- ¿Qué opinas de esta situación?
- ¿Qué debemos hacer al respecto?

En muchos grupos de animales como esponjas, celenterados y platelmintos, se presentan reproducción sexual y asexual al mismo tiempo. En la medida en que los animales se hicieron más complejos durante el proceso evolutivo como resultado de la selección natural, la reproducción sexual se convirtió en la única forma de reproducción.

Las adaptaciones que permiten la reproducción sexual en los animales están relacionadas con la complejidad evolutiva alcanzada por cada especie, en correspondencia con las condiciones ambientales; de acuerdo con esto, se presentan formas de fecundación interna o externa. También el lugar donde se desarrolla el embrión determina que los animales sean ovíparos, ovovivíparos o vivíparos.

En la mayoría de los animales existen órganos especializados en la reproducción sexual: las gónadas, en las que se forman los gametos. A partir de los platelmintos, se desarrollaron organismos con sistemas de órganos especializados en la reproducción.

Existen especies hermafroditas (con los dos sexos en el mismo individuo) que se autofecundan, como las tenias y otros platelmintos; esto constituye una adaptación a la forma de vida parásita. Otros animales de mayor complejidad que los platelmintos y también hermafroditas, presentan una fecundación cruzada (entre individuos diferentes, se fecundan mutuamente). Esto se aprecia en los anélidos oligoquetos, como la lombriz de tierra (figura 4.18).

Fig. 4.18 Fecundación cruzada en la lombriz de tierra

Un hito evolutivo en la reproducción sexual lo constituye el desarrollo de organismos con sexos separados bien diferenciados, con órganos permanentes especializados en la reproducción, que les permiten adaptarse mejor a diferentes factores bióticos y abióticos del medio ambiente.

Muchos de los animales que viven en un ambiente acuático presentan fecundación externa, es decir, tanto las hembras como los machos expulsan los gametos al medio circundante, donde los espermatozoides se trasladan hacia los óvulos mediante el movimiento de sus colas, y los fecundan (figura 4.19).

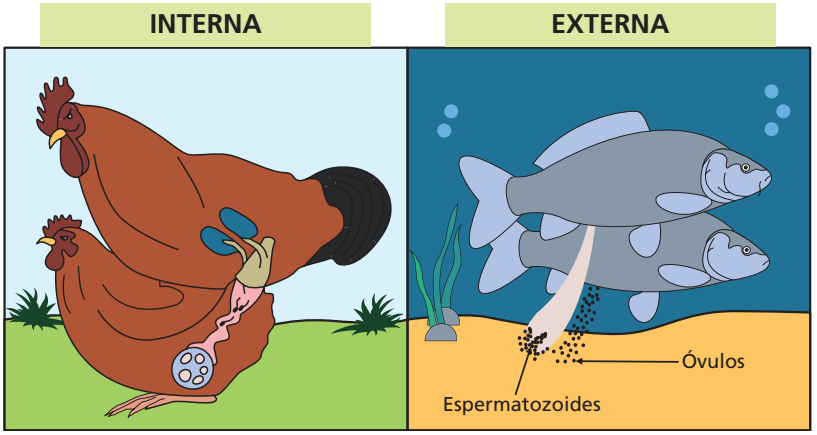


Fig. 4.19 Fecundación externa e interna

Existe una gran diversidad de formas de realización simultánea del desove y la eyaculación espermática, en el mismo lugar. Entre estas adaptaciones se puede citar la de algunas especies de peces, en los que la expulsión de los gametos se efectúa como respuesta a una serie de conductas más complicadas que se conocen con el nombre de cortejo.

En el ambiente terrestre, en el que el medio aéreo es predominantemente seco, la reproducción requirió de adaptaciones especiales que le permitieran el encuentro entre los gametos de ambos sexos. El surgimiento de la fecundación interna, acompañada de otras adaptaciones (como los órganos copuladores y la producción de un medio líquido y nutritivo: el semen, que facilita el movimiento de los espermatozoides), hicieron posible la conquista de la superficie terrestre por los animales.

La mayoría de los animales terrestres, algunos acuáticos como los tiburones, y ciertos reptiles, poseen fecundación interna. Las conductas de cortejo presentes en algunas especies antes de la cópula, pueden ser consideradas adaptaciones desarrolladas durante la evolución, ya que permiten identificar a individuos de la misma especie, como sucede con el canto de muchas aves.

Aplicación Práctica

Los conocimientos sobre la reproducción sexual tienen importantes aplicaciones en la ganadería, para garantizar la seguridad alimentaria, y en la conservación de la biodiversidad. Se aplican en el control y manejo reproductivo, la inseminación artificial, la transferencia de embriones, y la fertilización ***in vitro*** de especies de interés económico, como el ganado vacuno. Un ejemplo de ello lo tenemos en la aplicación de los conocimientos sobre la regulación endocrina de la reproducción, que trajo como resultado el perfeccionamiento de las tecnologías de estimulación de la superovulación, y con ello se hizo mucho más efectivo el uso de la inseminación artificial y la transferencia de embriones. De esta forma se pueden aplicar métodos de selección y mejoramiento genético que vas a estudiar con posterioridad.

La reproducción sexual origina una gran variabilidad en la descendencia, pues la fecundación de los gametos da lugar a nuevas combinaciones de los genes aportados por los progenitores. Esto

asegura la biodiversidad, y permite el desarrollo de adaptaciones que pudieran permitir la supervivencia ante posibles cambios del medio ambiente, constituyendo una fuente de variabilidad genética durante la evolución.

Aunque en la naturaleza solo a través de la reproducción asexual se pueden obtener descendientes iguales genéticamente entre sí (clones), los avances de la ciencia y la innovación biotecnológica, han permitido el desarrollo de técnicas de clonación de especies que naturalmente se reproducen de forma sexual.

De la historia

En 1997, un equipo de investigadores escoceses dirigido por Iam Wilmut, logró por primera vez la clonación de un mamífero, la oveja Dolly, a partir de células somáticas de su progenitora (figura 4.20).

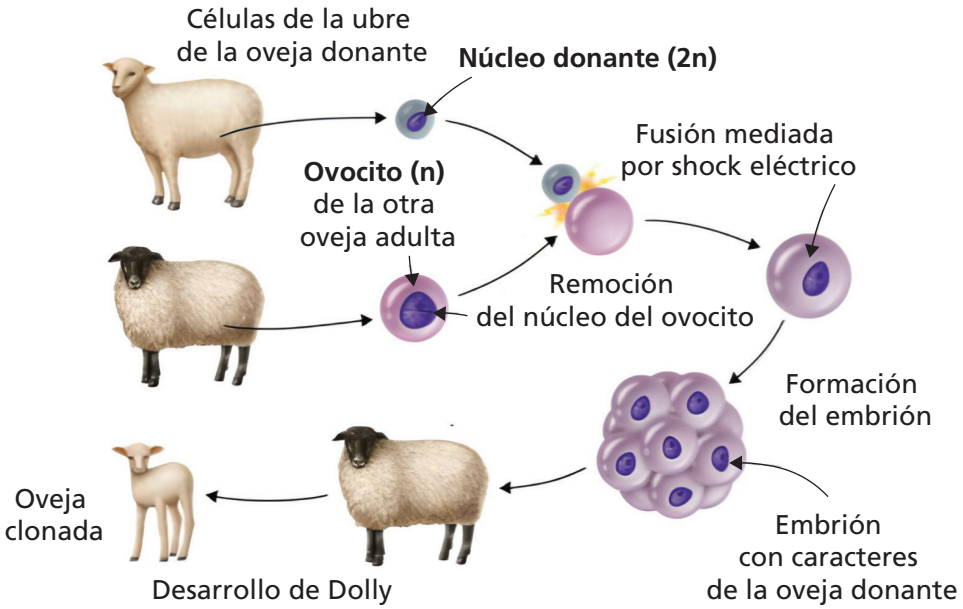


Fig. 4.20 Proceso de clonación de la oveja Dolly

En el procedimiento de la clonación de la oveja Dolly se tomaron células de la glándula mamaria de una oveja blanca de seis años, mediante la técnica de biopsia. Estas células se cultivaron ***in vitro*** y se colocaron

durante cinco días en un medio de cultivo, al cabo de los cuales se extrajo el material genético de una de ellas y se introdujo en un óvulo no fecundado y enucleado, de una oveja de cabeza negra. Mediante diferentes procedimientos, como la aplicación de impulsos eléctricos, se activó el inicio de la división celular por mitosis de la célula formada con el material genético de la oveja de cabeza blanca.

Dolly se desarrolló normalmente hasta que empezó a manifestar síntomas de envejecimiento a una edad aún temprana y falleció. En la actualidad se ha logrado la clonación de cerdos, conejos, ganado vacuno, entre otras especies, con el objetivo de obtener mejores resultados en el desarrollo de la ganadería, o de ser empleados como modelos en la investigación biomédica.

Entre los posibles beneficios de esta técnica se encuentra la posibilidad de su empleo en la conservación de especies en peligro de extinción y en la obtención (por parte de empresas farmacéuticas) de clones, que manipulados genéticamente, son útiles en la producción de medicamentos. Sin embargo, esta técnica aún posee tasas de éxito muy bajas y todavía los científicos están lejos de controlar con exactitud sus efectos, además de que se han observado muchos defectos y anomalías en los animales clonados.

Reflexiona

Con relación a la influencia de la aplicación de la clonación en la biodiversidad se han generado interrogantes bioéticas, pues la creación de hatos de clones de ganado, pudiera poner en riesgo la variabilidad genética que es fundamental en la conservación de las especies. Los futuros decisores deberán actuar con precaución y responsabilidad moral con relación a la aplicación o no de esta tecnología, considerar la importancia que tiene la biodiversidad en la naturaleza, y la que ha tenido la reproducción sexual en la evolución a lo largo de millones de años.

Por otro lado, preocupa la extensión de esta tecnología al ser humano, y sus implicaciones ante la posibilidad de que la clonación en humanos se convierta en una herramienta discriminatoria y de eugenesia; esta condenaría a nuestra especie a su desaparición, pues colocaría a la humanidad en una posición de indefensión frente al ataque de agentes patógenos, o frente a situaciones ambientales hostiles en la que es importante la variabilidad. ¿Qué opinas tú del desarrollo y aplicación de estas tecnologías?

Comprueba lo aprendido

1. Elabora un esquema lógico de contenidos en el que reflejes la relación entre los siguientes conceptos: reproducción, reproducción sexual y asexual, reproducción vegetativa, reproducción por esporas, evolución, adaptaciones y biodiversidad.

2. Establece las diferencias entre los dos tipos básicos de reproducción en cuanto a: número de progenitores que intervienen, características de la descendencia, ocurrencia o no de recombinación del material genético y ventajas adaptativas.

3. Compara las formas de reproducción asexual vegetativa, asexual por esporas y sexual, en cuanto a sus características, organismos que la presentan y ventajas adaptativas que proporcionan a estos organismos.

4. Explica cuáles son las causas por las que la reproducción sexual proporciona ventajas adaptativas.

5. En una actividad práctica se observó con el microscopio óptico la bipartición de un organismo unicelular. ¿Cómo debe ser la información genética de los descendientes en relación al progenitor?

6. En una actividad agrícola se sembró caña de azúcar a partir de fragmentos del tallo de la planta.

a) ¿En qué tipo de reproducción asexual se basa el desarrollo de esta técnica de cultivo?

b) Establezca una comparación entre las ventajas adaptativas de la reproducción asexual, y las de la sexual.

c) Explica por qué los procesos de mitosis y meiosis se compensan.

7. Durante la evolución se desarrollaron adaptaciones que permitieron el desarrollo de los procesos de regulación de la reproducción. Mediante un experimento se le extirpa la hipófisis a una rata y se observa alteración en la función reproductiva, entre otras afectaciones. ¿Qué explicación darías a estos resultados?

8. Ejemplifica tres adaptaciones presentes en organismos con reproducción sexual.

9. Argumenta qué importancia tienen los gametos en la reproducción sexual.

10. ¿Por qué se dice que los efectos de los procesos de meiosis y de fecundación se compensan?

11. El conocimiento de la reproducción de las especies permite determinadas aplicaciones en la práctica. Identifica el tipo de reproducción que se aplica en cada uno de los ejemplos siguientes y argumenta tu respuesta en cada caso.

__ En la caña de azúcar, a partir de la fragmentación de su tallo se obtienen numerosas estacas para la siembra.

__ En la reproducción de especies de importancia económica, como el camarón, la tilapia y el cerdo, se utilizan parentales seleccionados.

4.4 La reproducción y la sexualidad humanas son procesos regulados

Una de las principales consecuencias del consumo de alcohol es que bajo sus efectos se pueden adoptar conductas de riesgo que ponen en peligro la salud sexual y reproductiva, como las relaciones sexuales sin protección, que pueden provocar el contagio con una infección de transmisión sexual (ITS), o un embarazo no deseado. Por otro lado, se conoce que este hábito también provoca una disminución de la libido, y que es una de las posibles causas de infertilidad y disfunción eréctil.

Reflexiona

- ¿Por qué el alcohol puede afectar la salud sexual y reproductiva de las personas?
- ¿Qué medidas debemos tomar para disfrutar de una sexualidad sana y feliz?

Ya conoces que aunque en la especie humana la reproducción es sexual, esta presenta características distintivas de otras especies. En primer lugar, los

humanos somos seres biopsicosociales, lo que implica que en las relaciones que permiten la reproducción predominen las vivencias relacionadas con el amor, la sensualidad y la atracción entre los miembros de la pareja, y no se manifieste solamente el instinto animal. Otra diferencia esencial es la posibilidad de los seres humanos de planificar conscientemente su descendencia, de manera que no podemos estudiar la función de reproducción sin tener en cuenta todo lo que caracteriza la sexualidad humana.

La sexualidad es una manifestación de la personalidad relacionada con la reproducción, el placer erótico, y con la comunicación afectiva entre las personas, que se expresa en todas las esferas de la vida. Esta no es sinónimo de sexo con el sexo se nace, mientras que la sexualidad se desarrolla a partir de nuestras experiencias personales, de las influencias sociales; se experimenta, se siente y se vive, en correspondencia con nuestras propias perspectivas individuales.

En grados anteriores ya estudiaste diversos aspectos importantes de la sexualidad relacionados con el sexo, la identidad de género, y la orientación sexoerótica. La sexualidad se desarrolla y se expresa de diferentes maneras a lo largo de toda la vida. El amor, el afecto y la intimidad sexual son de gran importancia en las relaciones saludables, y también contribuyen con el bienestar y la calidad de vida.

Para poder asumir conductas sexuales responsables que permitan el disfrute de una sexualidad saludable y feliz, es importante recordar algunos aspectos ya estudiados sobre esta, las funciones de los diferentes órganos genitales que participan en la reproducción, y luego profundizar en cómo se regulan estos procesos.

¿? ¿Sabías que...?

El artículo 12 del Código de las familias de Cuba plantea que: "Se considera discriminación en el ámbito familiar toda acción u omisión que tenga por objeto o por resultado excluir, limitar o marginar por razones de sexo, género, orientación sexual, identidad de género, edad, origen étnico, color de la piel, creencia religiosa, situación de discapacidad, origen nacional o territorial, o cualquier otra condición o circunstancia personal que implique una distinción lesiva para la dignidad humana".

El reconocimiento de la diversidad genérica tiene implicaciones sociales importantes que permiten la eliminación de estereotipos y prejuicios

sociales y culturales, puestos de manifiesto en diferentes ámbitos de las relaciones humanas (de pareja, familiar, laboral y social, en general). Todos estos aspectos serán estudiados con mayor profundidad en duodécimo grado, por cuanto tienen una estrecha relación con problemas derivados de la conducta humana.

Entre el hombre y la mujer existen diferencias biológicas que permiten la función reproductiva. Las características estructurales de los órganos genitales, tanto femeninos como masculinos, determinan las propiedades relacionadas con sus funciones.

En el sexo femenino los ovarios contienen células capaces de dividirse por meiosis, lo cual permite la producción de óvulos. Estas células se desarrollan dentro de folículos formados por células de tejido conectivo que tienen la propiedad de secretar hormonas de gran importancia en la regulación del ciclo sexual. El útero, por otra parte, posee en sus paredes gran cantidad de fibras musculares lisas con propiedad contráctil. Estas fibras se mantienen relajadas durante el embarazo, y durante el parto se contraen bajo la influencia hormonal.

Los testículos están formados por una maraña de túbulos seminíferos en cuyo interior se encuentran células que se dividen por meiosis, lo que permite su función principal que es la formación de los espermatozoides. Entre los túbulos seminíferos se encuentran las células intersticiales de Leydig que secretan la testosterona, hormona que regula la expresión de las características sexuales primarias masculinas, el crecimiento de los órganos reproductores y la formación de espermatozoides.

El proceso de producción de espermatozoides y óvulos se denomina gametogénesis y se inicia en la pubertad. La formación de espermatozoides se denomina espermatogénesis y ocurre durante toda la vida fértil del hombre; la formación de óvulos se denomina ovogénesis y a diferencia de la espermatogénesis, se lleva a cabo periódicamente como parte del ciclo sexual femenino.

4.4.1 ¿Cómo es regulado el ciclo sexual femenino?

Yolanda es una joven de 18 años que acude al consultorio del médico de la familia alarmada porque aún no se le ha presentado la menstruación, aunque asegura que tiene relaciones sexuales protegidas. Después de realizar las pruebas pertinentes, el médico comprueba que no está

embarazada y le orienta la realización de un estudio hormonal y la consulta con el especialista en ginecología.

Reflexiona

- ¿Por qué pueden suceder situaciones como esta en las adolescentes?
- ¿Cómo ocurre la regulación del ciclo sexual femenino?

Durante el ciclo sexual femenino ocurren transformaciones en los órganos genitales y en las mamas, también ocurren cambios mensuales rítmicos en la intensidad de la secreción de hormonas femeninas (estrógenos y progesterona).

Como en las adolescentes se está produciendo el proceso de maduración de los órganos genitales, es frecuente que durante los dos primeros años la menstruación se presente de manera irregular; después los ciclos se vuelven más regulares, aunque muchas veces las emociones fuertes y el estrés pueden alterar el ciclo. No obstante, cada mujer tiene un funcionamiento único e independiente, por estas razones es muy importante tener un conocimiento profundo sobre este aspecto, que promueva a adopción de una conducta sexual responsable, a fin de evitar embarazos no deseados.

Recuerda que...

El ciclo sexual dura generalmente 28 o 29 días, aunque en algunas mujeres puede ser de 25 a 34; empieza a contarse desde el primer día de sangrado que dura entre 3 y 7 días, y termina un día antes del siguiente período de sangrado. Durante la menstruación se pueden desarrollar todas las actividades cotidianas sin limitación de ningún tipo.

En el ciclo sexual femenino se producen transformaciones a nivel de ovario (ciclo ovárico) y a nivel de útero (ciclo uterino o menstrual).

Para comprender el ciclo ovárico es indispensable que conozcas cómo ocurre el proceso de formación y maduración de los óvulos, llamado ovogénesis.

En los ovarios existen células germinales llamadas ovogonias, que se forman durante el desarrollo embrionario. En ellas se inicia la meiosis, esta se detiene en la profase de la primera división meiótica en los ovocitos primarios, que son todavía células diploides. A diferencia del hombre, la

mujer al nacer ya tiene alrededor de 400 mil ovocitos (óvulos inmaduros) que se almacenan en unos sacos llamados folículos. Alrededor de 400 de estos ovocitos madurarán durante la vida fértil de la mujer, que se inicia en la pubertad y concluye en la menopausia.

Como ya sabes, el resultado final de la meiosis son cuatro células haploides, pero en la mujer se obtiene un solo óvulo (figura 4.21). Esto ocurre porque en este caso, las dos divisiones meióticas son desiguales, lo que provoca que por cada ovocito primario se produzca solo un óvulo (en vez de cuatro), y tres corpúsculos polares que se degeneran. Los corpúsculos polares son pequeños, y aparentemente disponen una cantidad mínima de citoplasma, esto permite que el único óvulo formado contenga abundante citoplasma (figura 4.21).

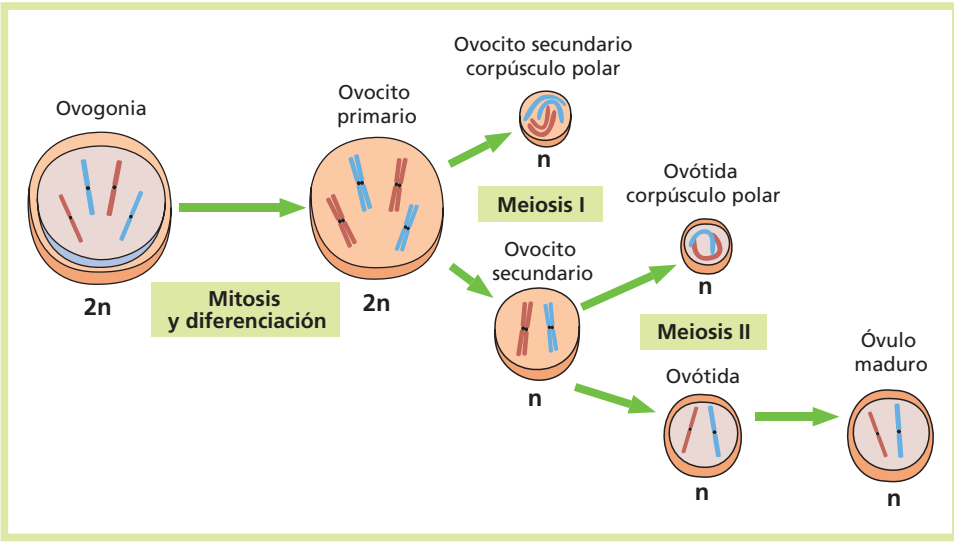


Fig. 4.21 Proceso de ovogénesis

En cada ciclo sexual, en el ovario y dentro de un folículo, crece y se desarrolla el futuro óvulo que es expulsado alrededor de los 14 días, proceso que se denomina ovulación. El óvulo pasa a las trompas de Falopio, cuyo interior está cubierto por cilios que al moverse ayudan al desplazamiento del óvulo. En este trayecto el óvulo puede ser fecundado, o no. Después de la ovulación, el folículo se convierte en el cuerpo lúteo e involuciona hasta quedar como una cicatriz (figura 4.22).

Mientras esto sucede, en el útero también ocurren transformaciones que permiten la implantación del huevo fecundado: proliferan las células

del tejido que revisten sus paredes internas, aumentan la secreción glandular y el riego sanguíneo, y se forman depósitos de elementos nutritivos.

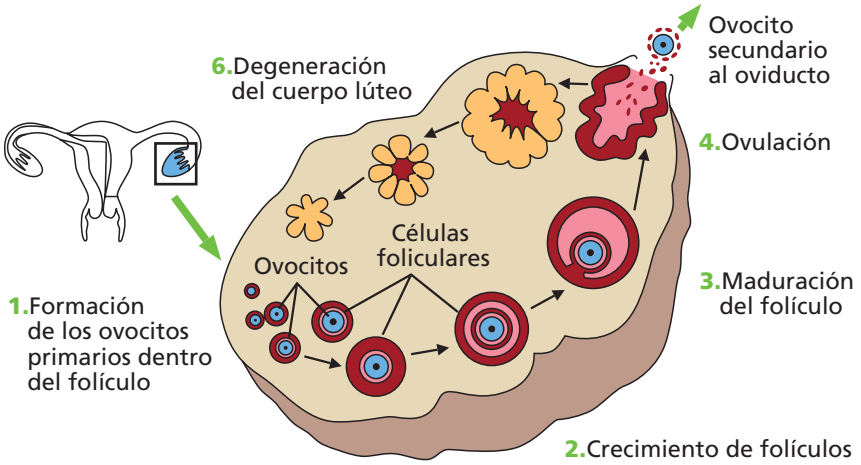


Fig. 4.22 Cambios ováricos durante el ciclo sexual

El ciclo sexual femenino es un ejemplo de regulación neuroendocrina, pues está regido por el sistema hipotálamo-hipófisis.

El hipotálamo produce la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), que estimula la producción de dos hormonas hipofisiarias: la hormona estimulante del folículo (FSH) y la hormona luteinizante (LH). Durante el ciclo sexual femenino ocurren variaciones periódicas de las concentraciones de FSH y LH en sangre, que provocan cambios en el funcionamiento de sus órganos blanco: los ovarios.

El aumento de la concentración de FSH estimula el crecimiento de folículos ováricos, aunque solo uno de estos crece significativamente. Este folículo produce estrógenos, que también estimulan la producción de LH por la hipófisis. La liberación de LH estimula el crecimiento final del folículo, su maduración, y el proceso de ovulación (figura 4.23).

Después de la ovulación y bajo la influencia de la LH, el cuerpo lúteo produce progesterona y estrógenos en menor cuantía. La progesterona ayuda a preparar al útero, inhibiendo su contractilidad. Cuando la concentración de esta hormona aumenta, se activa un mecanismo de retroalimentación y se inhibe la producción de hormonas FSH y LH por la hipófisis, de manera que se impide la maduración de un nuevo óvulo.

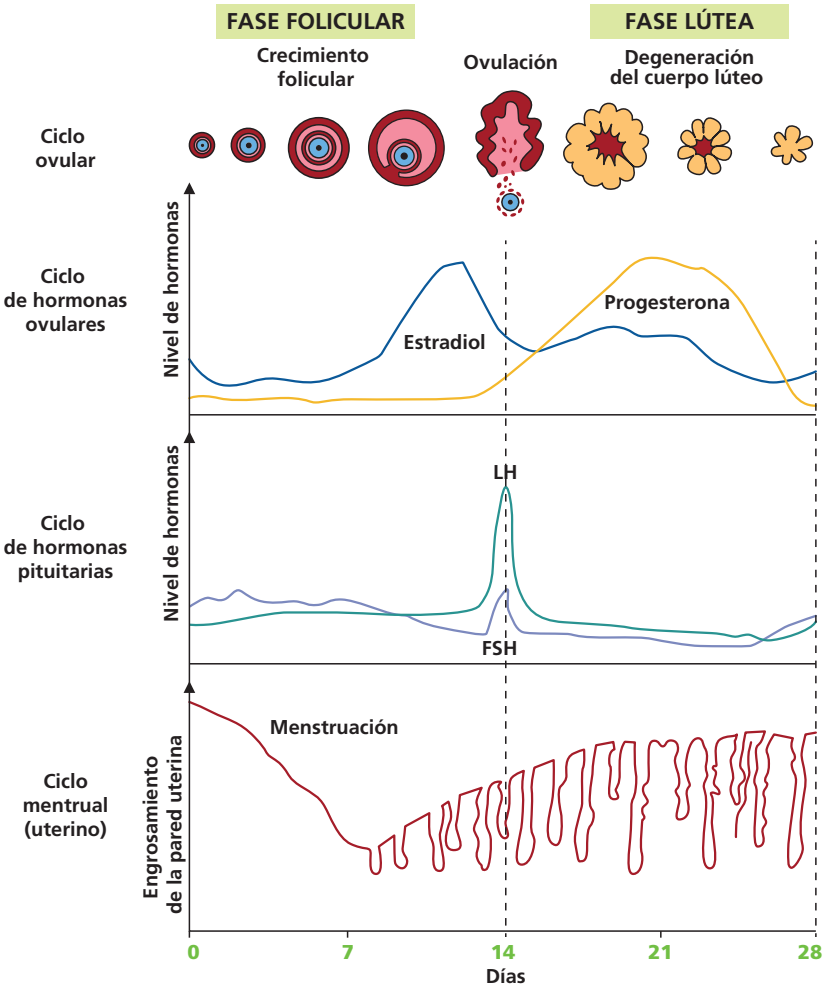


Fig. 4.23 Cambios hormonales durante el ciclo sexual femenino

Si el óvulo no es fecundado el cuerpo lúteo degenera, por lo que descienden los niveles de progesterona y estrógeno en sangre y ocurre la menstruación. Si se produce la fecundación, entonces ocurre el proceso de desarrollo embrionario (embarazo) en el útero, que culminará en un tiempo de aproximadamente 40 semanas, con el parto.

El proceso de regulación del ciclo sexual femenino depende de la actividad nerviosa superior. El estrés, los cambios climáticos, entre otros factores, pueden provocar alteraciones en las distintas etapas del ciclo sexual (figura 4.24).

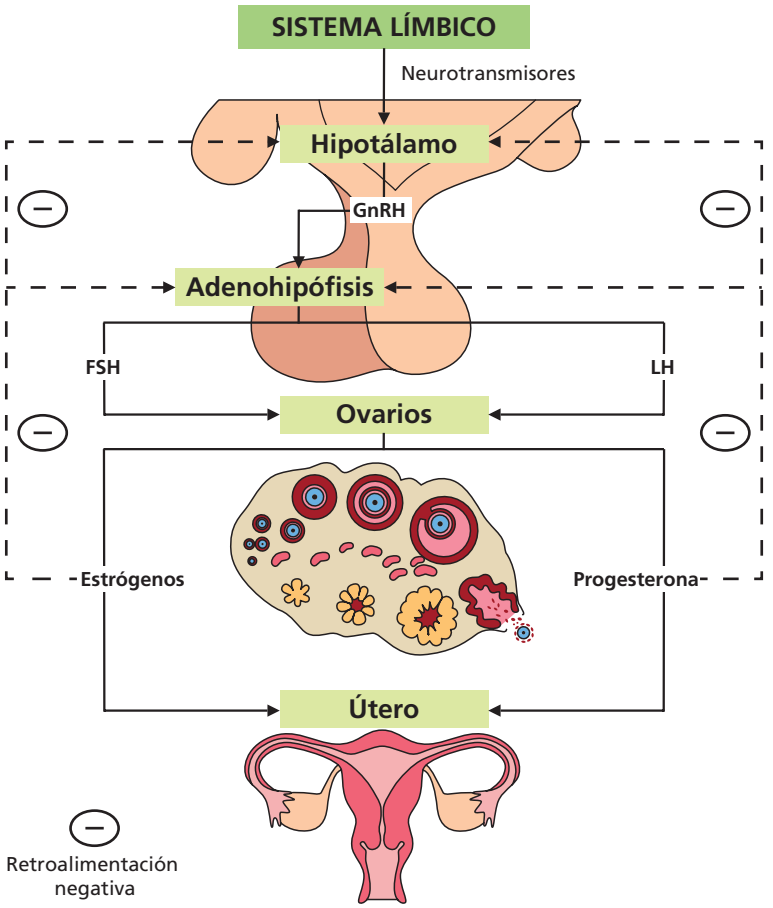


Fig. 4.24 Proceso de regulación neuroendocrina del ciclo sexual femenino

4.4.2 ¿Cómo es regulada la formación de espermatozoides y la producción de semen?

El empleo de la testosterona como esteroide anabólico puede estimular el desarrollo del cáncer de próstata, y constituir riesgo de otras reacciones adversas como la angina de pecho. Algunas personas, como fisiculturistas y atletas, se la inyectan para aumentar la masa muscular durante el entrenamiento, pero esta práctica acarrea serios efectos secundarios: con frecuencia aparece acné, ocurren cambios emocionales, retención de líquidos y enfermedades del hígado; en las mujeres la voz se agrava y crece el vello facial, también existen pruebas de que los hombres pueden sufrir problemas de fertilidad.

En el mundo del deporte, las agencias reguladoras aplican sistemáticamente test de detección de andrógenos sintéticos en la orina de los deportistas, y si se identifica la presencia de estas sustancias se les prohíbe participar en las competiciones.

Reflexiona

- ¿Qué opinas del uso de andrógenos sin prescripción médica?
- ¿Qué función tienen los andrógenos como la testosterona en la regulación de la formación de espermatozoides y la producción del semen?

Ya conoces que el proceso de formación de espermatozoides se denomina espermatogénesis y ocurre en el par de gónadas masculinas o testículos, específicamente en los túbulos seminíferos que existen dentro de cada testículo.

¿Sabías que...?

Según algunos científicos, cada espermatozoide contiene aproximadamente 37,5 MB (megabit) de información; esto quiere decir que en cada eyaculación masculina se envía 1 587 GB de información en busca del óvulo femenino.

En los hombres la formación de gametos es continua a través de la vida adulta y recibe el nombre de espermatogénesis (figura 4.25).

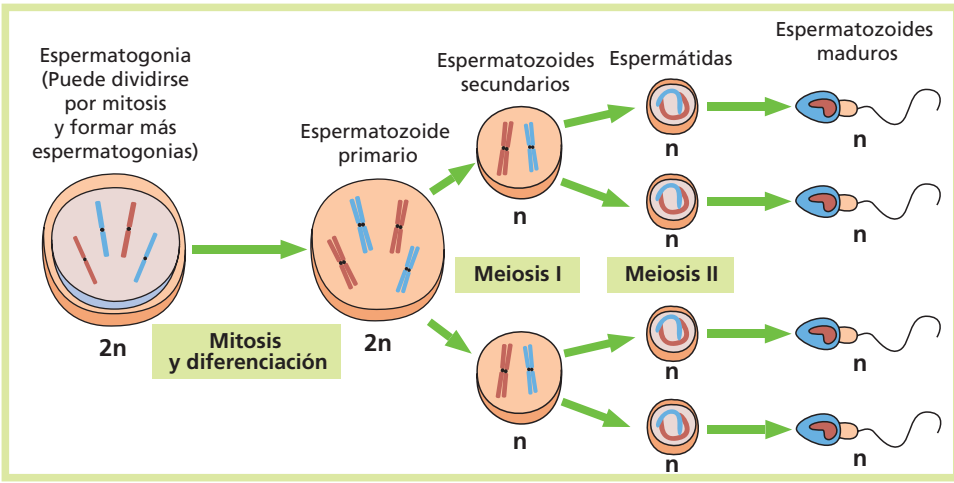


Fig. 4.25 Proceso de espermatogénesis

Este proceso está regulado por el sistema hipotálamo-hipófisis, por lo tanto, es un ejemplo de regulación neuroendocrina.

Alrededor de los 10 años de edad, el hipotálamo del adolescente empieza a secretar la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que estimula a la adenohipófisis o pituitaria anterior; esta secreta hormona estimulante del folículo (FSH) y hormona estimulante de las células intersticiales (ICSH), similar a la hormona luteinizante que participa en la ovogénesis. La FSH estimula a las células de Sertoli y estas secretan PUA (proteína unida a los andrógenos) y otras moléculas de señalización, necesarias en la espermatogénesis. La ICSH estimula la producción y secreción de testosterona, en las células intersticiales que se encuentran entre los túbulos seminíferos de los testículos.

La FSH, la ICSH y la testosterona, estimulan directa o indirectamente, la espermatogénesis. El comienzo de este proceso requiere que exista una alta concentración de testosterona, hormona que también es responsable de las características sexuales secundarias masculinas.

Las concentraciones de todas estas hormonas son reguladas por procesos de retroalimentación negativa. La testosterona, que se produce en las células de Leydig de los testículos, actúa sobre el hipotálamo y provoca la disminución de la secreción de GnRH, esto hace que disminuya la producción de FSH y de ICSH por la hipófisis. La testosterona también bloquea la acción de la GnRH sobre la síntesis y liberación de ICSH, al inhibir directamente la actividad del lóbulo anterior de esta glándula.

La secreción de FSH es regulada principalmente por la inhibina, una hormona peptídica secretada por las células de Sertoli; la propia FSH estimula la secreción de inhibina.

La regulación endocrina de la función reproductiva es compleja, y en esta es probable que sean identificadas en investigaciones futuras, otras hormonas y moléculas de señalización (figura 4.26).

La pubertad suele empezar entre los 10 y 12 años de edad y se extiende hasta los 16 o 18 años, en este período se inicia la producción de testosterona. En el sexo masculino la testosterona actúa directamente sobre los músculos y huesos, estimulando el aumento acelerado de la talla (estirón de la pubertad), además es responsable de la aparición de los caracteres sexuales primarios (crecimiento de los órganos reproductores y espermatogénesis), y de los secundarios (crecimiento del vello facial y corporal, e incremento en la longitud y el grosor de las cuerdas vocales, que ocasiona que la voz se torne más grave).

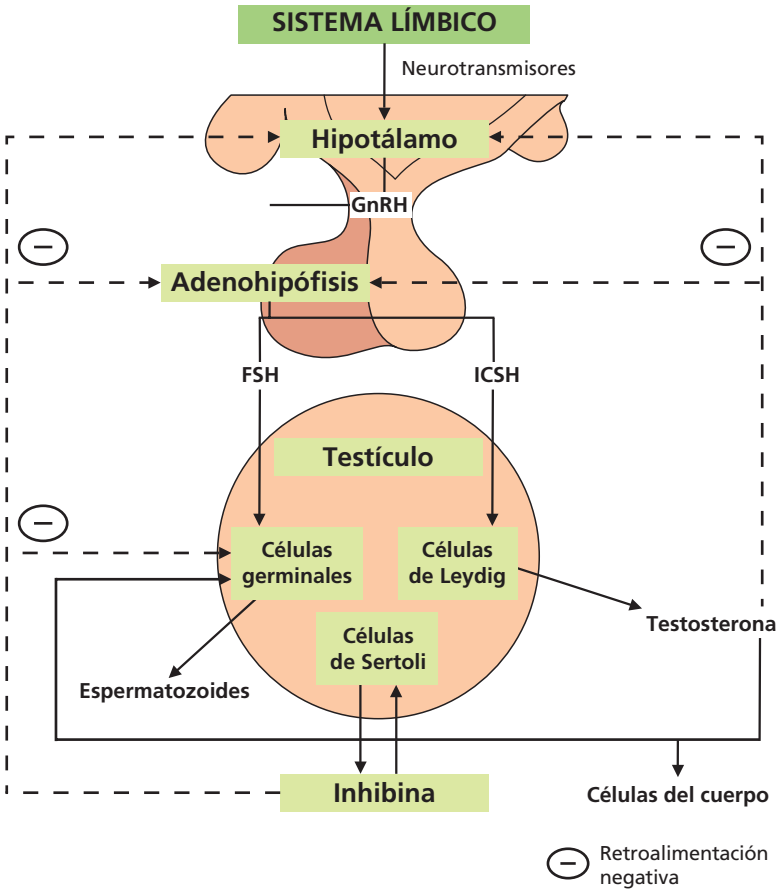


Fig. 4.26 Proceso de regulación neuroendocrina de la producción de espermatozoides

4.4.3 ¿Cómo ocurre la regulación de la respuesta sexual humana?

Las adicciones pueden causar serias afectaciones en la conducta sexual humana. El tabaco actúa sobre los centros del placer cerebral provocando una disminución del erotismo y del deseo sexual, afecta el centro de erección que se encuentra en la médula espinal, y produce ansiedad; por eso las personas que fuman son muy nerviosas, siendo incierto que este hábito sea relajante. Estimula el sistema simpático y por lo tanto, la eyaculación precoz, también provoca riesgo de cáncer en las tetillas en el varón.

Reflexiona

- ¿Cómo influyen las drogas en la respuesta sexual humana?
- ¿Qué necesitas conocer acerca de la regulación de la respuesta sexual humana para el disfrute de una sexualidad responsable y saludable?

Con el inicio de la adolescencia se desencadenan procesos bióticos, psíquicos y sociales que estimulan el deseo sexual. En ocasiones los adolescentes se inician en las relaciones sexuales y no siempre logran que estas sean placenteras. Esto puede suceder porque no estén preparados adecuadamente, o porque esto ocurra bajo determinadas presiones sociales o en condiciones desfavorables, entre otros factores que impiden el disfrute de una sexualidad saludable.

La respuesta sexual humana es una reacción integral del organismo a un estímulo sexual efectivo, e implica cambios funcionales genitales y extragenitales, se involucra todo el organismo e intervienen los sentimientos, los pensamientos y las experiencias previas de la persona.

Durante el encuentro íntimo, se produce la excitación sexual y en ambos sexos ocurre un aumento del ritmo cardíaco y de la irrigación sanguínea de los órganos genitales. Esta excitación se inicia con un estímulo que puede ser físico (a través del oído, el olfato, la vista, el tacto), psíquico (por acción del pensamiento o las emociones) o una combinación de ambos tipos.

El sistema límbico es la región del sistema nervioso más importante en el control de las emociones; incluye al hipotálamo, que regula las sensaciones amorosas y la satisfacción sexual a través de su control sobre el sistema nervioso autónomo o neurovegetativo. El sistema nervioso autónomo parasimpático estimula la erección del pene, mientras que el sistema nervioso simpático promueve la eyaculación y las contracciones vaginales.

El deseo sexual puede estar motivado por fantasías o pensamientos de esta naturaleza. Esta anticipación conduce a la excitación y a la sensación de placer sexual.

La respuesta sexual incluye cuatro fases: excitación, meseta, orgasmo y resolución (figura 4.27).

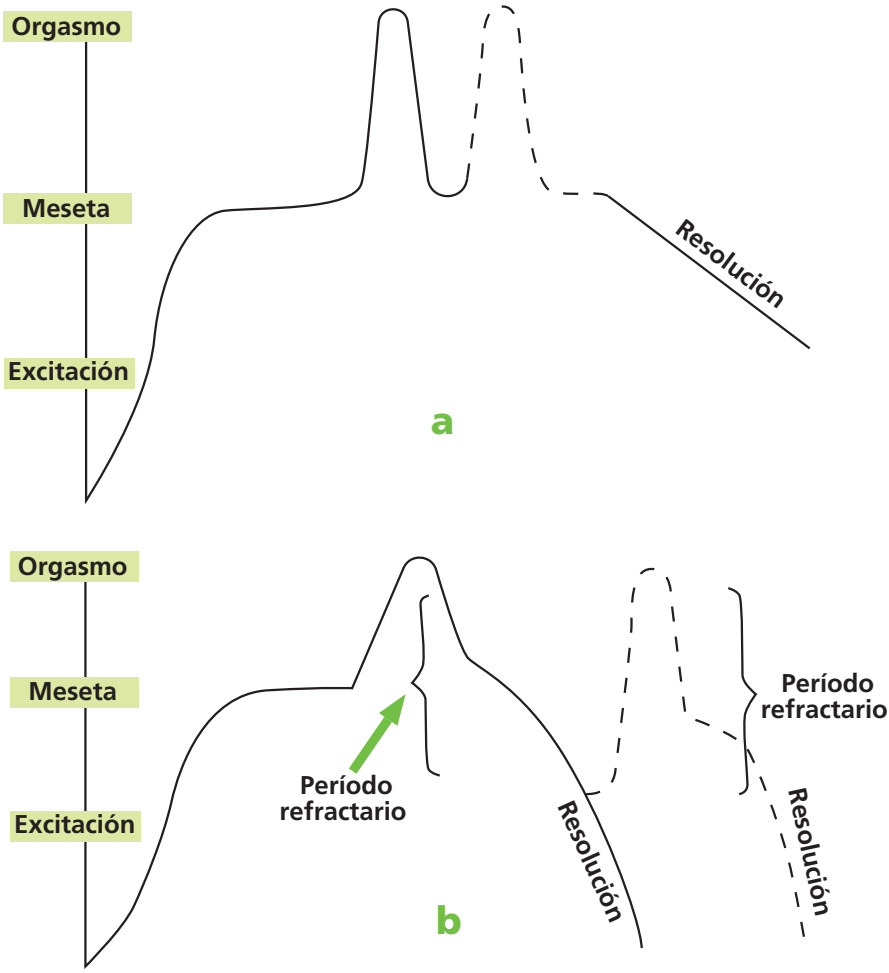


Fig. 4.27 Representación gráfica del ciclo de la respuesta sexual humana: a) femenina b) masculina

La fase de excitación sexual implica la vasocongestión y aumento en la tensión muscular. La primera respuesta masculina a la excitación sexual es la erección del pene. En la mujer, esta fase se caracteriza por la vasocongestión de la vagina, el clítoris y los senos, el epitelio vaginal secreta un lubricante espeso, la vagina crece y se expande. Todos estos cambios facilitan la penetración del pene erecto durante el coito.

Si la estimulación erótica continúa, la respuesta sexual alcanza la fase de meseta, en la que la vasocongestión y la tensión muscular aumentan

notoriamente. En ambos sexos, el ritmo cardíaco, la presión arterial y la frecuencia respiratoria aumentan; la penetración del pene en la vagina suele iniciarse durante la fase de meseta. El pene entra y sale de la vagina durante el coito, conducido por movimientos denominados empujes pélvicos. Esta fricción genera sensaciones, que unidas a la experiencia emocional de la intimidad conducen a un intenso placer físico, clímax de la excitación sexual denominado orgasmo. En la mujer, la estimulación del clítoris aumenta la excitación sexual.

Aunque solo dura unos cuantos segundos, el orgasmo es la fase de máxima tensión sexual y su liberación. En ambos sexos está marcado por contracciones rítmicas de los músculos del suelo pélvico. Estas contracciones musculares continúan en intervalos aproximados de 0,8 segundos durante varios segundos. Después de las primeras contracciones su intensidad disminuye y se vuelven menos regulares y frecuentes.

El ritmo cardíaco y la respiración aumentan a más del doble de manera notable, justo antes del orgasmo y durante este. En todo el cuerpo ocurren contracciones musculoesqueléticas. En el hombre este momento está marcado por la eyaculación del semen desde el pene, al orgasmo femenino no lo acompaña la eyaculación de fluidos.

El orgasmo es seguido por la fase de resolución, un estado de bienestar durante el cual el cuerpo es restituido a su estado de no estimulación. En esta fase el tamaño del pene disminuye a la mitad de lo que era en el momento de mayor excitación, y una segunda erección inmediata es imposible, incluso ante un estímulo intenso. En la mujer esto no ocurre, ella podría volver a excitarse seguidamente y tener otro orgasmo. La duración de este período varía en cada hombre.

Saber más

Se llama disfunción sexual a la dificultad que se presenta durante cualquier etapa del acto sexual, que impide al individuo o pareja el disfrute de la actividad sexual. La disfunción sexual puede responder a causas físicas, psíquicas o ambas. Los factores emocionales que afectan la vida sexual incluyen los generados por problemas en las relaciones de pareja por falta de confianza y comunicación, y trastornos psíquicos como la depresión, los miedos, la culpa, entre otras causas. Entre otros factores se incluye el consumo de drogas (incluyendo el tabaco y el alcohol), problemas funcionales de diversos órganos y algunas enfermedades congénitas.

El sistema neurovegetativo regula también algunas manifestaciones como falta de apetito, taquicardia, y falta de aire, que aparecen durante la etapa de enamoramiento y que están vinculadas con las funciones vegetativas.

La actividad sexual humana, como otras, también puede verse afectada por eventos del medio ambiente, incluidos los problemas sociales, pues el sistema límbico recibe señales externas, como las generadas ante una situación de estrés, que pueden influir negativamente en la excitación y respuesta sexual.

Como has visto, todos los procesos relacionados con la reproducción y la sexualidad humanas están subordinados a la regulación neuroendocrina, incluido el funcionamiento de los órganos genitales. En estos procesos participan hormonas, neurohormonas, el sistema límbico-hipótálamo-hipófisis, y los órganos genitales que también poseen función secretora de hormonas.

El conocimiento de los procesos de regulación del embarazo y el parto, es fundamental en los cuidados y la protección de la mujer durante las diferentes etapas de la reproducción humana, y será objeto de estudio en duodécimo grado.

4.4.4 ¿Cómo una sexualidad responsable permite el disfrute de una vida sana y feliz?

Con la formación de una pareja los adolescentes buscan establecer relaciones afectivas y eróticas basadas en el amor, que permitan ofrecer y obtener placer, satisfacción, y contribuyan a una sexualidad sana y feliz.

Reflexiona

- ¿Qué puede ocurrir cuando se inician las relaciones sexuales sin protección?
- ¿Qué puede hacer una pareja cuando desea tener hijos y no lo logra?

El éxito y la seguridad en la reproducción, la regulación de la fertilidad y el disfrute de la sexualidad, están muy relacionados con una adecuada salud sexual y reproductiva, y con la capacidad de realizar una correcta planificación familiar.

La planificación familiar se refiere al derecho de la pareja de tener el número de hijos deseados, y la responsabilidad de hacerlo en

el momento en el que se ha alcanzado una relación estable y la culminación de los estudios, se ha comenzado la vida laboral, y se poseen las condiciones y el grado de madurez necesarios que garanticen el mejor cuidado y educación de los hijos. La selección del método anticonceptivo más apropiado para evitar que esto ocurra en un momento inadecuado, debe ser el resultado de un análisis de las ventajas y desventajas del uso de cada uno, tomando en cuenta las condiciones de cada pareja.

La familia constituye el primer agente de socialización de la sexualidad, y el filtro que mediatiza todas las influencias de la cultura sobre el ser humano desde que nace, y a lo largo de toda la vida, puesto que es el grupo de referencia más estable en cuanto a la formación de valores, convicciones, normas de comportamiento, concepciones y actitudes sexuales. En los vínculos familiares se potencian la comunicación humana, los lazos emocionales, y se reproduce la vida, cuando la pareja o el individuo deciden libremente tener descendencia.

Recuerda que...

Los métodos anticonceptivos como el condón o preservativo, el diafragma, el método del ritmo, las tabletas anticonceptivas, los espermicidas y la esterilización quirúrgica impiden la fecundación del óvulo por el espermatozoide, y los dispositivos intrauterinos (DIU), obstaculizan la implantación del embrión en el útero.

Cuando se habla de salud sexual no se hace referencia a tener o no relaciones sexuales, se trata de asumir estilos de vida saludables, que incluyan unas relaciones protegidas, que contribuyan a la satisfacción personal, y a prevenir las infecciones de trasmisión sexual (ITS) y embarazos no deseados.

Dentro de las acciones para prevenir las ITS es fundamental la obtención de información acerca de su existencia y las formas de transmisión, optar por una conducta sexual segura, ya sea abstenerse del contacto sexual, o practicar el sexo seguro y protegido, evitar los cambios frecuentes de pareja, identificar los síntomas de estas enfermedades y en caso de que estos se presenten, acudir precozmente a la atención sanitaria.

Recuerda que...

Luego de conocidas las formas y vías más frecuentes de contagio por ITS, las autoridades médicas de nuestro país han propuesto una serie de acciones preventivas encaminadas a evitarlo, dentro de estas se encuentran:

- retardar el inicio de las relaciones coitales;
- practicar relaciones sexuales seguras (evitar realizarlas con personas desconocidas, y el cambio frecuente de pareja o promiscuidad);
- usar condón o preservativo, y
- contribuir a prevenir su propagación acudiendo al médico ante cualquier sospecha de padecer una ITS, e identificando a las personas con las que se ha tenido contacto sexual.

Existen parejas que por determinadas razones son infértiles. Estas personas pueden acudir a la reproducción asistida, que es un conjunto de técnicas que hacen posible la fecundación, el desarrollo preimplantacional y la implantación en el organismo femenino, cuando esto no ocurre de forma natural.

Estas técnicas pueden clasificarse como de baja complejidad (inseminación artificial) y de alta complejidad (fertilización ***in vitro*** con transferencia embrionaria, inyección intracitoplasmática del espermatozoide en el ovocito, y transferencia embrionaria de gametos con o sin diagnósti co preimplantacional).

La inseminación artificial puede ser homóloga (con semen de la misma pareja) o heteróloga (con semen de donante). Esta técnica consiste en colocar los espermatozoides previamente preparados, en la cavidad uterina (intrauterina) o a nivel del cuello uterino (intracervical). La mujer permanecerá en reposo relativo ese día y después continuará con su actividad normal. Si no se produce embarazo se podrá realizar otro intento el siguiente ciclo, o tomar un mes de descanso antes de repetir.

Desde el punto de vista bioético, es necesario que la pareja sea informada previamente de las características del proceder a aplicar, de sus posibles resultados, y que firme su consentimiento a ser sometido a este (consentimiento informado).

Una tecnología de alta complejidad es la fertilización ***in vitro*** con transferencia embrionaria (FIV-ET). Este es un procedimiento médico especializado, que consiste en la fecundación de un óvulo fuera del cuerpo de la mujer, y la posterior transferencia de embriones hacia el útero (figura 4.28).

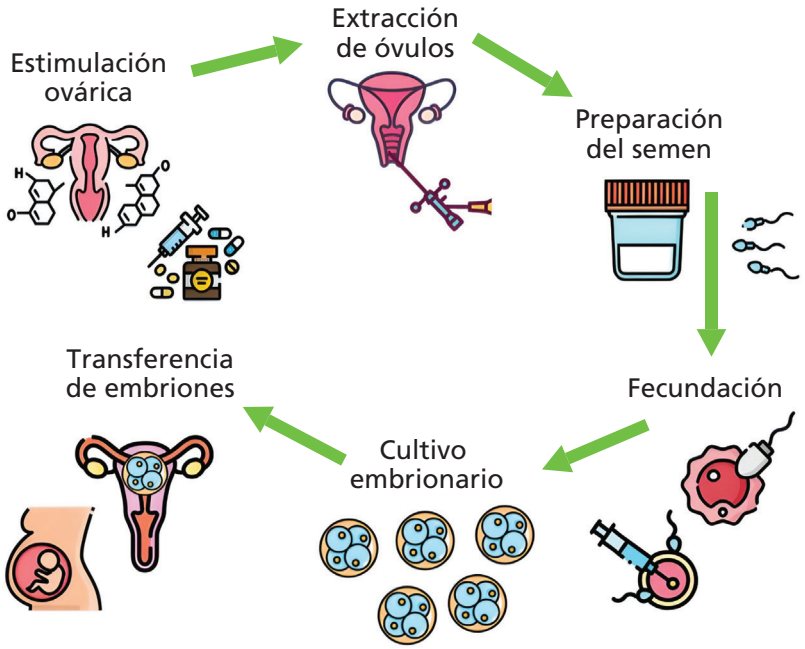


Fig.4.28 Fecundación ***in vitro***

De la historia

Los primeros intentos de fecundación fuera del cuerpo humano se inician a partir de 1960 empleando ovocitos madurados en cultivo. En 1969 comienzan los ensayos de cultivo de embriones humanos, a partir de 1970 se introduce el uso de la laparoscopia para la recogida de ovocitos, y al año siguiente se realizan los primeros ensayos de transferencia embrionaria al útero materno. El 25 de junio de 1978, nace en el Reino Unido la primera "bebé probeta", llamada Louise Brown. El ginecólogo Patrick Steptoe y el prestigioso embriólogo Robert G. Edwards, premio Nobel de fisiología en 2010, fueron los principales autores de este logro científico: el primer nacimiento de un ser humano como resultado de una fertilización ***in vitro*** con transferencia embrionaria (FIV-ET).

Las técnicas de alta complejidad implican una hiperestimulación ovárica previa, monitoreo ecográfico, aspiración folicular y fertilización en el laboratorio para luego transferirlo, con el objetivo final de lograr un embarazo normal. En Cuba, las acciones de atención a la pareja infértil comenzaron a implementarse en febrero de 2007 y en la actualidad

se desarrolla el Programa de Atención a la Pareja Infértil. Existen centros territoriales de reproducción asistida de alta complejidad distribuidos por el país para la atención a los casos más complejos, en los que se han alcanzado altas tasas de éxito, además se cuenta con decenas de consultas de infertilidad municipales y provinciales donde se realizan algunas técnicas reproductivas menos complejas. A partir del 2022, con la aprobación del nuevo Código de las Familias, se comenzó también a prestar servicio a parejas homoafectivas y a personas solas, en todos los casos con un servicio gratuito.

Reflexiona

La fertilización ***in vitro*** con transferencia embrionaria (FIV-ET) ha provocado un amplio debate bioético alrededor de la manipulación de los embriones. La base del cuestionamiento radica en la consideración de si estos embriones son un conjunto de células indiferenciadas o un ser humano en potencia, y sobre esta misma base, si resulta legítima la utilización de aquellos que no se han empleado en la reproducción, con otros fines de investigación. En la base de este debate está la discusión sobre el estatus jurídico del embrión, y el cuestionamiento sobre a partir de qué momento este puede ser considerado como ser humano, y por tanto, hasta dónde sería aceptable su manipulación. ¿Qué opinas respecto a esta situación?

Entre las responsabilidades bioéticas en la reproducción asistida están: defender la dignidad de las personas vulnerables y de los embriones, cuidar la seguridad de los tratamientos de fertilidad, establecer con claridad los lineamientos de cómo aplicarlos y contar con la infraestructura de almacenamiento de gametos y embriones. Asimismo, contar con protocolos para el manejo del paciente de la FIV, evaluar psicológicamente a la pareja o individuo que solicita tal tratamiento, y dar seguimiento durante la gestación y después del nacimiento.

La reproducción asistida también incluye la donación de ovocitos, de semen, de embriones, y la gestación solidaria.

Los ovocitos pueden ser obtenidos de mujeres que luego de un tratamiento de reproducción asistida donan los remanentes, de forma anónima y voluntaria, a una receptora. Cuando el hombre no produce suficiente cantidad de espermatozoides o la movilidad de estos es baja, es posible fertilizar a su pareja con espermatozoides donados por

hombres jóvenes, de manera anónima y voluntaria. También es posible llevar a cabo la fecundación ***in vitro,*** con la transferencia al útero de la mujer, de los embriones obtenidos de la unión de espermatozoides y ovocitos donados.

Todos estos procedimientos se realizan previo consentimiento informado de los implicados. En este procedimiento se explica a la pareja infértil y a los donantes, los riesgos y beneficios de su participación, y el centro donde se efectúa el tratamiento mantiene la protección estricta y confidencial de la información relacionada con los participantes.

El Código de las Familias de Cuba ofrece apoyo legal al acceso a las técnicas de reproducción asistida, y deja clara la determinación de impedir cualquier discriminación que limite el derecho de todas las personas a fundar una familia.

Saber más

En el artículo 119 del Código de las familias se establecen como principios que rigen la determinación de la filiación asistida, los siguientes:
a) la voluntad de procrear, expresada a través del consentimiento que cumpla con los requisitos que en el presente Código se establecen;
b) la protección a la intimidad de las personas que intervienen;
c) el anonimato exigido por la persona dadora de gametos;
d) el interés superior de la hija o el hijo que nazca como resultado del uso de la técnica;
e) el derecho a formar una familia;
f) el respeto a la realidad familiar de cada persona, y
g) la igualdad y la no discriminación.

Además, se establece en el artículo 122 que: "Las personas nacidas por técnicas de reproducción asistida tienen derecho a conocer que fueron concebidas mediante tales procedimientos cuando sea relevante para su salud y pueden obtener información de su origen gestacional o genético y de los datos médicos de la persona dadora de gametos, quedando excluida su identidad."

La gestación solidaria es una técnica en la que se implanta el embrión de una pareja imposibilitada de lograr un embarazo, en otra mujer en la que se desarrolla el embarazo y el parto. Es un método que permite tener descendencia a parejas heterosexuales, en la que la

causa de la infertilidad femenina es la ausencia de útero. También es posible su empleo en familias monoparentales, parejas homosexuales femeninas con infertilidad de causa uterina, y en parejas homosexuales masculinas.

El Código de las familias apoya legalmente la gestación solidaria siempre que el procedimiento se base en la solidaridad familiar o afectiva de la persona, que de manera altruista, se ofrezca para llevar a cabo el embarazo y el parto. También impide explícitamente que este procedimiento se convierta en un negocio lucrativo basado en la explotación de las mujeres.

Reflexiona

El artículo 130. Define el alcance de la gestación solidaria al plantear:
1. La gestación solidaria favorece el ejercicio del derecho de toda persona a tener una familia y se sustenta en el respeto a la dignidad humana como valor supremo.

2. Solo tiene lugar:
a) Por motivos altruistas y de solidaridad humana;
b) entre personas unidas por vínculos familiares o afectivamente cercanos;
c) siempre que no se ponga en peligro la salud de quienes intervienen en el proceder médico, y
d) en beneficio de quien o quienes quieren asumir la maternidad o la paternidad y se ven impedidos de hacerlo por alguna causa médica que les imposibilite la gestación, o cuando se trate de hombres solos o parejas de hombres.

3. Se prohíbe cualquier tipo de remuneración, dádiva u otro beneficio, salvo la obligación legal de dar alimentos en favor del concebido y la compensación de los gastos que se generen por el embarazo y el parto.

4. En todos los casos se requiere autorización judicial.
¿Qué opinas de la responsabilidad que se asume en la gestación solidaria?

Estas técnicas requieren que los trabajadores de los servicios de infertilidad y de los registros médicos institucionales respeten la confidencialidad sobre las personas que participan en estos procedimientos, y manifiesten su compromiso con el cumplimiento de principios bioéticos sobre la base

de una adecuada interrelación médico-paciente. También es importante la preparación de todo ciudadano en el conocimiento de estas técnicas, de las potencialidades de la innovación en las tecnologías reproductivas y del estudio de las bases legales que las regulan, para garantizar su participación con total autonomía y responsabilidad.

Comprueba lo aprendido

1. Ejemplifica cómo se manifiesta la sexualidad humana en diferentes actividades de la vida cotidiana en los ámbitos individual, de pareja, familiar y en la sociedad.

2. Explica la relación estructura-propiedad-función en un órgano genital femenino y uno masculino.

3. Resume cuáles son las principales transformaciones que ocurren en los ovarios y el útero durante el ciclo sexual femenino.

4. Explica las relaciones entre los diferentes órganos genitales en su funcionamiento:
- ovarios-trompas de Falopio-vagina
- testículos-conductos deferentes-próstata-glándulas seminales

5. ¿Qué importancia tienen en la reproducción humana los procesos de formación de gametos y su regulación?

6. En las mujeres, el desprendimiento de un óvulo maduro del ovario está determinado por el incremento de las hormonas luteinizante (LH) y folículo-estimulante (FSH). El gráfico de la figura 4.23 representa los cambios en los niveles hormonales durante el ciclo menstrual. Las píldoras anticonceptivas tienen la función de elevar simultáneamente los niveles de estrógeno y progesterona. Selecciona cuál es su efecto sobre las gonadotropinas LH y FSH:
__ reducir la concentración de FSH y aumentar la de LH;
__ mantener la concentración normal de LH y de FSH;
__ aumentar la concentración de LH y FSH, o
__ reducir la concentración de FSH y de LH.

7. Una mujer acude a un ginecólogo por problemas de infertilidad y el médico determina, después del estudio del caso, que su producción de FSH y LH es deficiente. ¿Qué explicación darías en este caso?

8. Valora las consecuencias del empleo de las hormonas masculinas sin prescripción médica.

9. En algunas personas existe el mito de que el alcohol mejora la respuesta sexual. Hace 400 años atrás Shakespeare puso en boca de Macbeth el comentario siguiente: "El alcohol provoca el deseo, pero dificulta la ejecución". ¿Qué explicación puedes dar a este hecho?

10. Valora los efectos del alcohol en la sexualidad humana.

11. Valora la siguiente afirmación: La planificación familiar contribuye a una sexualidad sana y permite la toma de decisiones responsables en tu proyecto de vida.

12. Pon ejemplos de métodos anticonceptivos, y describe la forma de acción de cada uno de ellos teniendo en cuenta los procesos estudiados y su regulación.

13. Explica la importancia del conocimiento de los métodos anticonceptivos para los adolescentes y jóvenes.

14. ¿Por qué la salud sexual y reproductiva es responsabilidad de ambos miembros de la pareja?

15. Resume las características de cada una de las principales técnicas de reproducción asistida y valora los riesgos y beneficios de su aplicación.

16. Pon ejemplos de infecciones de transmisión sexual y determina el agente causal en cada una de ellas.

17. Los cambios anatómicos y fisiológicos que se producen en la adolescencia, preparan al organismo humano para la vida sexual y la

llegada de la descendencia. ¿Consideras que durante esta etapa se ha alcanzado una madurez biopsicosocial que permita dar inicio a las relaciones sexuales y asumir la maternidad y la paternidad?

18. Valora el siguiente planteamiento: la interrupción del embarazo presenta grandes riesgos, a pesar de que en nuestro país se realiza en centros hospitalarios y con las mejores condiciones.

Desafíos

1. Elabora un esquema lógico con los contenidos fundamentales estudiados en la unidad.

2. Argumenta la afirmación siguiente: La perpetuación de las especies tiene su base en la función de reproducción de los organismos.

3. Una gallina tiene 78 cromosomas (39 pares) en sus células somáticas.

a) ¿Cuántos cromosomas heredó de cada progenitor?
b) ¿Cuántos cromosomas habrá en cada uno de sus gametos?
c) ¿Cuántos cromosomas habrá en cada célula somática de la descendencia de esta gallina?
d) ¿Cuántos cromosomas hay en un "juego"?

4. Las moléculas de ADN de los 46 cromosomas de una célula humana constituyen una masa general de 6×10^{-9} mg. Determina:

a) El número de cromosomas y la masa general de las moléculas de ADN de una célula al final de la interfase.
b) El número de cromosomas y la masa general de las moléculas de ADN de una célula somática derivada de la mitosis.
c) El número de cromosomas y la masa general de las moléculas de ADN de una célula sexual derivada de la meiosis.

5. Investiga sobre la importancia del estudio de la mitosis y la meiosis en medicina, en la investigación científica, y en la prevención y tratamiento del cáncer en Cuba. Puedes auxiliarte de la prensa escrita, de revistas científicas, de folletos sobre biotecnología, Ecured y CubaEduca.

6. Analiza la figura 4.29 y elabora una lista de los riesgos del consumo de tabaco para la reproducción y la sexualidad humanas. Ejemplifica los daños ocasionados en procesos tan importantes como la selección de la pareja, la respuesta sexual, y el embarazo.

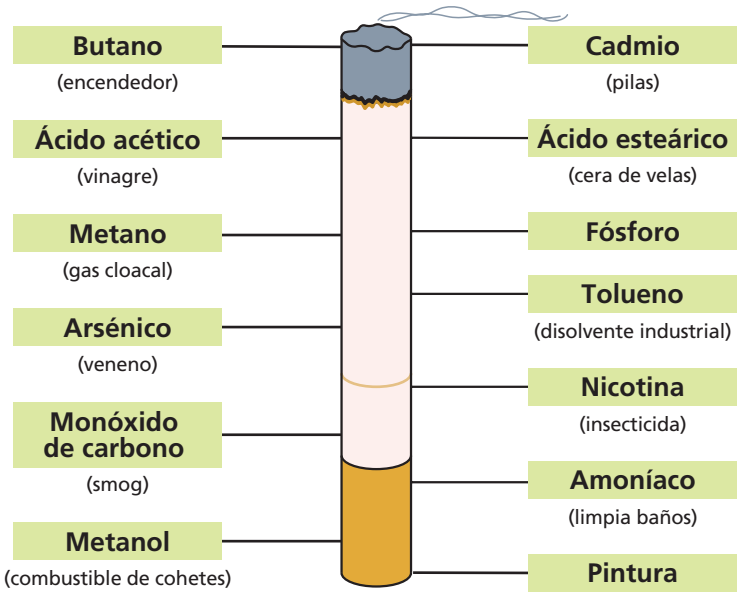


Fig. 4.29 Sustancias presentes en el tabaco

7. Realiza una campaña para desmitificar que el alcohol ayuda en las relaciones sexuales.

8. A partir de la aplicación de los conocimientos sobre el patrón general de regulación, elabora un modelo de la regulación de la respuesta sexual humana.

9. En ocasiones, en las relaciones sexuales no se llega a alcanzar la erección, lo que impide que se pueda realizar el coito con penetración. Explica esta situación teniendo en cuenta que la sexualidad humana es un fenómeno biopsicosocial.

10. La clonación de la oveja Dolly, llevada a cabo por el embriólogo Ian Wilmut en 1997, se considera uno de los hitos importantes en la historia de las ciencias biológicas. Se efectuó a partir de la combinación

del núcleo de una célula adulta o diferenciada, con un óvulo enucleado de la oveja. Según las estadísticas, la tasa de éxito es de 2-3 en 100, esto significa que los procesos de clonación se asocian con la replicación exacta del individuo a partir del ADN presente en una célula somática, y con el éxito que se pueda obtener en el proceso. Selecciona a continuación la respuesta que consideres correcta, acerca de la validez de esta afirmación.

__ Válida porque el proceso no solo depende del aporte del material genético, sino de la simulación del proceso biológico en condiciones externas a las del individuo objeto de investigación.

__ No válida, porque la mayoría de los ensayos son fallidos, es decir, que hay limitación para tratar el material genético de las especies y las condiciones biológicas de una especie.

__ Válida, porque el proceso solo depende del aporte del material genético y de la simulación del proceso biológico en condiciones externas a las del individuo objeto de investigación.

__ No válida, porque la mayoría de los ensayos fructifican, es decir que no hay limitación para tratar el material genético de las especies y las condiciones biológicas de una especie.

11. Supón que fuera necesario decidir la producción por clonación de rebaños completos de ganado vacuno de alto valor productivo y resistente a las enfermedades, o utilizar métodos tradicionales de selección y cruzamiento mediante su reproducción sexual, ¿qué método tú propondrías? Realiza un balance riesgo/beneficio de ambos métodos y argumenta tu propuesta.

Actividades prácticas

Práctica de laboratorio: Identificación de las fases de la mitosis, la cromatina y los cromosomas en células vegetales.

Objetivo: Identificar cromatina, cromosomas, y algunas fases de la mitosis en plantas, mediante la observación directa utilizando el microscopio óptico.

Materiales: Raíces de cebolla o cebollino recién germinadas, colorante aceto-carmín, acetorceína o azul de metileno, etanol ácido (3:1) o

solución de ácido clorhídrico 5N, bisturí o cuchilla, frasco lavador con agua, gotero, portaobjetos, cubreobjetos, aguja enmangada, vidrio reloj, mechero de alcohol, pinza de madera, papel de filtro, microscopio óptico, regla, compás.

Técnica operatoria:

1. Toma una porción de 5 a 7 mm del extremo de la raíz de cebolla que te entregó el profesor y colócalo en el vidrio reloj. Agrega unas gotas de etanol ácido o de ácido clorhídrico y espera de tres a cinco minutos si añadiste etanol, o 10 minutos si fue ácido clorhídrico.
2. Retira la solución con una tira de papel absorbente, adiciona a la muestra 1 o 2 gotas del colorante y caliéntala por 2 minutos, sujetando el vidrio reloj con una pinza de madera, cuidando que la muestra no llegue a hervir.
3. Enjuágala suavemente con ayuda de un frasco lavador para eliminar el exceso de colorante, y seca con papel de filtro.
4. Coloca la muestra en el portaobjetos y con la cuchilla realiza cortes transversales lo más finos posibles.
5. Aplica una gota de agua encima de los cortes y luego coloca el cubreobjetos.
6. Deja un pedazo de papel de filtro encima para realizar la técnica de aplastado o squash, y comprime suavemente con el dedo pulgar.
7. Coloca la muestra en la platina del microscopio óptico. Enfoca comenzando con el objetivo de menor aumento y pasa gradualmente al resto de los objetivos.
8. Dibuja en tu libreta lo observado: traza un círculo de 4 o 5 cm de diámetro con el compás, que representa el campo del microscopio y dentro elabora un dibujo lo más fiel posible, de lo que observas.
9. Anota al lado del círculo el aumento con el cual se realizó el dibujo, resultado de multiplicar los números que representan el aumento de los dos lentes: ocular y objetivo.

Actividades para las conclusiones

- Identifica el tejido observado de la planta.
- ¿Qué funciones realiza?
- ¿Qué características presentan las células?
- Llega a conclusiones acerca de la relación estructura-propiedades-funciones en este tejido.

- Identifica fases de la mitosis. Describe las características que te permitieron identificarlas.
- ¿En qué fases pudiste observar a los cromosomas? Explica tu respuesta.

Práctica de laboratorio: Observación de la formación de tubo polínico

Objetivo: Identificar la formación del tubo polínico en muestras de flores, mediante su observación directa utilizando la lupa.

Materiales: flores hermafroditas de marpacífico o majagua, microscopio estereoscópico, portaobjetos, pinzas de disección, bisturí o cuchilla, aguja enmangada, disolución de sacarosa (una cucharada de azúcar en 100ml de H_2O).

Técnica operatoria:

1. Realiza la colecta de flores preferiblemente de marpacífico, majagua u otras especies.
2. Con la ayuda de un bisturí o una pinza separa cada estambre y colócalo sobre un portaobjetos.
3. Separa con cuidado granos de polen ayudado de una aguja enmangada.
4. Obsérvalos con la lupa estereoscópica. Realiza el dibujo correspondiente.
5. Agrega la disolución de sacarosa, espera unos minutos y observa el momento en que germina el grano de polen y crece el tubo polínico. Dibuja lo observado.

Actividades para las conclusiones

- ¿Qué explicación puedes dar al hecho de que los granos de polen germinen y produzcan el tubo polínico, en presencia de una disolución de sacarosa?
- ¿Qué procesos de la reproducción se relacionan con lo observado en la actividad práctica? Argumenta su importancia.

Actividad práctica extradocente: Diferentes formas de reproducción en plantas de cultivo

Objetivo: Identificar mediante la observación directa, la diversidad de adaptaciones de las plantas con reproducción sexual o asexual, y sus aplicaciones en la agricultura, demostrando sensibilidad ante la belleza de la naturaleza.

Propuestas de actividades:

1. Realiza una visita al huerto del instituto preuniversitario, jardín o un área de cultivo de la localidad. Se incluye la visita a centros de propagación de vitroplantas.
2. Identifica plantas que se hayan multiplicado por reproducción asexual o sexual, y las adaptaciones que presentan en cada caso. Determina la correspondencia estructural y funcional, con las características del medio ambiente donde se reproducen.
3. Realiza demostraciones prácticas de cómo se lleva a cabo la siembra de vegetales, e identifica qué forma de reproducción se pone en evidencia en cada caso.
4. Observa cómo los factores ambientales pueden afectar diferentes etapas de la reproducción.
5. Redacta un informe de la visita, que será presentado al resto de los educandos.

Seminario: La ciencia y la innovación para el desarrollo sostenible, mediante la aplicación de las tecnologías reproductivas en la agricultura, la ganadería, la medicina y la conservación de la biodiversidad. Sus implicaciones bioéticas.

Objetivo: Valorar la importancia y las implicaciones bioéticas de la aplicación de los conocimientos científicos sobre la reproducción, en la agricultura, la ganadería, la salud humana y el medio ambiente, como base del compromiso con la sostenibilidad de la vida.

Temas para desarrollar:

1. Aplicaciones del cultivo ***in vitro*** de plantas. Riesgos y beneficios. Estado actual de su aplicación en Cuba.
2. La clonación y reproducción asistida en animales. Importancia y estado actual de su aplicación en Cuba.
3. La reproducción asistida en seres humanos. Implicaciones bioéticas y regulaciones establecidas en Cuba.

Propuesta de actividades:

1. Investigar en qué consisten y cómo se aplican diferentes biotecnologías reproductivas, en plantas, animales y en los seres humanos.
2. Realizar para cada caso un balance riesgo-beneficio de su aplicación.

3. Valorar los problemas bioéticos que se derivan de la aplicación de estas tecnologías, y su posible impacto en la sostenibilidad de la biodiversidad y en la salud humana.
4. Investigar las bases legales para la aplicación de estas tecnologías en Cuba: "Constitución de la República de Cuba", Ley 156/2022 "Código de las Familias", Decreto-Ley 31/2021 "De bienestar animal", Ley 150/2022 del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente", Ley 148/2022 "Ley de Soberanía Alimentaria y Seguridad Alimentaria y Nutricional".

CAPÍTULO 5

La herencia en los sistemas vivientes

En las diversas especies que conforman las poblaciones y las comunidades existentes en nuestro planeta, la descendencia se asemeja en mayor o menor medida a sus progenitores: pueden ser casi idénticos, o mostrar diferencias que hacen pensar que estamos en presencia de otra especie. Estos resultados son una manifestación del fenómeno de la herencia, que caracteriza a los organismos vivos, y ponen en evidencia una vez más la unidad y la diversidad como regularidad de los sistemas vivientes (figura 5.1).

Fig. 5.1 Semejanzas y diferencias entre progenitores y su descendencia

En este capítulo estudiarás las causas de este interesante y contradictorio fenómeno que se manifiesta en plantas y animales, lo puedes observar en la naturaleza que te rodea, y en ti mismo con relación a tus familiares.

- ¿Qué semejanzas y diferencias observas en las características de tus ojos, orejas, estatura, pelo, boca, etc., con relación a las de tus hermanos, padres y abuelos?
- ¿A qué se deben estas semejanzas y diferencias?

Las respuestas a estas y otras interrogantes las tendrás cuando culmines el estudio de los contenidos de este capítulo y resuelvas problemas y ejercicios que reflejan situaciones de la vida cotidiana. Esto te permitirá explicar las causas de acontecimientos que en ocasiones son vistos como tabúes, supersticiones y prejuicios, que conducen a la discriminación de algunas personas, por presentar características hereditarias diferentes (étnicas o de otro tipo).

Estos contenidos te facilitarán también adoptar medidas preventivas para evitar riesgos de enfermedades hereditarias y trastornos genéticos, cuando en el futuro decidas formar tu propia familia, y te servirán de referencia en el momento de seleccionar la profesión a la cual te dedicarás en un futuro.

La ciencia que estudia estos fenómenos es la genética, en estrecha relación con la bioquímica, la citología, la fisiología, la estadística, la informática, entre otras. En las últimas décadas, el impetuoso desarrollo de los descubrimientos genéticos a nivel molecular ha posibilitado a los científicos, el diseño y la creación de nuevos organismos en condiciones de laboratorio, y con determinados objetivos.

Los resultados de estos estudios, cuyo impacto en las esferas de la salud, la alimentación, la producción y los servicios, es una realidad en Cuba y en el mundo, traen múltiples beneficios. Sin embargo, estos sorprendentes e importantes avances, en manos inescrupulosas pudieran ser muy dañinos para la humanidad; ejemplo de esto es la posibilidad de creación de microorganismos altamente patógenos capaces de provocar severos daños al medio ambiente, incluido el ser humano.

En esta unidad estudiarás las características de la herencia y sus manifestaciones; podrás explicar sus causas, cómo se manifiesta en los organismos, la función de los cromosomas y los genes, las aplicaciones de esta rama de la Ciencia en diferentes esferas, y las implicaciones sociales de su empleo.

Conocerás acerca de los procesos vinculados con el material genético, y de las modernas técnicas empleadas en la ingeniería genética y la biotecnología, sus aplicaciones e implicaciones bioéticas.

5.1 La herencia comprende la estabilidad y el cambio en la información genética de los caracteres durante la reproducción de los organismos

El fenómeno de la herencia se manifiesta durante la reproducción de los organismos, con el mantenimiento o el cambio de las características estructurales, funcionales y conductuales de estos, con relación a las de los progenitores. A través de esta se transmite la información genética de los organismos de una generación a otra.

Al conjunto de características perceptibles en los organismos, que se manifiestan como resultado de la herencia, se les denomina fenotipo. Por ejemplo, el fenotipo de una planta incluye sus diversos componentes (raíz, tallo, hojas, flores, frutos), el color de estos, su altura, la conformación del follaje, el tamaño de sus hojas, el sabor de sus frutos, los procesos fotosintéticos, entre otras. Por otra parte, cuando hablamos del fenotipo de un animal nos referimos a la forma de sus diferentes órganos, el color del pelo, las plumas o la piel, el tamaño del cuerpo, los procesos que hacen posible la respiración, la nutrición, la excreción algunos comportamientos como la nidificación, la búsqueda de pareja reproductiva, la migración, las formas de comunicación, la orientación sexual, entre otras.

El fenotipo tiene su origen, en buena medida, en las características de los genes que posee un individuo en sus células. Con el desarrollo de la citología, la bioquímica, la microbiología y la virología, se descubrió que estos están localizados en el núcleo de todas las células de los organismos eucariotas, en su cromatina o cromosomas, y otros orgánulos, y están presentes también en el único cromosoma de las células procariotas, en los virus y demás formas acelulares; en todos, la cantidad de genes está determinada por el grado de complejidad alcanzado.

Un gen es un segmento de ácido nucleico que constituye una unidad de información genética. A las combinaciones de genes particulares que participan en la determinación de un rasgo fenotípico se les denomina genotipo.

Como conoces, en la integridad biótica de los sistemas vivientes también influye su interacción con el medio ambiente; por tanto, como las condiciones ambientales en que se desarrolla el organismo inciden

sobre los procesos de la reproducción, lo hacen también sobre la herencia. Así tenemos que la realización de radiografías está contraidicada en la mujer embarazada, pues la exposición a estas radiaciones puede provocar anomalías en el feto, de ahí que el médico no las indique a mujeres en este estado. En otro orden podemos mencionar, que el déficit de determinados nutrientes por una mala alimentación de la madre, puede provocar bajo peso al nacer en el bebé y esto lo hace vulnerable a infecciones.

Como conclusión podemos afirmar que en la herencia se establece la relación genotipo-ambiente-fenotipo, de la cual depende la estabilidad o variabilidad en los sistemas vivientes de una generación a otra (Esquema 5.1).

Esquema 5.1 Relación entre ambiente, genotipo y fenotipo de los organismos

5.2 Las leyes de la herencia expresan regularidades acerca de la transmisión de la información genética a la descendencia

La genética es una ciencia relativamente joven, surgió como tal a partir del siglo XX. Sin embargo, las principales leyes acerca del fenómeno de la herencia habían sido descubiertas desde el siglo anterior por un monje austríaco en una época en que no fueron comprendidas por la comunidad científica, por lo que sus trabajos experimentales estuvieron olvidados por más de 30 años. A este monje se le considera actualmente el padre de esta ciencia, y su nombre es Gregor Mendel (figura 5.2).

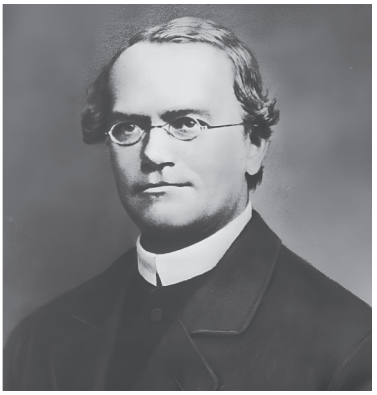


Fig. 5.2 Gregor Mendel (1822-1884)

Cuando Mendel inició sus estudios aún no se había publicado el libro de Darwin sobre la evolución. A él le inquietaba el problema de la herencia y saber de qué forma las características pasaban de los padres a los hijos; sin embargo, tenía perfecta conciencia del significado del trabajo que iba a emprender con relación al problema de la evolución.

- ¿Quién fue Gregor Mendel y a qué se dedicó durante su vida?
- ¿Qué investigaciones experimentales y teóricas lo llevaron al descubrimiento de las regularidades de la trasmisión de la herencia?
- ¿Qué trascendencia han tenido sus trabajos hasta nuestros días?

A estas y otras interrogantes podrás responder durante el estudio de los apartados de este epígrafe.

5.2.1 ¿Cómo se transmiten a la descendencia los factores de la herencia?

Mucho antes de que se descubriera la naturaleza del material de la herencia Mendel postuló las leyes de su transmisión de generación en generación. A los elementos materiales de la herencia él les denominó factores, y más tarde los científicos les nombraron genes. Pero ¿cómo logró Mendel obtener conocimientos teóricos como las leyes o principios de la herencia? Pues fue a partir de experimentos de cruzamientos con una amplia muestra de un material inteligentemente seleccionado, además aplicó eficazmente por primera vez métodos cuantitativos de análisis estadístico en la solución de un problema complejo de la biología.

Cuando Mendel comenzó sus estudios sobre la herencia en 1856, ya eran conocidos dos hechos importantes sobre este fenómeno en la hibridación de las plantas: primero, que todas las plantas híbridas con los mismos tipos de progenitores tienen el mismo aspecto (fenotipo); y segundo, que cuando los híbridos se aparean entre sí el resultado difiere del anterior, pues su descendencia presenta una mezcla de rasgos, es decir, que algunos de sus hijos se parecen a los progenitores mientras otros tienen características de los abuelos. El porqué de esta diversidad en la segunda descendencia constituyó el problema que motivó a Mendel a realizar sus investigaciones.

Para ello seleccionó como objeto de experimentación la planta de chícharo o guisante (***Pisum sativum***) por poseer varias ventajas: son plantas fáciles de cultivar y de ellas existían muchas variedades en el mercado; esta variabilidad es importante, pues permite analizar la transmisión de una determinada variante de generación en generación; otra de las ventajas de esta planta es la anatomía de sus flores, pues poseen órganos reproductores masculinos (estambres) separados de los femeninos (pistilo), lo que le permitió al investigador facilitar la autopolinización o controlarla artificialmente, de acuerdo con el diseño experimental que él realizara.

Antes de iniciar sus experimentos de hibridación Mendel obtuvo líneas genéticamente puras de cada una de las variantes de siete pares de rasgos seleccionados por él, por contrastar claramente entre sí (figura 5.3).

Fig. 5.3 Caracteres de ***Pisum sativum*** seleccionados por Mendel en sus cruzamientos

El método de hibridación consiste en cruzamientos entre plantas de caracteres contrastantes provenientes de líneas puras. La técnica utilizada por Mendel, con el objetivo de garantizar la confiabilidad de los resultados, fue el control de la polinización mediante la extirpación de los estambres de las flores, y la realización de la polinización artificialmente.

Realizó múltiples cruzamientos entre dos líneas puras contrastantes, analizando cada vez un solo carácter, con lo cual obtuvo plantas híbridas para el carácter seleccionado. Este tipo de cruzamiento en el que se hace abstracción del resto de los caracteres se ha denominado cruzamiento monohíbrido, pues sus resultados son individuos híbridos con relación a un solo carácter.

Mendel observó que los híbridos de la primera generación, a la que denominó F1, siempre mostraban uno de los dos fenotipos contrastantes de ambos progenitores (figura 5.4); era como si uno de los dos predominara sobre el otro. Al carácter predominante le denominó dominante, mientras que al otro que no se manifestaba le denominó recesivo.

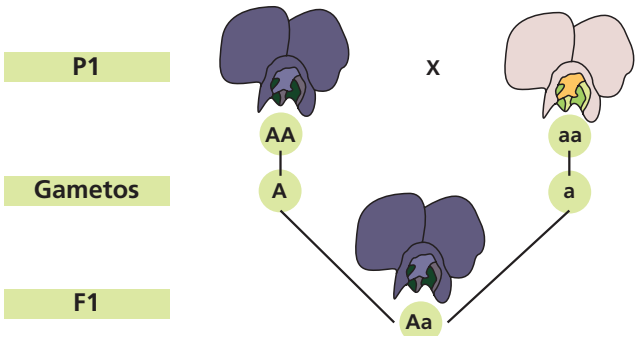


Fig. 5.4 Cruzamiento monohíbrido del color de la flor en guisantes

Para realizar el análisis de los resultados Mendel utilizó el método de modelación, que consistió en el empleo de un sistema de símbolos (letras mayúsculas y minúsculas) ideado por él que representaran los factores (genes), y en analizar así su comportamiento durante los diferentes cruzamientos. Utilizó una misma letra en cada uno de los caracteres: el carácter dominante con mayúscula, y el recesivo con minúscula. Su intuición a partir de los resultados de los cruzamientos, le llevó a pensar que la presencia de cada carácter en un organismo responde a la existencia de factores o genes, y supuso que cada carácter de la planta, requiere para su expresión de una pareja de factores.

A los progenitores de líneas puras (P1) que debían tener un par de factores iguales los clasificó como **homocigóticos**, estos podían ser dominantes

o recesivos en dependencia de que exhibieran uno u otro de los caracteres contrastantes. En la representación de los diferentes genotipos ideó la simbología siguiente: ***aa*** para el genotipo homocigótico recesivo, y ***AA*** para el homocigótico dominante. A los híbridos de la primera generación filial (F1) que debían tener factores diferentes los denominó heterocigóticos. Estos últimos los representó mediante el símbolo ***Aa*** (figura 5.4).

Con la finalidad de conocer el genotipo de la descendencia, Mendel realizó un tipo de cruzamiento que denominó cruce de prueba, consistente en que un individuo de genotipo desconocido es cruzado con otro del cual se sabe que es homocigótico recesivo. Los caracteres de los hijos pueden indicar que el individuo de genotipo desconocido es heterocigótico u homocigótico, con relación a un rasgo dominante.

Con la autopolinización de las plantas híbridas obtenidas de estos cruzamientos, Mendel encontró que en la segunda generación filial reaparecía, aunque en menor cuantía, el carácter recesivo que no se había mostrado en la descendencia del cruzamiento anterior. Era como si dicho carácter se hubiera encontrado reprimido y se manifestara en ese momento. Fue entonces que infirió que cada carácter de los analizados estaba determinado por dos factores hereditarios, y que en la F_1 el factor que determina el rasgo recesivo estaba presente, pero no se manifestaba dada la dominancia del otro rasgo (figura 5.5).

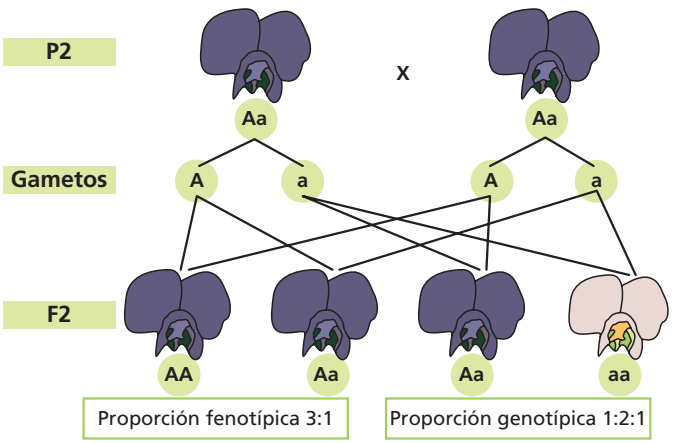


Fig. 5.5 Reaparición del rasgo recesivo en la segunda generación filial

Con estos resultados Mendel concluyó que los factores de cada par se separan o segregan durante la formación de los gametos, lo que explica

la ausencia en la F_1 del factor que determina el rasgo recesivo, y su transmisión en la segunda generación filial, y a partir de estas conclusiones estableció un principio que hoy se conoce como Ley de la segregación de los factores.

Ley de la segregación de los factores: expresa que los miembros de un par de factores se separan y distribuyen a los gametos en forma de unidades independientes.

Una ley científica es el nombre utilizado por los científicos para describir las relaciones constantes y esenciales existentes entre diferentes factores o variables de un fenómeno, descubiertas mediante experimentos u observaciones repetidas; es objetiva, práctica, y se basa en evidencias empíricas, no varía en el tiempo ni en el espacio. La palabra viene del latín ***lex, legis***, que significa colección de reglas o reglamento.

Mendel utilizó el método estadístico matemático en el procesamiento de la información derivada de múltiples cruzamientos entre diversos caracteres de guisantes: contaba y registraba rigurosamente el número de plantas obtenidas de los experimentos de hibridación de cada uno de los siete caracteres, que repetía continuamente para asegurar la confiabilidad de los resultados. En el análisis de estos datos empleó proporciones matemáticas, y entre los muchos cruzamientos que realizó descubrió un patrón que se repetía en la F_1 (tabla 5.1).

Tabla 5.1 Resultados de experimentos de cruzamientos monohíbridos con caracteres mendelianos

Exp.	Carácter estudiado	Híbridos	Forma dominante	Forma recesiva	Proporción fenotípica
1	Color de las semillas	8023	6 022 amarillas	2 001 verdes	3,01 : 1
2	Forma de las vainas	1 181	882 llenas	299 constreñidas	2,95 : 1

3	Color de las vainas	580	428 verdes	152 amarillas	2,82 : 1
4	Posición de las flores en el tallo	858	651 axiales	207 terminales	3,15 : 1
5	Tamaño del tallo	1 064	787 altos	277 bajos	2,84 : 1

A la luz de los conocimientos biológicos actuales podemos interpretar esta Ley de la segregación de la siguiente manera:

Las células diploides tienen pares de genes alelos en ambos cromosomas homólogos. Los dos genes de cada par se separan uno de otro durante la meiosis, de modo que terminan en gametos distintos (figura 5.6).

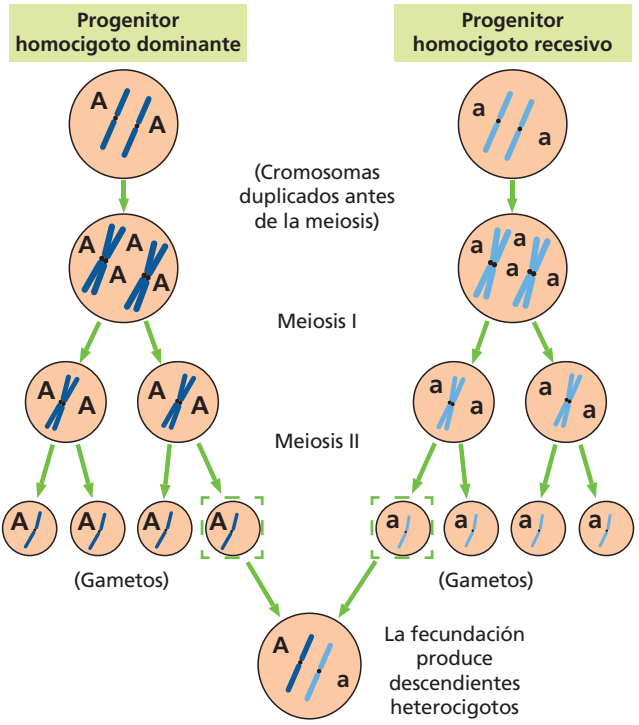


Fig. 5.6 Relaciones entre meiosis, segregación de los genes y fecundación

Los alelos son diferentes alternativas de un mismo gen, localizados en la misma posición (***locus***) de cada cromosoma homólogo.

El segundo paso que dio Mendel en sus análisis fue estudiar la herencia de dos caracteres al mismo tiempo, introduciendo así lo que se denomina cruzamiento dihíbrido. En este tipo de cruzamiento el análisis de la descendencia en cada generación se complica un tanto, pues requiere considerar al mismo tiempo dos alelos de cada carácter, por lo que para cada individuo se representan cuatro alelos (figura 5.7).

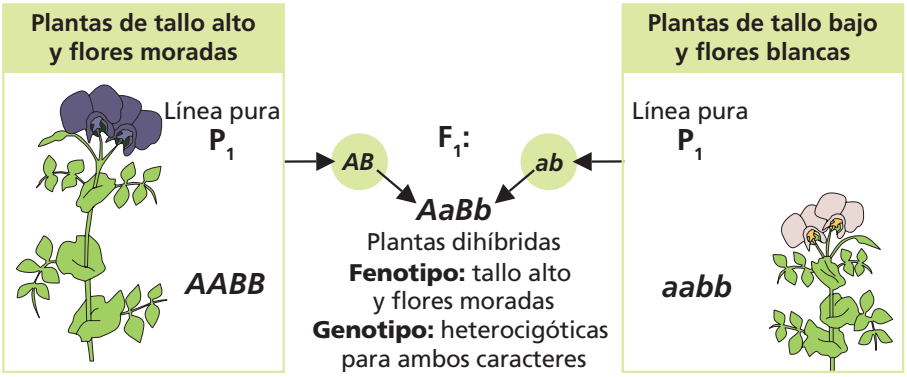


Fig. 5.7 Cruzamiento dihíbrido con dos pares de genes alelos a la vez

A partir de los resultados de la transmisión de los factores durante el cruzamiento dihíbrido Mendel demostró que los miembros de un par de factores se segregan y distribuyen a los gametos como unidades independientes, por lo que cada gameto posee uno de los alelos para cada carácter, como se observa en la figura 5.7. De esta forma se cumple la Ley de la distribución independiente.

En los individuos genéticamente puros, es decir homocigóticos (***AABB*** o ***aabb***), todos los gametos obtenidos de la meiosis son idénticos. Sin embargo, en los dihíbridos, que son heterocigóticos para ambos caracteres, la combinación de genes que aparecen en los gametos presenta cuatro variantes diferentes: ***AB***, ***Ab***, ***aB*** y ***ab***. La representación de los gametos se realiza de manera convencional utilizando un pequeño círculo, dentro del cual se coloca la combinación de genes derivados de la segregación de los alelos durante la meiosis.

Durante la reproducción, la fecundación de cada uno de los cuatro tipos de óvulos por alguno de los cuatro tipos de gametos masculinos es un evento casual, es decir al azar, pues no se puede predecir qué tipo de gameto masculino fecundará a cada uno de los cuatro tipos de gametos femeninos. Por eso Mendel, aplicando sus conocimientos matemáticos sobre probabilidades, dedujo que en el proceso de la fecundación cada tipo de gameto masculino (***AB***, ***Ab***, ***aB***, ***ab***) se une con igual frecuencia, con cada uno de los cuatro tipos de gametos femeninos (***AB***, ***Ab***, ***aB***, ***ab***). El resultado es la formación de individuos dihíbridos, pues contienen diferentes combinaciones de genes de dos caracteres diferentes.

En este caso, en el ordenamiento de los datos a procesar, y la determinación de probabilidades genotípicas y fenotípicas en la segunda generación filial (F_2) derivada del cruzamiento dihíbrido, se puede utilizar una tabla de doble entrada como se representa en la figura 5.8.

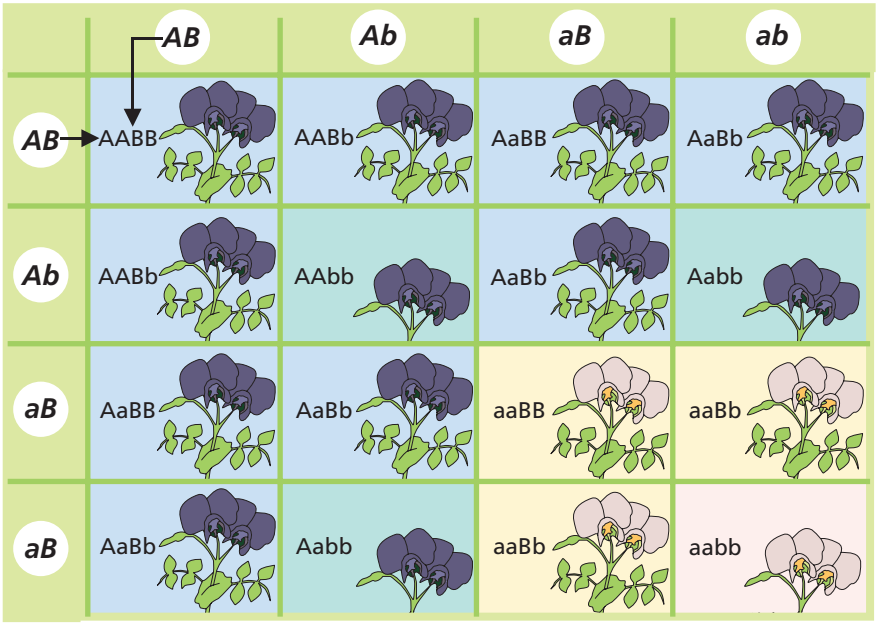


Fig. 5.8 Resultados de un cruzamiento dihíbrido, en la segunda generación filial

Este patrón de cruzamiento en el que se observan dos caracteres con alternativas contrastantes da por resultado en la segunda generación filial, una descendencia de individuos híbridos para dos caracteres

cuyo genotipo posee combinaciones heterocigóticas en ambas parejas de alelos.

Si en el tablero de Punett anterior realizas el conteo de plantas que tienen la probabilidad de derivarse de cada fenotipo, encontrarás nueve plantas con flores moradas y tallo alto, tres de flores moradas y tallo bajo, tres más de flores blancas y tallo alto, y una sola planta de flores blancas y tallo bajo. Aplicando métodos estadísticos Mendel describió en la segunda generación filial la proporción matemática 9:3:3:1. En el caso de los genotipos encontró que aparecen en la descendencia nueve tipos diferentes de combinaciones. Al realizar el análisis matemático de la segunda generación filial, comparando varios cruzamientos dihíbridos y trihíbridos en los que utilizó diferentes combinaciones, Mendel encontró que la proporción fenotípica 9:3:3:1 se repetía como una regularidad en todos los casos, descubriendo así un mismo patrón de comportamiento en la transmisión de los genes. De este modo llegó a la conclusión de que en la unión dihíbrida, la relación de cada una de las parejas de alelos de caracteres diferentes es independiente de las otras parejas.

Estas conclusiones corresponden a lo que se conoce como ***Ley de la distribución o transmisión independiente***, en cuya formulación plantea que:

> Los alelos de dos o más genes diferentes se reparten en los gametos de forma independiente el uno del otro.

Con esta ley se reconoce que cada par de genes alelos se transmite a las células reproductoras, durante la meiosis de manera independiente, a las demás parejas de alelos que existen en la misma célula y que determinan otros caracteres diferentes (figura 5.9). Por lo tanto, cada par de alelos sigue un patrón de herencia propio según sus particularidades.

Como has podido apreciar, los trabajos de Mendel parten de resultados empíricos obtenidos de experimentos realizados con organismos vegetales en parcelas experimentales. El análisis matemático de estos lo llevó a descubrir patrones de comportamiento en los genes durante su trasmisión a las subsiguientes generaciones, a partir de los cuales indujo regularidades válidas para cualquier otro tipo de organismo diploide de reproducción sexual.

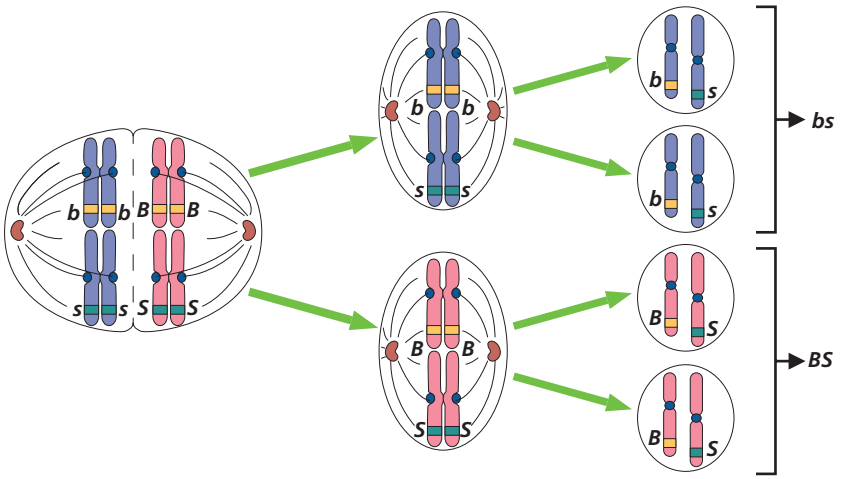


Fig. 5.9 Distribución independiente de genes alelos en cromosomas homólogos durante la meiosis

Estas regularidades se conocen actualmente como leyes de la herencia y constituyen un aporte fundamental a la ciencia. Su gran importancia radica en que a través de ellas se pueden explicar las causas del fenómeno de la herencia en los organismos, proponiendo modelos matemáticos del proceso de transmisión del material genético de generación en generación, lo que permite también explicar el fenómeno de la evolución.

A pesar de su valía, estas regularidades sobre la herencia descubiertas por Mendel no fueron comprendidas por la comunidad científica de una época en la que no era usual la aplicación de la estadística en los trabajos descriptivos de historia natural, botánica y zoología, que eran los que predominaban. Treinta años después, tres científicos (Hugo de Vries, Carl Correns y Erich von Tschermak), de manera independiente y en diferentes países, redescubrieron en las bibliotecas el manuscrito donde Mendel informó sus resultados y le dieron su valor real.

5.2.2 ¿Cómo interactúan los genes entre sí y con el medio ambiente, durante la transmisión de los caracteres hereditarios?

Cuando se cruzan dos líneas puras de una planta de maravilla de flores rojas con otra de flores blancas se obtienen descendientes cuyas flores no

son, ni rojas ni blancas, como era de esperarse según los postulados mendelianos antes estudiados, sino que las flores son rosadas.

- ¿Significa esto que los postulados de Mendel no se aplican a todos los tipos de plantas y al resto de los organismos?
- Si así fuera, ¿por qué son entonces consideradas como leyes?

Al inicio de los estudios genéticos se pensaba que cada gen determina una característica puntual, sin embargo, hoy se sabe que no es así, pues los genes generalmente no actúan solos, sino que se encuentran en interacción conformando un sistema en el que cada uno desempeña una función, y varios de ellos de manera coordinada, pueden integrarse y determinar una misma característica. Esto es una evidencia más de la integridad biótica que caracteriza a los sistemas vivientes.

Mendel al descubrir la dominancia y la recesividad, y otras formas reveladas más tarde, expuso magistralmente que estas interacciones génicas suelen tener lugar entre genes alelos, pero también pueden ocurrir entre genes no alelos. Estos últimos pueden interactuar entre sí aunque se encuentren en diferentes ***locus***, es decir, en sitios diferentes del mismo cromosoma (cercanos o no) e incluso encontrándose en diferentes cromosomas.

En la actualidad se sabe que cada una de las dos cromátidas que conforman a un cromosoma está constituida por una sola molécula de ADN, y que cada gen es en realidad un segmento de esa molécula. También se sabe que en los organismos diploides, los cromosomas homólogos suelen tener genes similares localizados en posiciones específicas denominadas ***locus*** (plural: ***loci***), y constituyen localidades o posiciones físicas en el cromosoma.

En el par de cromosomas homólogos de las células diploides, cada alelo tiene procedencia diferente: uno procede del espermatozoide y el otro del óvulo (ver la figura 5.6), es por eso que los genes alelos situados en un mismo ***locus*** pueden ser diferentes.

El patrón más conocido es la interacción de dominancia y recesividad estudiada por Mendel en la planta ***Pisum sativum***, y es común a las demás especies diploides; este patrón se denomina dominancia completa. En el ejemplo de la planta maravilla presentado al inicio de este epígrafe pudiera parecer que no se cumple el principio de la segregación, pero en realidad se trata de otro tipo de interacción entre alelos: la dominancia

incompleta, también denominada herencia intermedia, debido a que el fenotipo de la descendencia en la F_1 constituye un carácter intermedio entre los dos progenitores, con formas contrastantes de un mismo carácter.

En este caso, la descendencia obtenida de la autopolinización de la F_1 dará una segunda generación filial F_2, con una proporción fenotípica y genotípica iguales, es decir 1:2:1 (figura 5.10). Como puedes observar, para la representación de los genotipos en este tipo de cruzamiento no se utiliza la misma simbología mendeliana (letras mayúsculas y minúsculas) pues no hay alelo recesivo ni dominante, por eso se utilizan dos letras iguales (ambas mayúsculas o minúsculas) adicionando un número en un superíndice o subíndice.

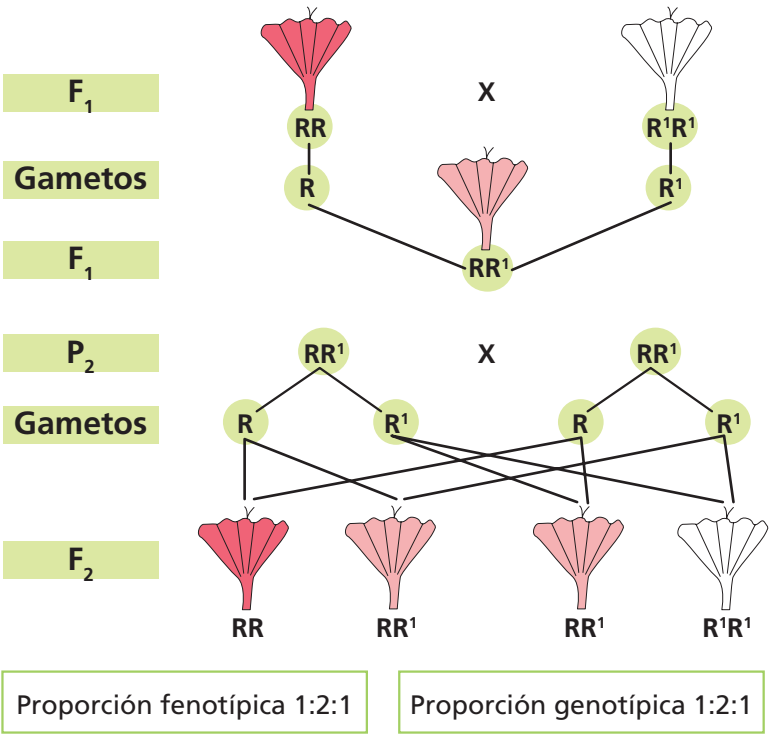


Fig. 5.10 Resultados del cruzamiento entre plantas de maravilla (***Mirabilis jalapa***)

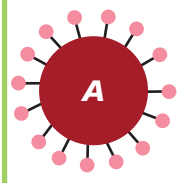
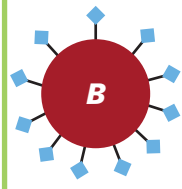
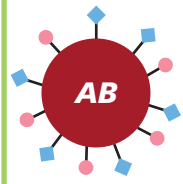
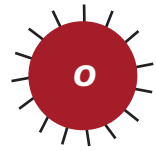
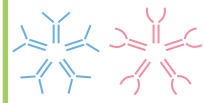
Un ejemplo de transmisión de caracteres a través del patrón de herencia intermedia en la especie humana es el del tipo de cabello. El cabello ondulado es el resultado del cruzamiento entre un individuo de cabello lacio y otro de cabello rizado, por ejemplo: C_1C_1 representa el

genotipo de cabello lacio, C_2C_2 el de cabello rizo, mientras que C_1C_2 el de cabello ondulado.

Otro fenómeno muy importante es la codominancia, que determina por ejemplo, la presencia de diferentes grupos sanguíneos. Como su nombre lo indica en esta interacción ambos alelos se manifiestan al mismo tiempo en la expresión fenotípica; esto se logra al producirse en los híbridos de forma simultánea, un fenotipo con características de ambos progenitores (este es el caso del grupo sanguíneo ***AB***). Por lo tanto, ya no debe referirse a alelo dominante y recesivo; en este caso el resultado se representa con letras mayúsculas.

Existen cuatro grupos sanguíneos clásicos, cada uno determinado por diferentes genotipos, esto se debe a que los antígenos se distribuyen de diferentes maneras en los eritrocitos, mientras que los anticuerpos aglutinadores del suero lo hacen en el plasma sanguíneo (tabla 5.2).

Tabla 5.2 Características de los grupos sanguíneos humanos

	Grupo *A*	Grupo *B*	Grupo *AB*	Grupo *O*
Antígenos en eritrocitos				
Anticuerpos en plasma sanguíneo	Anti-*B*	Anti-**A**	Ninguno	 Anti-*A* y Anti-*B*
Genotipos	$I^A I^A$ $I^A i$	$I^B I^B$ $I^B i$	$I^A I^B$	$i\ i$

En este caso, en vez de presentarse solo dos formas alélicas, encontramos una serie alélica formada por tres genes alelos: el alelo I^A, determina el fenotipo A; el alelo I^B determina el fenotipo B; el alelo i, que es recesivo, en combinación homocigótica determina el grupo 0. Como ves, además de

codominancia entre los alelos I^A e I^B, también se manifiesta dominancia completa de estos dos genes con relación al alelo ***i***, pues este último al ser recesivo solo se manifiesta en combinación homocigótica, y aunque está presente en los individuos heterocigóticos de grupo sanguíneo ***A*** y ***B***, no se expresa debido a la dominancia de los genes I^A e I^B.

Aplicación práctica

El conocimiento de la presencia de los alelos I^A, I^B e ***i*** en el ser humano y su fácil identificación en los grupos sanguíneos, evita el cometer errores al administrar transfusiones de sangre y sus derivados (plasma, plaquetas, etc.); en otros tiempos, antes de desarrollarse las modernas técnicas de ADN recombinante fueron ampliamente utilizados en casos de paternidad dudosa. También permite la descripción de las poblaciones humanas de diferentes regiones del planeta; por ejemplo, se conoce que el grupo ***0*** predomina en países como Cuba, Perú y República Democrática del Congo, mientras que el ***B*** está más extendido en la India y países del sur de Asia como Vietnam. En Cuba el 49,03 % de la población presenta sangre de tipo ***0***, el 36,28 % tipo ***A***, el 11,20 % tipo ***B***, y solo el 3,09 % ***AB***. En las personas negras o mestizas predomina el grupo ***0***, y el menos frecuente es el ***AB***.

La determinación de un carácter está sujeta la mayoría de las veces a la acción de un sistema de genes que se complementan, y el resultado de esto puede ser la manifestación de determinado rasgo anatómico, la síntesis de alguna enzima, o la degradación de determinado sustrato como parte del metabolismo. Por ejemplo, en la definición del color del pelaje en los conejos interactúan más de 12 pares de genes, mientras que en la forma de los ojos de la mosca de las frutas participan más de 100. La actuación en sistema de muchos genes al determinar un mismo carácter, corresponde al patrón de herencia poligénica.

El ejemplo más cercano es el color de nuestra piel. Como debes recordar, este rasgo fenotípico es debido a la existencia del pigmento melanina en los melanocitos (células localizadas en la epidermis). Actualmente se piensa que en la determinación de este carácter intervienen alelos representantes de cuatro o más ***loci*** distintos, con patrón de dominancia incompleta. Mientras más alelos dominantes estén presentes, más oscura será la piel, debido a que estos determinan dicha característica de manera aditiva.

Simplificando el análisis solo a tres pares de genes, tendremos que las personas portadoras del genotipo homocigótico dominante para los tres pares de alelos: ***AABBCC*** mostrarían una piel más oscura, mientras que las personas con la piel más clara portarían el genotipo homocigótico recesivo (***aabbcc***). Todos los miembros de la descendencia de un matrimonio entre dos personas con estos dos genotipos extremos, tendrían un color de piel intermedio, y su genotipo sería ***AaBbCc***. La descendencia (generación) del matrimonio entre dos personas que porten este genotipo intermedio trihíbrido (heterocigótico para los tres genes) tendría colores de piel en una gama amplia de variantes de muy oscuro a muy claro, como puedes observar en la figura 5.11.

Fig. 5.11 Posibles combinaciones del color de piel resultado del cruzamiento de dos personas mestizas (***AaBbCc***)

El color de la piel, el tipo de cabello, la forma de la nariz, del mentón y otros rasgos fenotípicos, son determinados por un insignificante grupo

de genes. Estos rasgos han sido utilizados históricamente para diferenciar a las mal llamadas "razas humanas" e imponer así el criterio errado y discriminatorio de supremacía de unas sobre otras.

Reflexiona

Los seres humanos compartimos más del 99,8 % de los genes, lo que ha llevado a los científicos a la conclusión de que la sola presencia de características diferentes no da lugar a distintas razas, como ocurre en el resto de las especies de animales, en los que las diferencias genéticas entre razas es significativa. Las diferencias observadas entre los diversos grupos humanos están relacionadas con las adaptaciones a diferentes condiciones climáticas que enfrentaron durante miles de años en el proceso evolutivo, mientras migraban a diversas regiones geográficas, partiendo del continente africano hacia el resto de los territorios.

Otros ejemplos de herencia poligénica son los patrones de las huellas dactilares, el color de los ojos, algunas de las enfermedades crónicas más frecuentes como el cáncer, la hipertensión arterial, la enfermedad de Alzheimer, la diabetes y la obesidad. Se conoce que en la susceptibilidad de padecer el cáncer de mama influyen múltiples genes, y aunque se sabe que también influyen factores ambientales tanto internos como externos (origen multifactorial), no es menos cierto que cuando existe la predisposición genética a padecer estas enfermedades, hay más probabilidades de que estas se produzcan.

La talla de los adultos varía de unos 125 cm a 215 cm, sin embargo, la mayoría se concentra alrededor de la media (170 cm). Los genes que codifican caracteres de variación continua por el efecto aditivo de múltiples genes dan origen al patrón de herencia cuantitativa (fig. 5.12), nombrada así por la posibilidad que ofrecen sus efectos en el fenotipo de ser expresados por una variable numérica. La herencia de la estatura en el ser humano involucra alelos representantes de diez o más ***loci***.

El peso y el contenido de vitaminas en los frutos, así como la producción de leche por el ganado, son otros ejemplos en los que se evidencia el efecto acumulativo de múltiples genes, como sucede en la mayoría de los caracteres de los organismos. Los pares de genes alelos que determinan este tipo de carácter son los más afectados por factores ambientales (abióticos y bióticos), y su expresión depende de su **norma de reacción** ante la influencia de estos.

La norma de reacción es el conjunto de todos los fenotipos posibles que un genotipo dado puede producir bajo todas las condiciones ambientales favorables o desfavorables, naturales o artificiales.

La humedad y la presencia de nutrientes en el suelo influyen en el peso del fruto, las radiaciones solares en el color de la piel, la calidad de la hierba y del agua, en la producción de leche en la vaca, etc. (figura 5.12).

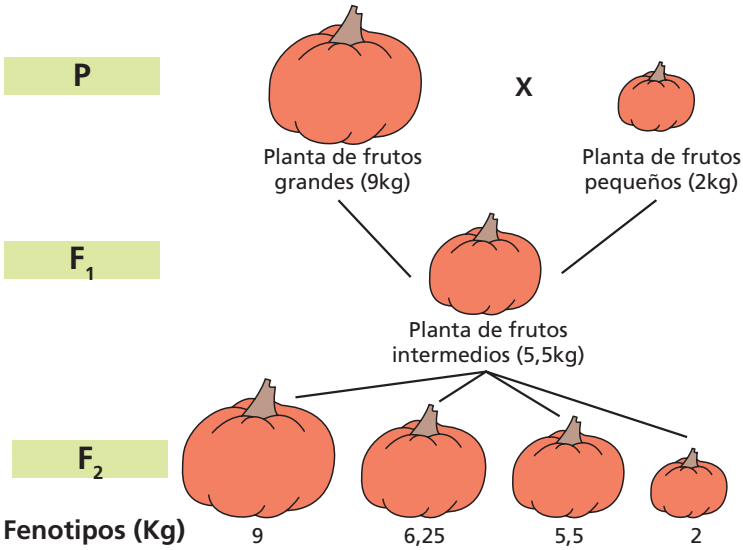


Fig. 5.12 Patrón de herencia cuantitativa en los frutos de la calabaza (***Cucurbita maxima***)

La norma de reacción del genotipo ante los cambios ambientales es más amplia para algunos caracteres que para otros. Por ejemplo, en el ganado vacuno mientras los rendimientos de leche y peso varían considerablemente según la calidad y cantidad de alimento (norma de reacción amplia), el color del pelaje y otros caracteres permanecen constantes ante las condiciones más diversas (norma de reacción estrecha).

¿? ¿Sabías que...?

La norma de reacción amplia es propia de los caracteres de variación continua, también denominada herencia cuantitativa. Así se puede comprender

por qué nuestro peso corporal, el color de nuestra piel o una gran masa muscular (caracteres determinados por poligenes), se modifican constantemente en dependencia de nuestra dieta, la mayor o menor exposición al sol, o la realización sistemática de un fuerte entrenamiento físico (norma de reacción amplia), a diferencia del color de nuestros ojos o del tipo de grupo sanguíneo, que son constantes debido a que están determinados por una sola pareja de genes alelos con una norma de reacción estrecha.

Las variaciones que surgen como resultado de la incidencia de factores ambientales en ocasiones pueden generarnos confusión, al considerar al mismo tipo de organismo como de una especie diferente. Por ejemplo, uno de los mangles de Cuba, la yana, durante mucho tiempo fue considerado como dos especies diferentes, pues cuando crece en costas bajas y pantanosas puede llegar medir hasta 20 m de alto, mientras que en las costas rocosas crece como un arbusto muy ramificado y extendido, y no sobrepasa los 70 cm de altura.

Aplicación práctica

El mejoramiento de los caracteres de variación continua, en su mayor parte explotados por el ser humano (tanto en plantas como en animales domésticos), requiere de una atención esmerada y sistemática a las condiciones de cultivo y cría; de esta manera se logra la expresión de genotipos acordes a las condiciones climáticas del país. Por ello en los planes de desarrollo agropecuario para el logro de la soberanía alimentaria está incluida la producción ascendente de alimento animal, el incremento de la calidad de los pastos, y el abasto suficiente de agua destinada a regadío.

5.2.3 ¿Cómo se han aplicado las leyes de la herencia en la mejora de variedades de plantas y razas de animales domésticos?

Desde tiempos remotos el ser humano transforma la naturaleza que le rodea: domestica animales salvajes, cultiva plantas, selecciona las mejores plantas y animales, para su alimentación, transportación, elaboración de materiales de construcción y ornamentación de sus viviendas, entre otros usos; este accionar le permite lograr estabilidad en sus cosechas, obtener alimentos con alto rendimiento (leche, carne y huevos), resistir ante ambientes

hostiles, etc. Este proceso de selección continua a través de los siglos ha ido modificando las características de estos organismos hacia determinados fenotipos, en respuesta a las necesidades y gustos de los grupos humanos, que se han ido trasmitiendo de generación en generación.

Para ello se han aplicado la selección y el cruzamiento, dos métodos básicos utilizados por agricultores, ganaderos, y en la industria, en la creación de nuevas variedades de plantas, razas de animales y cepas de microorganismos, adaptados a las necesidades del ser humano, y en la búsqueda de mejorar los ya existentes (figura 5.13). Actualmente estos métodos se siguen aplicando, pero han ido ganando mayor relevancia los métodos derivados del desarrollo de la citología y de la genética molecular, como el cultivo de tejidos y la ingeniería genética.

Fig. 5.13 Animales y plantas resultantes de selección y cruzamiento artificiales

La selección y el cruzamiento están encaminados fundamentalmente a elevar la productividad en la producción animal y agrícola, basados no solo en la simple elección de los mejores individuos en la naturaleza salvaje, sino en los principios biológicos, fundamentalmente de la genética.

De la historia

En el siglo XIX Charles Darwin estudió profundamente la variabilidad en los animales domésticos, notando las dificultades que se confrontaban al distinguir entre especies y variedades. Centró su atención en el origen y las diferencias de las variedades de palomas domésticas, los principios y efectos de la selección artificial seguidos desde la antigüedad que sentaron las bases para formular su teoría del origen de las especies mediante selección natural. Esta teoría lo consagró como el más importante aporte a la investigación de las causas de la evolución en este siglo con un enfoque científico materialista.

Durante mucho tiempo la selección artificial siguió criterios de elección empíricos. Con el auge de la genética a inicios del siglo XX y el redescubrimiento de las leyes de la herencia, muchos científicos se dedicaron a los estudios de selección artificial (figura 5.13). Entre estos se destacaron el suizo Alphonse de Candolle (1806-1893) y el eminente genetista soviético Nikolái Ivanovich Vavílov (1887-1943), precursor del mejoramiento genético para elevar la producción agrícola en la Unión Soviética (figura 5.14), que en 1926 publicó su libro "Estudio sobre el origen de las plantas cultivadas", en el que llegó a establecer una teoría de la selección.

Fig. 5.14 Nikolái Ivanóvich Vavílov

La erosión genética es un fenómeno caracterizado por la reducción o extinción de especies en el planeta, y constituye una limitante para los trabajos de selección y cruzamiento con vistas a la producción de variedades y razas más productivas y adaptadas.

Dentro de las acciones de conservación de la diversidad genética se encuentra la creación de bancos de germoplasma, que son colecciones vivientes de semillas, plantas, esperma, embriones, polen o cultivo de tejidos. Estos bancos aportan materiales y datos útiles a los investigadores para la producción de cultivos resistentes a plagas y enfermedades, contrarrestan las constantes modificaciones en la agricultura, la perturbación de los ecosistemas y la regresión de las vegetaciones naturales.

Reflexiona

Ciertas transnacionales productoras de alimentos, productos farmacéuticos, cosméticos u otras sustancias útiles, envían personal a países del tercer mundo a identificar variedades silvestres con potencialidades comerciales propias de su biodiversidad, y luego mediante diferentes procederes engañosos, consiguen información de los nativos acerca de las propiedades de esas plantas; más tarde las extraen clandestinamente de estos países y purifican las sustancias activas, con las que elaboran productos. Estos son luego patentados y vendidos a altos precios a los mismos pueblos de donde extrajeron el conocimiento y la materia prima. ¿Qué opinas sobre esta práctica?

En 2010 como parte del Convenio de Diversidad Biológica, se firmó en la Organización de Naciones Unidas (ONU) el Protocolo de Nagoya, que es un acuerdo internacional sobre el acceso a los recursos genéticos y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de su utilización. Este protege a las naciones de acciones inmorales como las descritas anteriormente. En Cuba se han establecido regulaciones para la utilización de los recursos genéticos y los organismos genéticamente modificados, que más adelante conocerás.

Como es de suponer, cada especie, raza, o variedad, requiere de un conjunto de condiciones ambientales (clima, suelo, agua, etc.) en las que se manifiestan sus cualidades positivas. Esto es debido a la influencia del medio ambiente y a la adaptación alcanzada en los organismos durante el proceso evolutivo, por eso en una misma región existen variedades que se desarrollan mejor en unas zonas que en otras; del mismo modo, las variedades que se adaptan bien a una determinada área geográfica no lo hacen en otras de características diferentes.

En varios países del mundo, incluyendo a Cuba, existen instituciones científicas como los institutos, estaciones experimentales y centros genéticos, donde personal técnico y profesional ejercen esta compleja e importante labor. Entre las diferentes profesiones que desarrollan estas investigaciones se encuentran la ingeniería agrónoma, la medicina veterinaria, la ingeniería forestal, la biología y la microbiología.

En nuestro país existen centros de investigaciones (Fig. 5.15) que realizan estudios, cuyo objetivo fundamental está dirigido a la obtención de semillas de alta calidad para la selección e introducción de mejores variedades de caña de azúcar, pastos, forrajes, cítricos, arroz, café, tabaco,

viandas, frutas, vegetales, árboles maderables y otros cultivos de importancia económica. También se realizan acciones que persiguen impulsar el desarrollo de nuestra masa ganadera e incrementar los índices de gestación y natalidad, y así incrementar, la productividad de las empresas y cooperativas del sector estatal y no estatal, contribuyendo a la soberanía alimentaria de nuestro pueblo.

Fig. 5.15 Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical

Los caracteres que con más frecuencia se seleccionan en la búsqueda de una masa ganadera de mayor calidad son: el que cuenten con un elevado contenido de proteínas y nivel de masa muscular, que el intervalo entre partos sea corto, y la resistencia a determinadas enfermedades y a las altas temperaturas, entre otras características fenotípicas.

Reflexiona

Con la aplicación de métodos genéticos se ha logrado el desarrollo de especies vacuna, avícola, porcina, y equina, entre otras. Sin embargo, los índices alcanzados no satisfacen aún las necesidades crecientes de alimentos de la población, por eso es necesario elevar la producción animal y diversificar también la de vegetales comestibles, incrementando las especies usualmente utilizadas e incorporando otras igualmente nutritivas, pero que no son utilizadas tradicionalmente con este fin; para esto se requiere la educación nutricional del pueblo. ¿Cómo podrías tú contribuir al cumplimiento de estos objetivos?

Los métodos de cruzamiento se aplican como complemento de los de selección y se pueden realizar de dos formas: por consanguinidad o por hibridación interlineal.

La consanguinidad es el cruzamiento entre parientes de características semejantes en el que se obtienen líneas puras que perpetúan los caracteres de los progenitores en la descendencia.

Con los cruzamientos consanguíneos se logra un aumento de homocigosis en la descendencia; el resultado es una población genéticamente semejante que puede provocar depresión consanguínea, que consiste en una disminución de las características deseadas, como la fertilidad y el vigor.

¿? ¿Sabías que...?

En la especie humana también se manifiesta la consanguinidad. La descendencia que se obtiene de matrimonios entre parientes (primos, hermanos, etc.) tiene grandes probabilidades de presentar trastornos genéticos producidos por genes recesivos que hayan tenido sus antecesores (aunque ellos no los manifiesten); estos genes pueden reaparecer en combinación homocigótica en la descendencia.

La hibridación interlineal es el cruzamiento entre individuos de diferentes características, para la obtención de híbridos con mejores resultados productivos.

En la descendencia de este tipo de cruzamiento se manifiesta el fenómeno de ***vigor híbrido***, llamado también ***heterosis*** o ***superdominancia***, que consiste en que el heterocigótico puede exceder la medida fenotípica de ambos progenitores homocigóticos.

La heterosis se manifiesta en la descendencia de cruzamientos entre individuos genéticamente diferentes, y se caracteriza por un amplio desarrollo de características fenotípicas positivas como la resistencia a enfermedades; la alta producción de leche, carne y frutos, entre otras características deseadas. Esta se presenta en casi todos los cultivos importantes (como los híbridos de maíz, tomate, pimiento), con una alta productividad y resistencia ambiental, y en los cruzamientos que se efectúan para la obtención de mejores razas de animales domésticos.

La descendencia de un cruzamiento interlineal supera en algunas de las características a cada uno de los progenitores. Por ejemplo, la F_1 resultante del cruzamiento entre ganado de razas Holstein (alta productora de leche) y Cebú (alta productora de carne) produce más leche que su madre

Cebú, y la calidad de esta en cuanto a proteínas y grasas, es superior a la de la raza Holstein. El inconveniente es que esta capacidad no se mantiene en las generaciones posteriores, por lo que es necesario realizar cruzamientos dirigidos a estabilizar el porcentaje de genes relacionados con los caracteres deseados que más se asemejen a los de la F_1.

Saber más

En nuestro país se han obtenido logros importantes en la selección y el cruzamiento de plantas y animales, que contribuyen al desarrollo económico y social. Entre los logros obtenidos podemos señalar las variedades de tomate HC-108 de primavera y tropical C-28-V, y la Riza-15 y Chile 1 185-3 de lechuga; estas presentan altos rendimientos y características que hacen posible que se puedan cosechar durante muchos meses del año.

El Programa Nacional de Mejoramiento Genético se desarrolla con el propósito de obtener razas buenas productoras y adaptadas a nuestro clima. Con la aplicación de este programa se obtuvo la raza de cerdo CC-21, productora de carne, cuyas características fenotípicas superan en calidad a otras razas; los machos de esta raza son utilizados como sementales en los cruzamientos. También se han mejorado las líneas de aves ponedoras. Algunas de las razas obtenidas en el ganado vacuno se presentan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Resultados de cruzamientos de ganado en Cuba

Fenotipos	Razas obtenidas	Progenitores	
Producción de leche	Holstein Tropical	Holstein	F_1 (de Holstein y Cebú)
	Taíno de Cuba	Holstein	Criollo de Cuba
	Siboney de Cuba	Holstein	Cebú
Producción de carne	Crimousin	Limousin	Criollo de Cuba
	Chambrais	Charolaise	Brahman
	Chacuba	Charolaise	Cebú

De la historia

En nuestro país por los años 80 del siglo XX, con la aplicación de métodos genéticos se logró una vaca productora de leche a la que se llamó Ubre Blanca, ejemplar de la raza Mambí que llegó a establecer récords mundiales al producir 120 litros de leche diarios (27 672,8 litros de leche en un año), (figura 5.16).

Fig. 5.16 Visita del Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz al centro de cuidados de Ubre Blanca

Comprueba lo aprendido

1. Demuestra mediante ejemplos cotidianos observados por ti, cómo la herencia incluye fenómenos de estabilidad y cambios en los organismos. Argumenta cada caso basado en la relación genotipo-ambiente-fenotipo.

2. Enumera las dos leyes esenciales descubiertas por Mendel y explica cómo tuvieron su confirmación posterior, al descubrirse los cambios celulares que ocurren en la meiosis.

3. Realiza predicciones acerca de los genotipos y fenotipos de la descendencia en los siguientes cruzamientos realizados por Mendel (auxíliate de los datos de la tabla 5.1) y efectúa la modelación de los genes, utilizando diferentes letras mayúsculas y minúsculas:

a) Autopolinización de una planta híbrida F_1 de semillas redondas.
b) Una planta pura de legumbres, con constricciones, con otra híbrida de legumbres hinchadas.
c) Dos plantas de tallo alto que originan descendientes de tallo alto y bajo.
d) La autopolinización de una planta dihíbrida que todas sus semillas son redondas y amarillas.
e) Una planta dihíbrida de flores moradas y axiales, con otra de flores blancas terminales.

4. Una persona de cabello ondulado se casa con otra de cabello rizo, prediga cuál es la probabilidad de que tenga un hijo de cabello lacio.

5. Del matrimonio entre una mujer afectada y un hombre sano, resultó un hijo con el síndrome de Waardenburg, enfermedad dominante autosómica que se caracteriza por heterocromía del iris, un mechón de cabello blanco, y sordera, frecuentemente severa y bilateral. La presencia de un mechón de cabello blanco sin otra manifestación anormal en el fenotipo se denomina piebaldismo.
a) Representa el matrimonio, la posible descendencia e indica cuál es el hijo afectado.
b) ¿Qué probabilidad tiene este hijo de tener hijos afectados si contrae matrimonio con una mujer sin esta afectación?

6. En una misma población de cierta ave se establecieron los genotipos de los genes ***g*** y ***c***, que dan origen a los fenotipos de tamaño y forma del pico respectivamente. Estos genes se comportan de acuerdo con las leyes de dominancia-recesividad y segregación independiente de Mendel. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

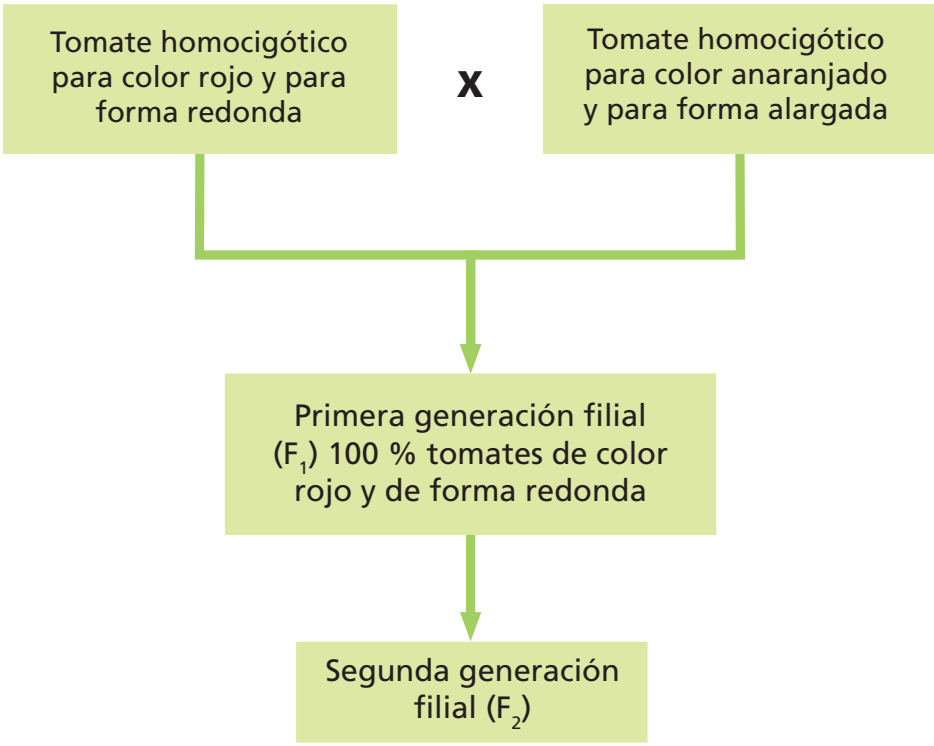
Tabla 5.4 Tamaño y forma del pico en las aves

Fenotipos	Genotipos
Pico grande agudo	***GGcc*** o ***Ggcc***
Pico corto curvo	***ggCC*** o ***ggCc***

7. Todos los polluelos nacidos del experimento de apareamiento de algunas aves presentaron el genotipo ***GgCc***, y mostraron un pico grande y curvo. El genotipo de los padres de estos polluelos es (selecciona la respuesta correcta):

__ ***Ggcc – ggCC***
__ ***GgCC – ggCC***
__ ***GGcc – ggCC***
__ ***ggCc – ggCc***

8. Un granjero utiliza las semillas de tomates rojos y jugosos en la creación de nuevas plantas. A fin de aumentar la producción de tomates rojos y redondos, decide usar semillas de la primera generación filial F_1 proveniente del cruzamiento presentado a continuación:



Se puede decir que la opción que tomó el agricultor es:

__ conveniente, porque todos los descendientes son rojos y redondos;
__ inconveniente, porque aunque la mayoría de tomates son rojos, su forma es alargada;

__ conveniente, porque obtiene tomates rojos y redondos en la mayoría de los descendientes, o
__ inconveniente, porque el porcentaje de descendencia de tomates rojos y redondos es poco en relación con el de color anaranjado y forma alargada.

9. En ciertas reses, el color del pelo puede ser rojo, blanco o ruano (mezcla de pelaje rojo y blanco).

a) Al aparear un toro rojo con una vaca blanca, ¿qué genotipos y fenotipos se deberían obtener en su descendencia? Representa el cruzamiento y fundamenta tu respuesta.

b) Si uno de los descendientes del inciso anterior, se apareara con una vaca blanca, ¿qué genotipos y fenotipos se obtendrían en su descendencia y en qué proporción?

10. En la planta llamada dondiego de la noche las flores pueden ser de color rojo, blanco, y rosadas (estas últimas solo se manifiestan en las plantas heterocigóticas). De los siguientes cruzamientos en que se muestra el genotipo de los padres, ¿cuáles son los gametos producidos por cada progenitor, y cuál será el color de las flores de la descendencia?

- $R^1R^2 \times R^1R^1$
- $R^2R^2 \times R^1R^2$
- $R^1R^1 \times R^2R^2$
- $R^1R^2 \times R^1R^2$

a) ¿Cómo pueden obtenerse semillas de dondiego de la noche para que todas produzcan plantas de flores rosadas?

11. Valora el siguiente planteamiento: en las células, los genes se encuentran en interacción mutua conformando un sistema coordinado y regulado, en el que cada uno desempeña una función que contribuye al funcionamiento del genoma como un todo.

12. Explica la relación existente entre la herencia poligénica, la herencia cuantitativa, y la norma de reacción del genotipo en interacción con el ambiente. Argumenta la importancia que tiene esta relación en la agricultura y la ganadería.

13. Analiza los datos de la siguiente tabla y elabora una hipótesis que explique las variaciones en la cantidad de eritrocitos de la sangre en la misma persona, a diferentes alturas:

Tabla 5.5 Relación entre la cantidad de eritrocitos y la altura

Altura (m)	Eritrocitos (millones)
0	4,2
1300	5,2
2400	6,0
3700	6,8
4100	7,5
4800	7,8
5600	8,3

14. Argumenta la importancia que han tenido en la historia de la humanidad los métodos de selección y cruzamiento genéticos en la solución de los problemas de supervivencia, y en la conservación de la biodiversidad. Ejemplifica las medidas que se toman a fin de evitar la erosión genética.

15. Demuestra los logros de Cuba en las labores de mejoramiento genético, con vistas a solucionar los problemas de la alimentación del pueblo y lograr la soberanía alimentaria.

16. ¿Qué importancia tiene para nuestro país en los momentos actuales, las profesiones que se basan en los logros de las ciencias biológicas y sus aplicaciones, como las de ingeniero agrónomo y médico veterinario? ¿Te interesarías por su estudio? Fundamenta tu respuesta.

17. Compara los fenómenos de heterosis y consanguinidad, y expón las causas de su manifestación. ¿Qué importancia tienen en la agricultura y la ganadería? Ejemplifica en cada caso.

5.3 Los genes ligados al sexo se localizan en los cromosomas sexuales y se distribuyen a las células hijas durante la meiosis

La hemofilia es una enfermedad hereditaria que afecta al sexo masculino y se caracteriza por una alteración en la coagulación de la sangre; esta puede tener complicaciones graves en caso de producirse hemorragias en las personas que la padecen.

Si un hombre hemofílico se casa con una mujer normal esta enfermedad será heredada por algunos de sus nietos, mientras que sus hijas, hijos y nietas estarán a salvo de padecerla.

Reflexiona

- ¿Por qué solo los nietos varones pueden padecer la enfermedad?
- ¿Por qué los hijos (tanto hembras como varones) no heredan dicha enfermedad del padre?
- ¿Existe relación entre el sexo y algunos caracteres hereditarios?
- ¿Habrá diferencias entre las células de individuos de sexos diferentes?

Luego de la muerte de Mendel, en las ciencias biológicas ocurrieron importantes descubrimientos vinculados con su hipótesis de los factores de la herencia. El perfeccionamiento de los microscopios ópticos y el desarrollo de las técnicas citoquímicas posibilitaron profundizar en el estudio del núcleo y los cromosomas, descubriéndose la existencia de cromosomas sexuales, los procesos de mitosis y meiosis, y el entrecruzamiento entre cromosomas homólogos durante este último proceso de división celular.

- ¿Cómo intervienen los cromosomas en la trasmisión de la herencia?
- ¿Qué relación existe entre los factores o genes identificados por Mendel y los cromosomas observados en las células?

Estas y muchas más interrogantes vinculadas con los cromosomas y la herencia las podrás dilucidar en este epígrafe; también podrás resolver problemas sobre trastornos genéticos y enfermedades humanas vinculados con este fenómeno, como la que antes te presentamos.

5.3.1 ¿Qué relación tienen los cromosomas con la herencia?

En los primeros años del siglo XIX varios citólogos estuvieron estudiando el problema de la segregación durante el proceso de meiosis, pero sin vincularlo con los trabajos de Mendel. En 1902 Walter Sutton, un estudiante universitario de Estados Unidos, y un conocido citólogo alemán llamado Theodor Boveri (figura 5.17) publicaron de manera independiente, unos artículos en los que hacen un paralelismo entre el comportamiento de los cromosomas meióticos y los principios mendelianos recién descubiertos.

Fig. 5.17 Creadores de la teoría cromosómica de la herencia.
De izquierda a derecha: Walter Sutton (1877- 1916) y Theodor Boveri (1862-1915)

En la figura 5.9 se representa el paralelismo entre la meiosis y el comportamiento de los genes alelos situados en cromosomas homólogos. Los razonamientos de este fueron los siguientes:

- Los genes vienen en parejas, como los cromosomas homólogos.
- Los alelos de un gen se distribuyen igualitariamente en los gametos, como lo hacen los miembros de un par de cromosomas homólogos durante la división celular (Ley de la segregación).

- Genes distintos actúan de forma independiente, como los diferentes pares de cromosomas (Ley de la trasmisión independiente).
- La distribución al azar de los cromosomas en la placa metafásica podría explicar el principio mendeliano de la transmisión independiente.

Estos descubrimientos que integran la genética con la citología, conllevaron al postulado de una hipótesis que luego se convertiría en la teoría cromosómica de la herencia; los postulados esenciales de esta hipótesis fueron:

- Los genes están localizados en los cromosomas.
- El ordenamiento de los genes en los cromosomas es lineal.

El proceso de entrecruzamiento, en el cual ocurre intercambio de segmentos entre cromosomas homólogos, permite explicar el fenómeno genético de la recombinación de los caracteres hereditarios.

El estudio sobre la herencia cromosómica continuó, y se descubrieron los fenómenos del ligamiento genético y la herencia ligada al sexo, con los que se pudo corroborar esta hipótesis; además se desarrollaron métodos de mapeo para localizar los genes en los cromosomas. Este fue el punto de partida de una nueva rama de la genética denominada citogenética, que estudia la participación de los cromosomas en la herencia.

Aplicación práctica

Con el desarrollo de la citogenética se han logrado determinar las causas de enfermedades causadas por genes localizados en cromosomas específicos, y seguir su comportamiento en la descendencia. Entre otras aplicaciones de esta ciencia, se desarrolló el consejo genético para la prevención de enfermedades hereditarias.

5.3.2 ¿Qué efecto produce en la herencia, el hecho de que los genes se localicen en el mismo o en diferentes cromosomas?

Años después de la hipótesis acerca del carácter cromosómico de la herencia, en 1905 el embriólogo William Bateson (1861-1926) y el genetista Reginald C. Punnet (1875-1967) realizaron cruzamientos entre

plantas de guisante de olor (***Lathyrus odoratus***), una variedad de guisante diferente a la empleada por Mendel. Al cruzar dos plantas de flores blancas obtuvieron solamente flores coloreadas en la F_1, mientras que en la F_2 encontraron 9 coloreadas y 7 blancas, resultado que se aparta de lo esperado según el principio mendeliano de la distribución independiente (9:3:3:1).

- ¿Cómo explicar estos resultados tan diferentes a lo esperado?
- ¿Será que esta no constituye una ley válida para todos los organismos?

Como sabes, todos los organismos vivos poseen cromosomas ubicados o no en el núcleo de la célula. Una de las diferencias esenciales entre la gran diversidad de especies que habitan el planeta es la cantidad de material genético (su número varía, desde uno solo en las bacterias, hasta más de 1 000 en organismos más complejos) y su organización en los cromosomas.

¿En qué difiere la composición cromosómica de los organismos?

Los cromosomas presentes en las células no son iguales entre sí; existe diversidad de tamaños, formas, y tipos de genes que portan.

Recuerda que...

La constitución cromosómica de las células se denomina cariotipo, y se refiere al número, tamaño, y morfología de sus cromosomas, que es un rasgo esencial diferente para cada especie, útil en la diferenciación de estas. Por ejemplo, la especie humana (***Homo sapiens sapiens***) posee 46 cromosomas en cada una de sus células, mientras que el perro (***Canis familiaris***) posee 78 cromosomas.

Si comparas el cariotipo en metafase de un hombre con el de una mujer (figura 5.18) podrás apreciar que en el hombre se observa una pareja de cromosomas que aparentan no ser homólogos, pues su morfología difiere entre sí; estos son los cromosomas sexuales XY. El cariotipo de la mujer también contiene cromosomas sexuales, pero de igual morfología (XX).

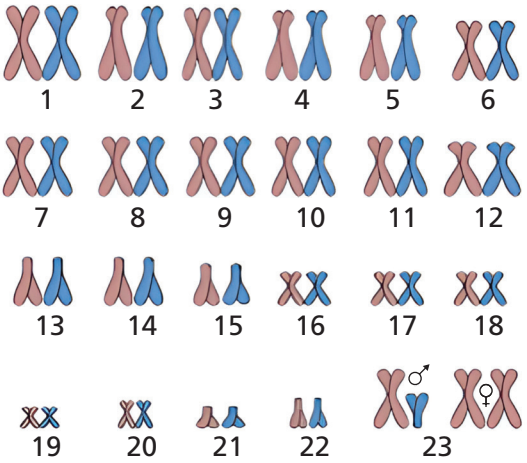


Fig. 5.18 Cariotipos humanos femenino y masculino

Los cromosomas sexuales se denominan heterocromosomas y su presencia determina el sexo del individuo. El resto de los cromosomas del cariotipo son nombrados autosomas.

Recuerda que...

El cariotipo de los organismos haploides posee un solo juego de cromosomas (n), mientras que el de los diploides posee dos juegos de cromosomas (2n). En el caso del cariotipo humano incluye 22 pares de autosomas y una pareja de cromosomas sexuales, lo que se representa mediante las fórmulas: 22n + XX o 22n + XY, esto significa que cada una de sus células, a menos que haya alguna anomalía, contiene 46 cromosomas.

Aunque Bateson y Punnet no pudieron explicar la causa de los resultados de los cruzamientos con guisantes de olor, ya en 1910 Morgan logró asociarla a la presencia de genes que al estar agrupados en el mismo cromosoma se transmiten juntos, y esto provoca que en la segunda generación filial no se observe la proporción mendeliana. A este fenómeno se le llamó ligamiento, y a los genes que se transmiten juntos se les denominó genes ligados (figura 5.19).

Los genes ligados son aquellos que se transmiten juntos en el mismo cromosoma.

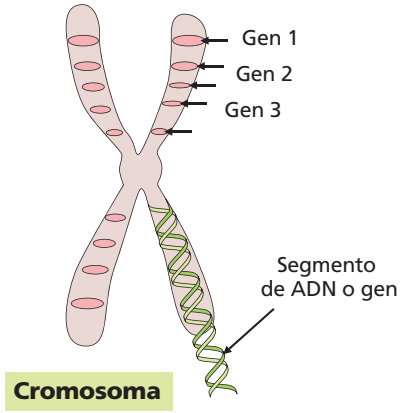


Fig. 5.19 Genes ligados en el mismo cromosoma

Cuanto más cerca se encuentran físicamente un gen de otro en el mismo cromosoma, más ligados están y tendrán más probabilidad de transmitirse juntos a las células hijas durante la división celular. A partir de 1910, en un pequeño laboratorio de la Universidad de Columbia (EE.UU.) al que llamaban "el cuarto de las moscas", un grupo de estudiantes bajo la dirección del profesor e investigador Thomas Hunt Morgan (figura 5.20), realizó importantes estudios sobre mutaciones en la mosca ***Drosophila melanogaster***, que posee 4 cromosomas.

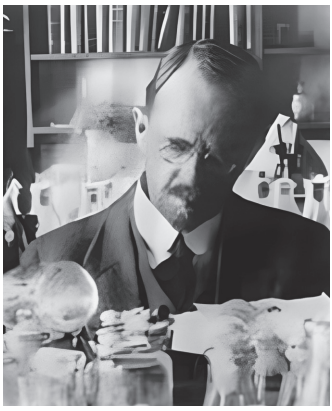


Fig. 5.20 Thomas Hunt Morgan (1866-1945) y mosca de la fruta o guasasa (***Drosophila melanogaster***)

Inicialmente Morgan no aceptaba la hipótesis cromosómica de la herencia ni los principios mendelianos, pero después de un arduo trabajo él y

su equipo descubrieron muchos genes que se corresponden con el número haploide de cromosomas de dicho insecto, y se transmiten en grupos de ligamiento; así corroboraron experimentalmente los postulados de la hipótesis formulada por Sutton y Boveri. La publicación del resultado de sus investigaciones en el libro The Mechanism of Mendelian Heredity (Morgan, Sturtevant, Muller and Bridges, 1915) constituyó un acontecimiento importante en la historia de la genética. Estos estudios experimentales condujeron al establecimiento de la teoría cromosómica de la herencia.

5.3.3 ¿Cómo se transmiten a la descendencia los genes localizados en los cromosomas sexuales?

Como has visto, en la especie humana y en el resto de los mamíferos, insectos, plantas de reproducción sexual dioicas, y algunos peces, los espermatozoides son los que marcan la diferencia, pues en los machos se forman dos tipos: espermatozoides con cromosoma X y espermatozoides con cromosoma Y; no obstante, el sexo de la descendencia se puede determinar de diversas formas.

En estos organismos el óvulo normalmente es X. Si el espermatozoide que logra fecundar al óvulo es portador de un cromosoma X, entonces se origina una hembra (XX). Para engendrar hijos machos (XY) es necesario que el espermatozoide que fecunde al óvulo sea de tipo Y. Este mecanismo está muy generalizado entre los diferentes grupos; sin embargo, en otras especies como aves, mariposas, algunos peces, y anfibios, el mecanismo es al contrario: es la hembra la que determina el sexo.

En otros casos como en la mosca de las frutas, el cromosoma Y no determina el sexo; un individuo de esta especie puede tener un solo cromosoma X y presentar un fenotipo masculino, aun faltándole el cromosoma Y.

¿? ¿Sabías que...?

En el síndrome de feminización testicular en la especie humana, el genotipo es XY pero fenotípicamente es una hembra descrita como voluptuosa. Estas personas no menstrúan y tienen muy escaso vello púbico, testículos que permanecen dentro del cuerpo, y un nivel normal de andrógenos. El gen que causa este síndrome está ligado al cromosoma X y su efecto parece que hace a los tejidos del macho insensible a la hormona masculina, lo que da origen al fenotipo femenino.

Saber más

En el caso de las abejas el número de juegos de cromosomas del cariotipo es el que determina el sexo. Los machos producen (por mitosis) los espermatozoides que fecundan los huevos de la reina, de los que nacerán abejas hembras diploides (obreras); de otros huevos no fecundados, que se dividen asexualmente (partenogénesis), surgirán machos haploides estériles (zánganos).

En la determinación del sexo, además de los heterocromosomas también actúan diversos factores ambientales y hormonas; los genes que determinan la síntesis de esta, se localizan en autosomas. Esto evidencia la relación genotipo-ambiente-fenotipo. En estos individuos transexuales se produce un cambio de fenotipo de forma artificial, mediante la administración de hormonas del sexo opuesto.

Este fenómeno de cambio de sexo ha sido observado de manera natural en peces, en la mayoría de los anfibios, reptiles, algunas aves, y mamíferos. Por eso afirmamos que el cambio climático puede afectar la reproducción y la supervivencia de la biodiversidad.

¿Sabías que...?

El helecho del género ***Equisetum*** presenta características femeninas cuando crece en buenas condiciones de iluminación y humedad, y masculinas cuando estas no lo son. Las larvas de los gusanos marinos del género ***Bonnelia***, nadan libremente, se fijan en el fondo y se convierten en hembras con una trompa larga. Las larvas que van a parar a la trompa femenina se convierten en machos diminutos carentes de órganos digestivos, por lo que tienen que vivir como parásitos en los conductos genitales femeninos.

Los genes que se localizan en los cromosomas sexuales determinan caracteres fenotípicos, vinculados o no con el sexo, sin embargo, se les ha denominado caracteres ligados al sexo.

La herencia ligada al sexo es la transmisión de caracteres determinados por genes localizados en los cromosomas sexuales.

Las regularidades de la herencia de estos caracteres ligados al sexo fueron ampliamente estudiadas por Morgan y sus colaboradores a inicios del siglo pasado; utilizando la mosca ***Drosophila melanogaster*** como material biológico (figura 5.20) se percataron de que ciertos caracteres, como el color blanco de los ojos, se transmiten ligados al sexo. Los genes que determinan este carácter están localizados en el cromosoma X.

Los cromosomas sexuales humanos (X y Y) son morfológicamente diferentes (figura 5.21), el cromosoma X es de mayor tamaño que el cromosoma Y, por lo que contiene mayor número de genes. Como son homólogos, presentan dos porciones idénticas denominadas segmentos apareantes situados en los extremos de los brazos, y el resto corresponde a la porción diferencial. En esta porción el cromosoma X contiene genes que no tienen alelos en su homólogo Y, y es donde se localizan los genes que determinan la herencia ligada al sexo.

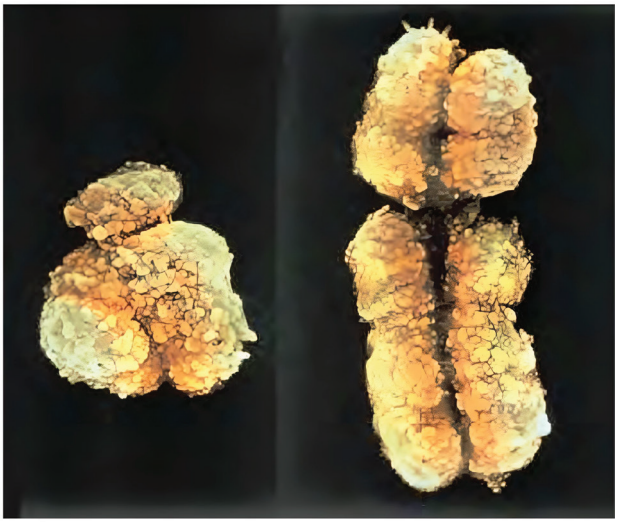


Fig. 5.21 Microfotografías electrónicas de los cromosomas sexuales humanos. De izquierda a derecha: cromosoma Y y cromosoma X

Entre los genes ligados al cromosoma X se encuentran algunos recesivos que ocasionan diferentes anomalías hereditarias como la hemofilia, el daltonismo y la distrofia muscular de Duchenne; otros son dominantes y entre ellos se encuentran los que determinan la incontinencia pigmentaria, la insuficiencia del fósforo en la sangre, y el oscurecimiento del esmalte en los dientes, entre muchas otras.

Saber más

La hemofilia es la incapacidad de la sangre de coagularse, lo que ocasiona hemorragias ante cualquier herida por simple que sea.

El daltonismo es la incapacidad de distinguir entre determinados colores, generalmente el verde y el rojo. En su diagnóstico se utiliza una prueba que consiste en la observación de círculos de colores que contienen números; los individuos daltónicos son incapaces de percibir estos números.

En el cromosoma Y existen genes que determinan caracteres ligados a este; algunos provocan defectos genéticos entre los que se pueden citar la hipertricosis, un tipo de sindactilia, la ictiosis, entre otros (figura 5.22). La presencia de estos en la región no apareante del cromosoma Y determina su dominancia, por lo que siempre se expresan.

Fig. 5.22 De izquierda a derecha: hipertricosis, sindactilia, ictiosis

¿Sabías que...?

Habitualmente al cromosoma Y, así como a la testosterona, se les atribuye la propiedad de transmitir cualidades arquetípicamente asociadas a la masculinidad (virilidad, inteligencia, personalidad dominante, activa, indolente), mientras que al cromosoma X, los rasgos característicos de la feminidad (sociabilidad, control, conservadurismo y sentimientos maternales). Sin embargo, en este último caso no sucede así, pues de los aproximadamente 1 000 genes que contiene este cromosoma, pocos tienen un papel efectivo en la expresión de los rasgos femeninos; la mayoría de los que no tienen alelo en el cromosoma Y, codifican caracteres como la presencia de ciertas

proteínas musculares, la visión de colores y la coagulación de la sangre, que son comunes a ambos sexos.

Comprueba lo aprendido

1. Representa mediante dibujos, los postulados de la teoría cromosómica de la herencia. Indica cuatro genes diferentes y nómbralos. ¿Cuáles de estos genes presentan mayor ligamiento entre sí? Argumenta.

2. Demuestra cómo se manifiesta la contradicción dialéctica unidad-diversidad en el caso de los cromosomas.

3. Si se sabe que un organismo posee la siguiente fórmula cromosómica: 2n + XX, donde n= 29:

a) ¿Cuántos juegos de cromosomas posee? Clasifícalo atendiendo a este criterio.

b) ¿Cuántos cromosomas posee?

c) ¿Cuál es su sexo?

d) ¿Cuántos cromosomas deben poseer sus gametos? Escribe la fórmula cromosómica de estas células sexuales.

e) ¿Podría este organismo procrear un varón al reproducirse? Argumenta tu respuesta.

4. Confirma o refuta la veracidad de la hipótesis siguiente: la determinación del sexo está dada generalmente por los cromosomas sexuales en interacción con factores ambientales.

5. Un hombre incrimina a su esposa porque solo le da hijas hembras, culpándola de tener algún problema genético. ¿Qué opinas tú? Argumenta.

6. ¿Pueden un padre y su hijo varón ser hemofílicos? Argumenta tu respuesta.

7. Representa los siguientes cruzamientos y describe cómo se trasmite el gen de la hemofilia hasta la segunda generación en ellos.

a) Mujer sana heterocigótica con hombre sano.
b) Mujer sana con hombre hemofílico.

8. En los seres humanos, uno de los genes que determina la visión de los colores se encuentra en el cromosoma X. La forma dominante produce una visión del color normal, y la recesiva el daltonismo para el rojo o el verde. Si un varón con visión normal para los colores se casa con una mujer daltónica (raro):
a) ¿Cuál es la probabilidad de que tengan un hijo daltónico?
b) ¿Cuál es la probabilidad de que tengan una hija daltónica?

9. Representa ambos cruzamientos y fundamenta tus respuestas.

10. En el caso anterior (ejercicio 8) la mujer tuvo una hija daltónica, normal en todos los demás aspectos. El esposo entabla una demanda de divorcio por adulterio. ¿Esta demanda tiene posibilidades de prosperar ante el tribunal? Explica tu respuesta.

11. En los seres humanos, un tipo corriente de daltonismo es causada por un gen recesivo ***c*** ligado al sexo, cuyo alelo normal es ***C***.
a) Utilizando dichos genes. Representa los posibles genotipos de varones y hembras daltónicos.
b) ¿Podrán dos progenitores daltónicos tener un hijo o una hija con visión normal? Argumenta.
c) ¿Dos progenitores con visión normal pueden tener un hijo o una hija daltónicos? Argumenta.
d) ¿Una hija con visión normal puede tener un padre o una madre con esta alteración genética? Argumenta.
e) ¿Una hija ciega para los colores puede tener un padre o una madre con visión normal? Argumenta.

12. Una mujer ciega para los colores se casa con un hombre de visión normal y tienen dos hijos, un niño y una niña. Representa el cruzamiento y di cuáles serán los genotipos y fenotipos de ambos hijos.

13. Una mujer con visión normal, cuya madre era ciega para los colores, tiene un hijo y se desconoce el fenotipo de la visión para los colores

del padre. ¿Cuál será la probabilidad de que el hijo tenga este trastorno? Fundamenta tu respuesta.

14. Una creencia común sobre la genética humana es que los genes de un individuo determinan su destino. ¿Consideras este planteamiento correcto? Fundamenta tu respuesta.

5.4 La herencia depende del funcionamiento dinámico del genoma en interacción con factores ambientales

La enfermedad celiaca es una afección del intestino delgado de causa multifactorial que se manifiesta como una intolerancia a los cereales. La prevalencia de esta enfermedad ha sido estimada de más de un caso cada 1 000 individuos; sin embargo, datos más recientes aportan cifras desde 0,4 hasta 1 % de prevalencia. Estos pacientes no pueden ingerir pan, dulces, ni otros alimentos que contengan harina de trigo.

- ¿Por qué estos pacientes no pueden comer estos alimentos?
- ¿Cómo inciden los genes en este defecto?
- ¿Será posible controlar sus efectos?

Como ya sabes, los mecanismos de la herencia son generados por determinados genes incluidos en la cromatina durante la interfase, o en los cromosomas durante la división celular, también se localizan en las mitocondrias y en los cloroplastos. Una explicación más minuciosa sobre el funcionamiento de los genes requiere de un conocimiento más profundo de su naturaleza química, de la relación con sus propiedades, y de cómo estas se vinculan con sus funciones de conservar, transmitir, y expresar la información genética.

En este epígrafe darás respuesta a preguntas como las siguientes:

- ¿Qué biomoléculas constituyen el material genético? ¿Quiénes fueron sus descubridores y cómo lo lograron?
- ¿Cómo es su estructura y qué propiedades le confiere?
- ¿Por qué es necesaria su integración en la determinación de la herencia?
- ¿Cómo interviene el ambiente en su funcionamiento?

Como hemos visto en el estudio de otras funciones, todo sistema viviente está en interacción con el medio ambiente, de lo que podemos inferir que los factores ambientales también influyen sobre los genes y el genoma, facilitando o entorpeciendo su funcionamiento.

5.4.1. ¿Cómo se descubrió la naturaleza química, localización, estructura y función del material genético?

Conociste que los estudios sobre la herencia realizados por Mendel a fines del siglo XIX le permitieron conocer y publicar regularidades acerca de la transmisión de los caracteres hereditarios a la descendencia, sin embargo, en esa época no se conocía de qué sustancias estaba constituido el material genético.

En 1869, cuatro años después de que Mendel publicara sus descubrimientos, Friedrich Miescher, un estudiante suizo que realizaba estudios de Medicina (figura 5.23 A) logró aislar por primera vez los núcleos celulares en glóbulos blancos obtenidos del pus de las heridas. El análisis químico de los núcleos lo llevó a descubrir un material complejo que contenía (entre otros elementos) nitrógeno y fósforo, en proporciones diferentes a cualquier otro material biológico conocido. A esta sustancia la nombró nucleína e hizo extensivas sus investigaciones a muestras a los espermatozoides del salmón, que poseen núcleos muy grandes y poco citoplasma. A pesar de su descubrimiento no definió la importancia de esta sustancia en el funcionamiento de la célula.

En el transcurso de estas investigaciones, Friedrich Miescher (1844-1895) descubre el ácido nucleico y Robert Feulgen (1884-1955) desarrolla un método para su tinción.

Fig. 5.23 De izquierda a derecha: Friedrich Miescher y Robert Feulgen

Otros científicos continuaron investigando sobre la nucleína y algunos la vincularon con la herencia pero sin certeza, pues se había avanzado más en el estudio de las proteínas y se pensaba que estas eran el material de la herencia. Esta nucleína en disolución es ácida, por lo que fue denominada ***ácido nucleico***.

Al avanzar en el estudio de la composición química del ácido nucleico se descubrió que se trata una molécula voluminosa con aspecto de un largo filamento, que cuando se compara con cualquier molécula ordinaria de sal, o incluso de proteínas, es como comparar a una ballena entre un grupo de renacuajos. Esta molécula al fragmentarse, lo hace en subunidades de gran tamaño y complejidad, y cada subunidad está formada por un azúcar de cinco carbonos y un compuesto nitrogenado que puede pertenecer a cuatro clases diferentes. Estas subunidades se mantienen unidas mediante enlaces del ácido fosfórico y puede existir hasta tres mil en una misma molécula de ácido nucleico.

Unos años más tarde, en 1914, el bioquímico alemán Robert Feulgen desarrolló un método de tinción del ADN con fucsina ácida, que coloreaba de un púrpura brillante el ácido nucleico. En 1924 aplicó dicho colorante a los cromosomas, y en sucesivos experimentos repitió la técnica con toda clase de células obteniendo los mismos resultados; a partir de estos concluyó que el ácido nucleico se halla en los cromosomas de todas las células.

El papel de los cromosomas en la herencia ya había sido establecido e incluso se les llegó a aislar del resto de la célula, tanto en células animales como vegetales pero el ácido nucleico se encontraba unido a proteínas, de modo que no se podía precisar cuál de estas dos moléculas es la responsable de la herencia.

Para resolver este dilema se midió la cantidad de ácido nucleico que existía en los núcleos de diferentes tipos de células y la concentración de este en una célula individual. Se descubrió así, que en cualquier célula del organismo de una determinada especie se encuentra la misma cantidad de ADN, pero entre especies diferentes esta cantidad varía. Se concluyó que cada especie presenta una dosis específica de ácido nucleico, pero que los espermatozoides contenían exactamente la mitad del volumen del resto de las células del organismo; de ello se dedujo que el ácido nucleico constituye el material hereditario, pues la cantidad normal de este para cada especie se restablece con la unión del espermatozoide y el óvulo.

Por otro lado se encontró que las proteínas nucleares se distribuían de manera irregular: gran cantidad en algunas células y menos en otras. ¿Por qué ocurría esto si todas las células de la misma especie contenían la misma cantidad de ácido nucleico? Estas dudas perduraron en el tiempo.

En 1928 el bacteriólogo inglés Fred Griffith (1879-1941) descubrió de manera experimental el fenómeno de la transformación bacteriana (figura 5.24).

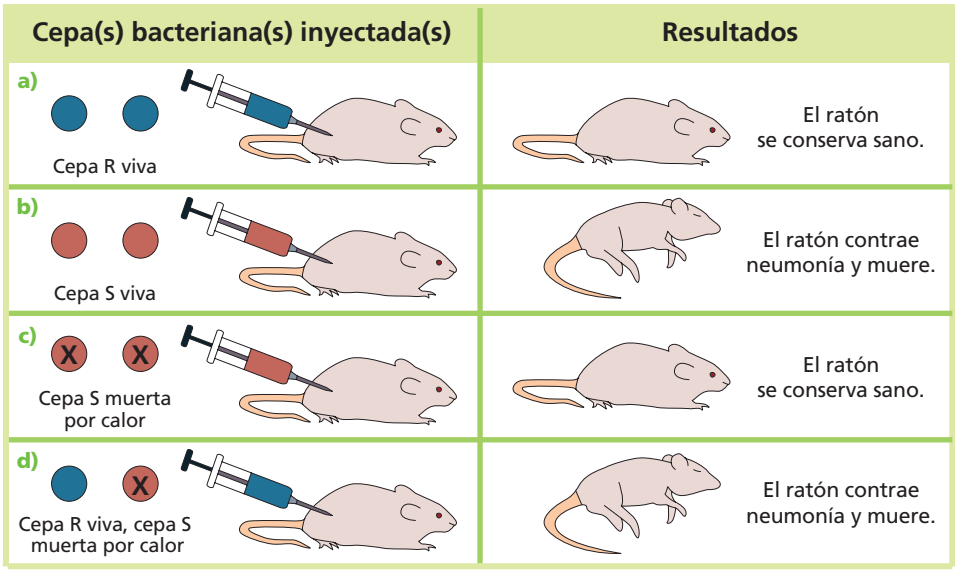


Fig. 5.24 Experimentos con ratones y neumococos que evidenciaron la transformación bacteriana

En esta investigación utilizó como material biológico dos cepas de ***Streptococcus pneumoniae***: la cepa S (lisa y **virulenta**) y cepa R (rugosa no virulenta). Frente la interrogante de cuál sería la respuesta de los ratones ante la inoculación de diferentes cepas de la misma bacteria, Griffith convirtió una cepa no virulenta en virulenta; para ello inoculó bacterias muertas por calor junto a bacterias no virulentas, en ratones sanos, y con ello les provocó neumonía.

De esta forma demostró que la causa de dicho fenómeno es la presencia de una sustancia que al ser transferida de una célula a otra, altera permanentemente las características hereditarias de las células receptoras. A esta sustancia le llamó "principio transformante", aunque desconocía la verdadera naturaleza de esta.

En 1944 tres médicos investigadores en Estados Unidos: Oswald Avery (1877-1955), Colin MacLeod (1909-1972) y Maclyn McCarty (1911-2005), identificaron la naturaleza del principio transformante descrito antes por Griffith. Estos, mediante diversos procedimientos experimentales aislaron y purificaron el ácido nucleico de las bacterias muertas por calentamiento, observaron que este ácido nucleico mantenía la capacidad de transformar las cepas no virulentas en virulentas, y de este modo confirmaron la participación de esta molécula en la herencia.

A pesar de estos importantes descubrimientos, sus trabajos (como los de Mendel) no fueron bien valorados por sus contemporáneos. Estos seguían pensando que las proteínas al estar compuestas por 20 tipos de aminoácidos, eran más propensas a tener la propiedad informativa, pues los ácidos nucleicos solo contenían cuatro tipos de nucleótidos y se pensaba que estos se organizaban en una secuencia monótona y redundante.

En 1952, Alfred D. Hershey (1908-1997) y Martha Chase (1927-2003) publicaron los resultados de sus estudios acerca del ciclo de vida de los bacteriófagos (figura 5.25). En estas publicaciones quedó clara la idea de que el ácido desoxirribonucleico o ADN (DNA por sus siglas en inglés) constituye el material genético. En una serie de experimentos en los que se utilizaron **isótopos radiactivos** de azufre (S^{35}) para marcar proteínas, y fósforo radiactivo (P^{32}) para el ácido nucleico, descubrieron que la molécula que se transfiere a la descendencia es el ADN y no la proteína, por lo que dedujeron que este, el ADN, es el material genético. Más tarde, en investigaciones con virus se identificó como otro material genético el ácido ribonucleico (ARN), la segunda molécula de ácido nucleico que ya había sido descubierta en el núcleo de la levadura.

Los organismos más complejos necesitan más ADN que una bacteria o un hongo, y como resultado del proceso evolutivo se produjo un incremento en la cantidad de este por célula; pero no siempre la complejidad de la organización y la cantidad de ADN por célula guardan una relación proporcional. Por ejemplo, las salamandras y las angiospermas contienen en sus células diez veces más cantidad de ADN que los mamíferos, sin embargo, no son organismos más complejos que estos.

Una vez reconocidos los ácidos nucleicos (ADN y ARN) como material genético, esto se convirtió en un tema imperativo de investigación y se logró la descripción estructural y funcional de ellos, dándose respuesta a las siguientes interrogantes:

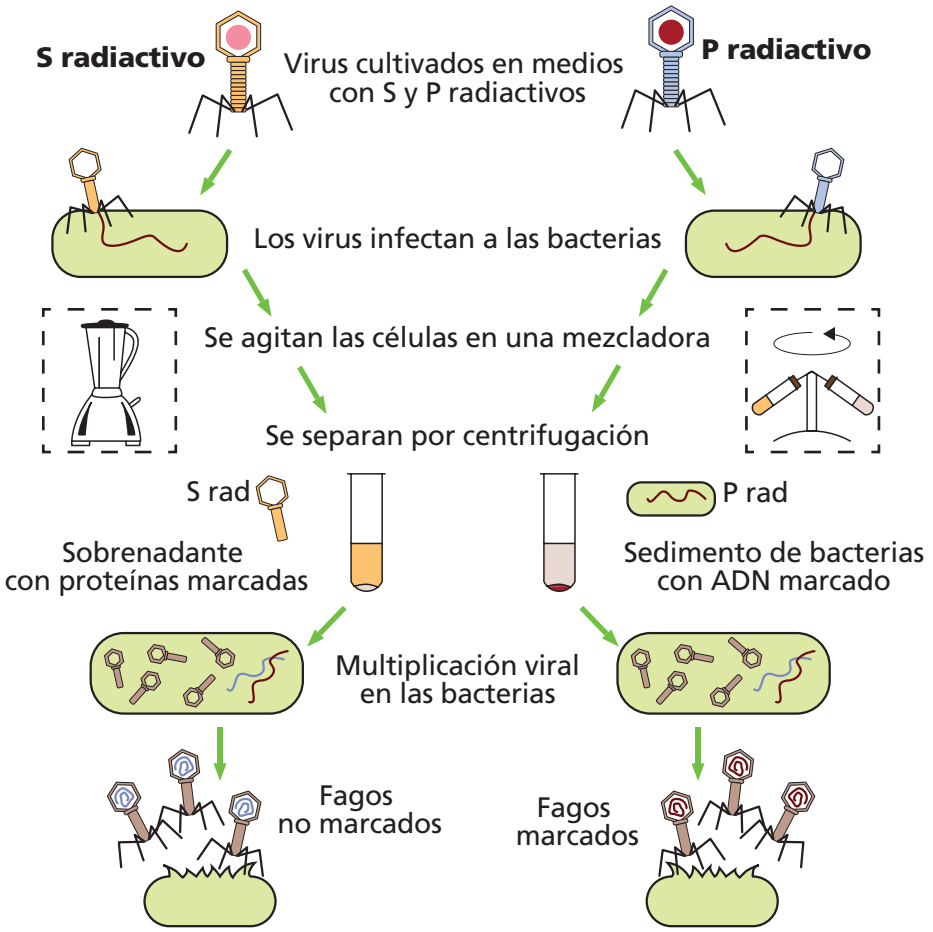


Fig. 5.25 Experimentos de Hershey y Chase

- ¿Cómo se almacena la información genética en la estructura del ADN?
- ¿Cómo se replica la molécula de una forma tan exacta?
- ¿Cómo se utiliza finalmente, dicha información genética?

En 1953 en Inglaterra, el biofísico inglés Francis H. Crick (1916-2004) y el joven biólogo norteamericano James D. Watson (1928), publicaron un artículo en el que describen un modelo de la estructura del ADN (figura 5.26) que sugiere una forma de replicación de esta molécula y el mecanismo del surgimiento de estos cambios, además de ofrecer una idea sobre cómo podría estar almacenada la información genética.

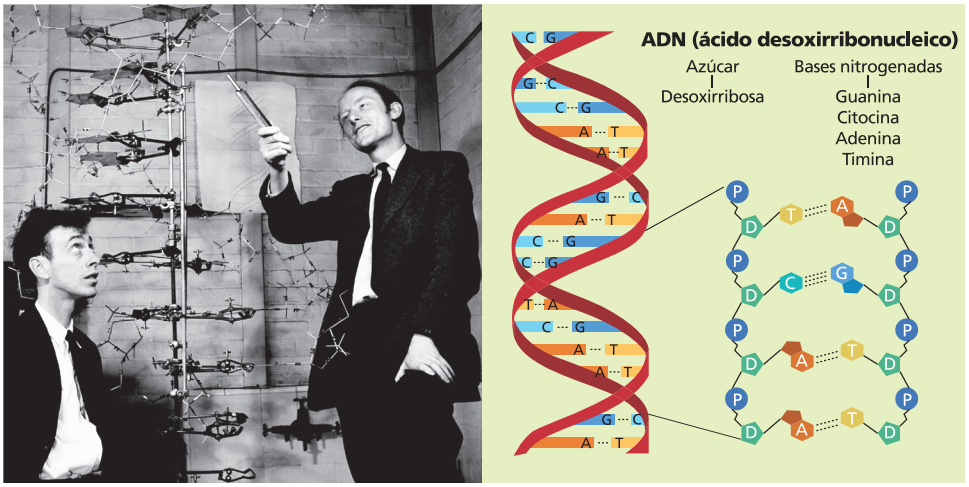


Fig. 5.26 Watson y Crick en su laboratorio y modelo de la estructura del ADN

Esta exitosa modelación se basó en otros trabajos realizados anteriormente por Erwin Chargaff (1905-2002), Linus Pauling (1901-1994), Maurice Wilkins (1916-2004) y Rosalind Franklin (1920-1958) (figura 5.27), en los que fueron utilizados métodos bioquímicos y biofísicos. Esto constituyó un hito que abrió las puertas al impetuoso desarrollo de la genética molecular.

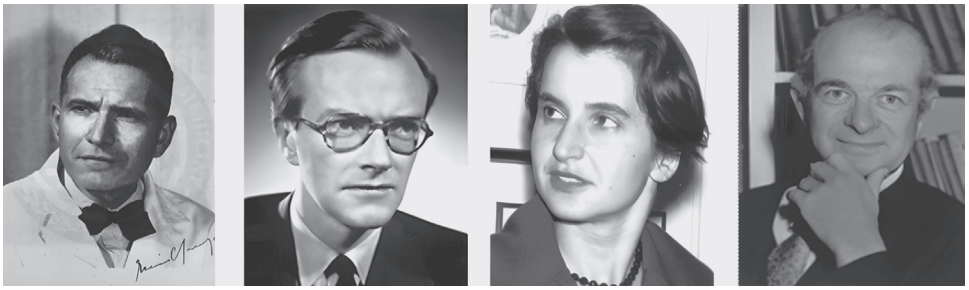


Fig. 5.27 De izquierda a derecha: Erwin Chargaff, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin y Linus Pauling

Este modelo de doble hélice ha perdurado en el tiempo, requiriendo solo de pequeños ajustes. Su impacto en el ámbito biológico fue grande, pues a partir de este se descubrieron los mecanismos de los genes para la replicación, la mutación, y el almacenamiento de la información genética.

¿? ¿Sabías que...?

En 1962, Watson, Crick y Wilkins, recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por su notable aporte al conocimiento de las bases moleculares de la herencia. Rosalind Franklin no lo recibió, pues había fallecido hacía poco tiempo por el efecto de las radiaciones recibidas durante sus trabajos experimentales.

El funcionamiento de los genes ha sido un problema de mucho interés científico, lo que concitó a pensar sobre las relaciones entre los genes y los caracteres fenotípicos. Desde sus investigaciones con guisantes Mendel planteó la hipótesis de ***un factor-un carácter***. Luego en 1941, George W. Beadle (1903-1989) y Edward L. Tatum (1909-1975), experimentando con el hongo ***Neurospora*** establecieron la hipótesis: ***un gen-una enzima***. Más tarde se descubrió que muchas proteínas no son enzimas, por lo que planteó la relación ***un gen-una proteína*** y posteriormente, con el descubrimiento de que una proteína puede estar constituida por varias cadenas polipeptídicas se pasó a la hipótesis ***un gen-una cadena polipeptídica***.

El descubrimiento de que un mismo carácter fenotípico puede ser determinado por varios genes que actúan en sistema (recuerda las interacciones génicas antes estudiadas), cambió la concepción anterior acerca del funcionamiento de los genes, llegando a postularse la existencia de ***un complejo génico-un carácter***.

Con el descubrimiento de que el material genético no solo contiene genes codificadores de proteínas, sino también se encuentran otros segmentos de ADN que solo sintetizan ARN o no se transcriben, la definición de gen fue variando hasta llegar a la que los considera unidades de información genética.

La información genética consiste en instrucciones en la secuencia de nucleótidos que permiten la síntesis de ARN o de proteínas.

Otro de los conceptos clave de la genética es el de genoma, donde se encuentran los genes y otras secuencias que no codifican información genética; muchas de sus funciones aún están por descubrir.

El genoma lo constituye todo el material genético existente en una célula u organismo.

Actualmente se estudia con profundidad la influencia del medio ambiente en el material genético y en la expresión de los caracteres fenotípicos, esto fundamenta cada vez más la relación genoma-medio ambiente-fenotipo.

Los estudios sobre la estructura del ADN no se detuvieron, y a finales del siglo XX, con el impetuoso desarrollo de la genética molecular impulsada por la investigación interdisciplinar, el empleo de técnicas de ingeniería genética, y la bioinformática, se logró el descifrado de la estructura primaria del genoma de muchos organismos procariotas y eucariotas, es decir, de la secuencia específica de nucleótidos que la conforman.

Saber más

La organización del genoma de las bacterias difiere de las arqueas y eucariotas. En las primeras los genes se encuentran dispuestos de manera continua en la molécula de ADN, en cambio en arqueas y organismos eucariotas los genes presentan secuencias internas que no codifican, y se denominan genes interrumpidos. Las secuencias de ADN que codifican se denominan exones y las que las que no codifican se denominan intrones.

El descubrimiento de la estructura y funcionamiento del material genético fue posible gracias a la investigación científica interdisciplinar en cooperación, el trabajo colectivo, y la utilización de métodos de la física, la química y las nuevas tecnologías de la informática. En internet se han creado bases de datos con la secuencia nucleotídica de los genomas de muchas especies y organismos estudiados; de esta forma la comunidad científica tiene acceso a estos conocimientos que han revolucionado las ciencias biológicas y sus aplicaciones biotecnológicas.

¿? Sabías que...?

Para determinar la secuencia del nuestro ADN se creó el Proyecto Genoma Humano, del que se identificaron los más de 3 500 millones de nucleótidos que lo conforman.

5.4.2 ¿En qué consiste la información genética y cómo influye en el funcionamiento de la célula?

La enfermedad de Huntington (o Corea) es un trastorno neurológico degenerativo de carácter hereditario que se caracteriza por la pérdida progresiva de la capacidad física y mental, y cuyos síntomas aparecen generalmente entre los treinta y cincuenta años de edad. Este padecimiento se debe a la presencia de un gen autosómico dominante ubicado en el cromosoma 4, de manera que si alguno de los padres de una familia manifiesta dicha enfermedad los hijos la padecen también. Como puedes ver, la información genética que determina esta enfermedad está presente en las células de uno de los padres y se transmite a las células de los hijos durante la reproducción.

- ¿Cómo se transmite la información genética de uno de los progenitores a sus hijos?
- ¿Qué características presenta la información genética de las moléculas de ácido nucleico?
- ¿Cómo se manifiesta la información genética de los ácidos nucleicos en el fenotipo de los organismos?

El modelo tridimensional del ADN propuesto por Watson y Crick abrió las puertas al desarrollo de la genética molecular. En una publicación de una de las revistas más importantes de la época, no solo se limitaron a describir la probable estructura de la molécula, sino que explicaron las interacciones entre sus componentes, la organización lineal de la secuencia nucleotídica, la conformación tridimensional en forma de hélice de cada una de sus dos cadenas, y cómo estas se mantienen estables por los puentes de hidrógeno que se establecen entre las bases nitrogenadas complementarias de las dos cadenas paralelas. Propusieron un modelo de la dinámica del funcionamiento de esta molécula que conducía a su duplicación, y con esto se resolvería la incógnita de cómo se logra la transmisión de la información genética hacia las generaciones sucesivas.

En este epígrafe profundizarás acerca de las funciones de los ácidos nucleicos en la determinación de la herencia en interrelación con

el medio ambiente, y podrás comprender en qué consiste la hipótesis: un gen-una cadena polipeptídica. Para llegar al funcionamiento de esta molécula generadora de la vida, es necesario precisar cuestiones acerca de la información genética y las cualidades que debe tener el material que la porta.

Han sido señalados cuatro requisitos generales que el material genético debe cumplir:

- Que tenga la potencialidad de portar cualquier tipo de información biótica necesaria.
- Que su estructura sea lo suficientemente estable, de modo que los cambios hereditarios se produzcan solo excepcionalmente.
- Que su replicación sea exacta y transmita su información a las células hijas durante la reproducción.
- Que exprese su información en la célula donde se manifiesten los caracteres hereditarios.

Recuerda que...

Estas cualidades del ADN responden a una estructura que le confiere ciertas propiedades y le posibilitan realizar sus funciones que son:
a) Conservar y trasmitir la información genética a las células hijas que resultan de la división.
b) Expresarla en la propia célula que lo contiene.
c) Modificarla, originando nuevos alelos y fenotipos.
d) Regular su propio funcionamiento.

Se puede concluir que la información genética es la base de la herencia, es decir, de la estabilidad y el cambio.

Analiza la composición de cada una de las siguientes secuencias de bases nitrogenadas pertenecientes a tres cadenas polinucleotídicas:

A C C G T A C C C A A T T C G G C A T T T A C C C A C G
C A G C A T C C C A T T A C G G C A T T A T C C C A C G
T A C A C C G C C A A C G G T T C A T T A C T C C C A G

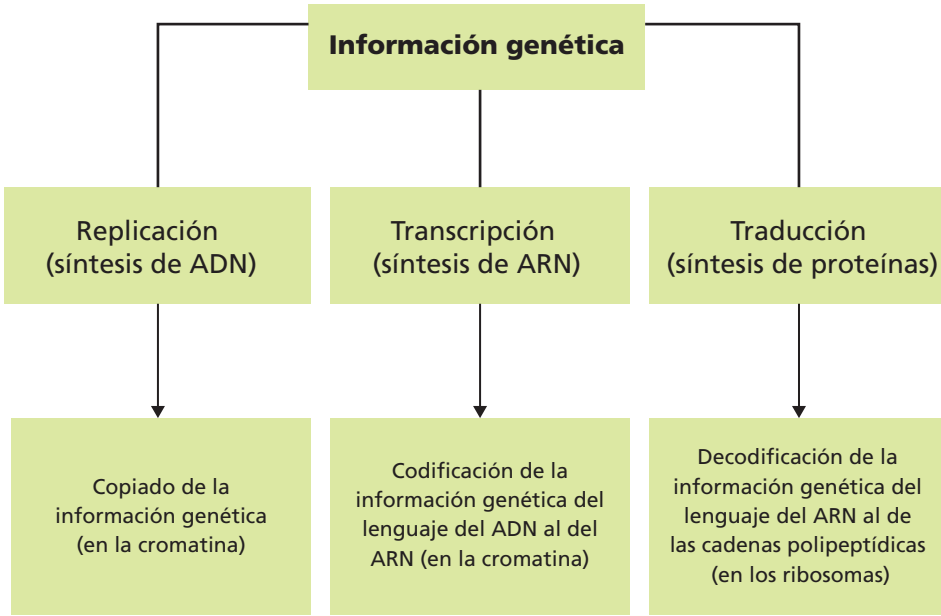
Si cuentas cuántas adeninas, timinas, guaninas y citosinas poseen, notarás que son iguales en cantidad, sin embargo, la posición que ocupa cada una en la secuencia es diferente. Esto mismo sucede con la secuencia de letras de un texto en el que al variar sus posiciones cambia el sentido, y

con ello la información que trasmite al lector, por ejemplo en las palabras casa–saca; saco–cosa; cola–loca.

Por esto, el análisis estructural de las funciones de los ácidos nucleicos hay que realizarlo precisamente en la secuencia de sus bases nitrogenadas, es decir en su estructura primaria. En esta secuencia está contenida la información genética, por eso esta estructura es la que le confiere la propiedad informativa.

La información genética consiste en un mensaje implícito en la secuencia nucleotídica de los ácidos nucleicos que determina la estructura, propiedades y funciones de las proteínas sintetizadas bajo su control, y de las células y organismos vivientes.

La información genética que poseen las moléculas de ADN es copiada lo más fielmente posible, y mediante un proceso de replicación se duplica en dos moléculas hijas de manera semiconservativa (esquema 5.2). Las copias resultantes de la replicación pueden permanecer en la célula en forma de cromatina durante el tiempo que dure la interfase, o moverse a las células hijas durante la división celular, formando parte de los cromosomas.



Esquema 5.2 Procesos moleculares básicos con utilización de la información genética

La información contenida en el ADN también puede ser transferida al ácido ribonucleico (ARN). En este caso solo varía una de las unidades informativas: el nucleótido de uracilo del ARN que sustituye al de timina del ADN. Esta transferencia de información del ADN al ARN se denomina transcripción, y constituye otro proceso metabólico de síntesis celular (esquema 5.2).

Una vez transferida la información genética al lenguaje del ARN, esta es trasladada con dicha molécula desde un sitio de la célula a otro; por ejemplo, en células eucariotas se mueve del núcleo hacia los ribosomas que se encuentran en el citoplasma, en estos la información genética es decodificada, es decir traducida a otro "lenguaje": el de la secuencia de aminoácidos que conforman la estructura primaria de las proteínas (cadenas polipeptídicas). Por eso se denomina traducción a este complejo proceso que trascurre en los ribosomas (esquema 5.2). En este caso, las letras del alfabeto son los aminoácidos cuyo orden lineal en la cadena polipeptídica porta una información específica, de ahí su propiedad de especificidad de gran importancia en sus diferentes funciones.

Las moléculas de ADN poseen cierta estabilidad en su composición química y estructura, esta propiedad se debe a la presencia de dos cadenas complementarias unidas por múltiples enlaces, por puentes de hidrógeno. Sin embargo, la información genética puede sufrir cambios en la secuencia de bases nitrogenadas debido a factores del medio intra o extracelular. Esta propiedad de dichas moléculas se denomina mutabilidad, y es causa de variaciones anatómicas, funcionales o conductuales, lo que explica la gran biodiversidad que existe y ha existido en la Tierra.

No obstante, en ocasiones se logra minimizar estos cambios mediante otro proceso que ocurre en la célula llamado reparación, mediante el cual se ajustan ciertos daños ocasionados en la cadena polinucleotídica.

Los procesos de replicación, transcripción, traducción, y reparación, son el resultado de la actividad acoplada de diversos sistemas enzimáticos celulares. Dichas enzimas son codificadas por el propio ADN y también se sintetizan bajo su control. El conocimiento de los mecanismos moleculares en que estos procesos transcurren, ha sido posible por el alto desarrollo alcanzado en las últimas décadas por la biología molecular, lo que es muy importante para su aplicación en la biotecnología y el tratamiento de enfermedades hereditarias.

5.4.3. ¿Cuál es el fundamento molecular de la transmisión de la información genética a las células hijas?

En el proceso de recambio las células viejas están siendo reemplazadas constantemente por otras nuevas que surgen como resultado de la división celular. Seguramente has observado que cuando te haces una herida al poco tiempo esta se cierra, debido a que aparecen nuevas células epidérmicas que la reparan. El crecimiento de un niño también se debe al aumento del número de células que resultan de la división mitótica. En todos estos fenómenos se manifiesta la propiedad de perpetuación de la materia viva, que la diferencia de la materia inanimada.

Recuerda que...

Las células hijas resultantes de la división por mitosis son idénticas a las células madres, pues las cromátidas de cada uno de sus cromosomas se reparten en estas por igual. Esto trae por resultado que en cada célula hija se mantenga el número de cromosomas, y los mismos genes con la información genética.

¿Cómo se logra en el nivel molecular, que se transmita la misma información genética a cada una de las células hijas?

La transmisión de la información genética a las células hijas ocurre durante los procesos de división celular, sin embargo, desde antes de que estos comiencen -en la interfase- la célula madre debe tener dos nuevas copias idénticas de ADN portadoras de la misma información genética. Esto es posible gracias al proceso molecular de replicación del ADN que hace posible la formación de nuevas células con características idénticas a las de la célula madre.

El mecanismo de la replicación del ADN fue sugerido por Watson y Crick en 1953, quienes postularon la hipótesis de que este proceso se debía ejecutar de manera semiconservativa: la molécula desenrolla sus dos cadenas polinucleotídicas, que sirven como una plantilla o patrón sobre el que se sintetizan simultáneamente dos nuevas cadenas. Esto es posible mediante la complementariedad de bases A-T, G-C; o sea, por la unión de los nucleótidos complementarios, a la cadena materna mediante enlaces de

puentes de hidrógeno. El resultado serían moléculas híbridas con una cadena de origen materno y otra nueva derivada de la síntesis (figura 5.28).

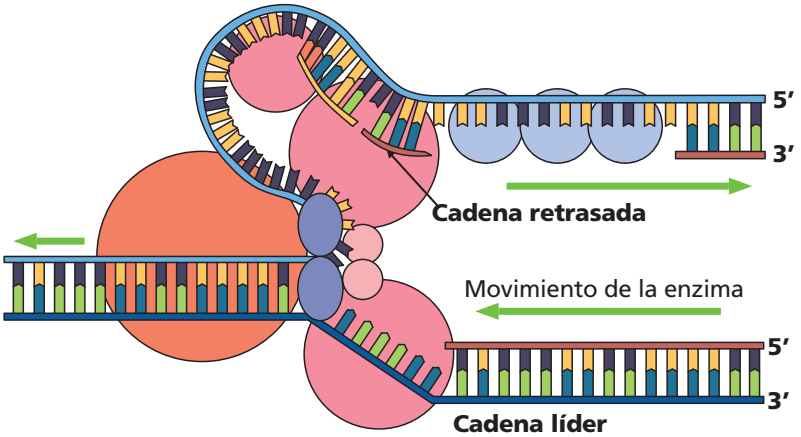


Fig. 5.28 Modelo de la replicación semiconservativa del ADN

De la historia

En 1957 se confirmó experimentalmente el mecanismo de replicación, cuando J. Herbert Taylor (1916-1990) y colaboradores, utilizando técnicas autorradiográficas, marcaron el nucleótido de timidina con hidrógeno radiactivo tritio (H^3), y determinaron la presencia de radiactividad en los cromosomas obtenidos de la duplicación. Un año más tarde, Matthew Meselson (1930) y Franklin W. Stahl (1929) corroboraron la hipótesis de la réplica semiconservativa de Watson y Crick con la técnica de marcaje por densidad, en la que utilizaron la ***Escherichia coli*** como modelo biológico.

Las investigaciones posteriores permitieron conocer que la replicación del ADN tiene lugar una sola vez en el ciclo celular, tanto en células procariotas como eucariotas. En estas últimas ocurre en el núcleo interfásico cuando la cromatina está en estado laxo, lo que posibilita la acción del sistema enzimático de la replicación sobre la molécula de ADN.

En este sistema molecular intervienen diferentes enzimas de síntesis y otras proteínas con diversas funciones, que interactúan entre sí y con el ADN con precisión y de forma cronometrada. Esta interacción es posible por las propiedades de autoorganización y especificidad que poseen las proteínas, en interacción con las de los ácidos nucleicos. Cada una de di-

chas proteínas posee una secuencia y configuración diferente, de ahí que tengan propiedades y funciones diferentes, como la enzimática, de estabilización y reconocimiento molecular, entre otras.

¿Sabías que...?

En las células procariotas la velocidad de la replicación es de 50 000 bp/min (bases por minuto), mientras que en las células eucariotas es de 2 000 bp/min. Por eso una bacteria parásita se puede dividir mucho más rápido, invadir el organismo, y causar sus efectos dañinos en muy poco tiempo.

El resultado de la replicación es la formación de dos nuevas moléculas de ADN con las mismas secuencias de nucleótidos; en cada nueva molécula se conserva una cadena vieja, sobre cuyo molde se sintetizó la nueva. Por esto decimos que la replicación es semiconservativa.

En ocasiones, durante este proceso ocurren errores en la ubicación de nucleótidos que dan origen a un ADN con diferente información genética a la de la molécula original. Estos errores son muy graves para la herencia, pero pueden ser corregidos gracias a la reparación, ejecutada por otro tipo de enzimas ADN **polimerasas** que detectan los errores, cortan el nucleótido o segmento erróneo y vuelven a sintetizar, sobre la cadena molde, un nuevo segmento de ADN correcto; así se garantiza la fidelidad de la copia.

Por este mecanismo también se repara el ADN dañado por la acción de factores ambientales como la contaminación, las radiaciones ionizantes de rayos X o ultravioletas, y también por la incorporación al organismo de sustancias tóxicas provenientes de una alimentación inadecuada, del consumo de drogas, etc., o liberadas durante las reacciones metabólicas, como es el caso de los radicales libres.

Saber más

¿Por qué la replicación no ocurre continuamente, sino solo en determinado momento de la vida de una célula? En eucariotas la regulación del inicio de la replicación del ADN generalmente está asociada al ciclo celular; por ejemplo, en las bacterias está vinculado con la masa celular: como resultado de su crecimiento la célula incrementa su masa, y cuando este incremento sobrepasa el umbral se inicia la replicación, activándose las enzimas y los factores que participan en ella.

5.4.4. ¿Cómo se expresa en el fenotipo de los organismos, la información genética contenida en su genoma?

El fenotipo de los organismos vivos está conformado por características anatómicas, funcionales o conductuales, que los distinguen a unos de otros. Muchos de estos rasgos son determinados por el genotipo, por ejemplo el color de la piel y los ojos lo origina el pigmento melanina que se sintetiza en las células de estos órganos, los procesos digestivos están sujetos a la síntesis de enzimas de este sistema, mientras que la conducta de huida de un animal ante un depredador es regulada por la secreción de neurotransmisores y hormonas. En todos estos fenómenos participan el núcleo y la cromatina de las células, el ADN que constituye esta cromatina, y las proteínas que se sintetizan en los ribosomas.

- ¿Cómo las células de la piel utilizan la información genética del núcleo en la síntesis del pigmento que les da el color?
- ¿Cómo se expresa esa información genética en el lenguaje de las moléculas de proteínas si estas tienen diferente composición química con relación al ADN?

Las características fenotípicas de un individuo están relacionadas con el funcionamiento de los diversos tipos de proteínas que contiene en sus células. La información genética de su ADN hace posible el proceso que tiene lugar en el citoplasma celular, específicamente en los ribosomas, que define la estructura que adoptan las cadenas polipeptídicas de las proteínas durante su síntesis, y en el que las moléculas de ARN sirven de intermediarios entre el núcleo y los ribosomas.

Durante este proceso la información genética contenida en la secuencia de bases nitrogenadas del ADN debe ser copiada al ARN; este es un proceso metabólico de síntesis denominado transcripción, que transcurre en el ADN. Luego esta información debe ser decodificada al lenguaje de las proteínas: la secuencia de aminoácidos. Esto último ocurre mediante otro proceso anabólico denominado traducción, que no es más que la biosíntesis de proteínas en los ribosomas (figura 5.29).

La transcripción consiste en un proceso de síntesis de una cadena de ARN con la participación de la enzima ARN polimerasa, los nucleótidos y la molécula de ADN que le sirve de molde o patrón.

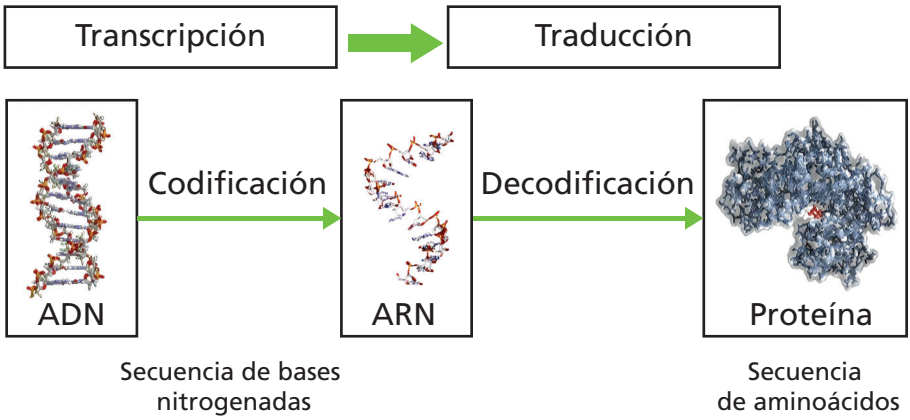


Fig. 5.29 Relación entre los procesos implicados en la expresión de la información genética

Estas interacciones moleculares se deben a la propiedad de autoorganización de las biomoléculas, que se basa en su estructura y en los cambios que en esta acontecen como resultado de las interacciones entre las propias moléculas, y entre ellas y el medio ambiente, que actúan como mecanismos de regulación. De esta forma se evidencia la integridad biótica en el nivel de organización molecular.

¿? ¿Sabías que...?

Durante muchos años se pensó que la información genética viajaba del ADN al ARN y de este a la cadena polipeptídica. A este flujo unidireccional se le llamó dogma central de la biología molecular. Sin embargo, el descubrimiento de los retrovirus (como el VIH y el SARSCOV-2) que contienen ARN como material genético y la enzima transcriptasa inversa destronó este dogma, pues estos sintetizan ADN a partir de ARN. Este es un ejemplo de cómo los nuevos descubrimientos científicos permiten cambiar las teorías anteriormente planteadas.

El inicio de la transcripción se realiza en una región del ADN denominada promotor, cuya secuencia de bases específica es una señal a la que se une la enzima que cataliza la transcripción del ADN. En este proceso el ADN es desenrollado por la acción enzimática, quedando las dos cadenas separadas.

Un promotor es una secuencia en la molécula de ADN que controla el inicio de la transcripción, de un gen o grupo de genes.

A continuación la enzima incorpora ribonucleótidos de manera continua sobre la cadena de ADN que sirve de "molde", teniendo en cuenta la complementariedad de las bases. El alargamiento del nuevo ARN continua así hasta que la enzima alcanza una secuencia del ADN que indica la terminación del proceso, entonces son liberados el nuevo ARN y la enzima. A medida que avanza el proceso las dos cadenas de ADN se vuelven a unir (figura 5.30).

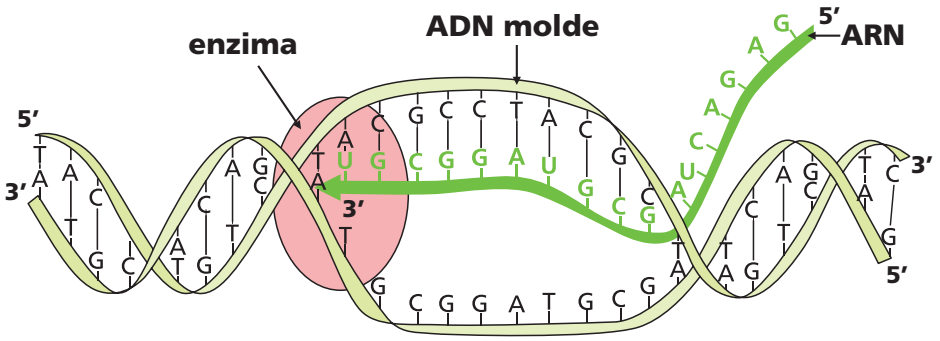


Fig. 5.30 Modelo del proceso de transcripción del ADN

En las células se forman distintos tipos de ARN con estructura y propiedades diferentes, por lo que sus funciones también son variadas (síntesis de proteínas, regulación genética y otros procesos celulares). En las células eucariotas el ARN pasa por un proceso de maduración antes de ser funcional, lo que no ocurre en las procariotas; en estas últimas la transcripción y la traducción ocurren al mismo tiempo.

La traducción de la información genética es un proceso anabólico de biosíntesis de proteínas que transcurre en los ribosomas, en el cual la información se trasforma de una secuencia de polinucleótidos, a una secuencia de polipéptidos.

Como conoces, los ribosomas están localizados en el citoplasma, en las mitocondrias y cloroplastos. Durante la traducción, la información

genética contenida en la secuencia de bases nitrogenadas del ARNm se decodifica y pasa a la secuencia de aminoácidos de la cadena polipeptídica que da lugar a la proteína. Se ha denominado traducción porque la información pasa del "lenguaje" de la cadena de nucleótidos al "lenguaje" de la cadena polipeptídica formada por aminoácidos. En este complejo proceso participan tres tipos de ARN: el mensajero, el ribosomal y el de transferencia.

El ARN mensajero (ARNm) funciona como especie de "molde" en el proceso de decodificación de la información genética. Este porta "el mensaje" (información de la secuencia de aminoácidos de la cadena polipeptídica que deberá tener la proteína que se va a formar) y lo lleva a los ribosomas. Esta función es posible por poseer una estructura lineal de una sola cadena polinucleotídica, cuyas bases nitrogenadas se encuentran en orden consecutivo, lo que le confiere propiedad informativa a esta secuencia.

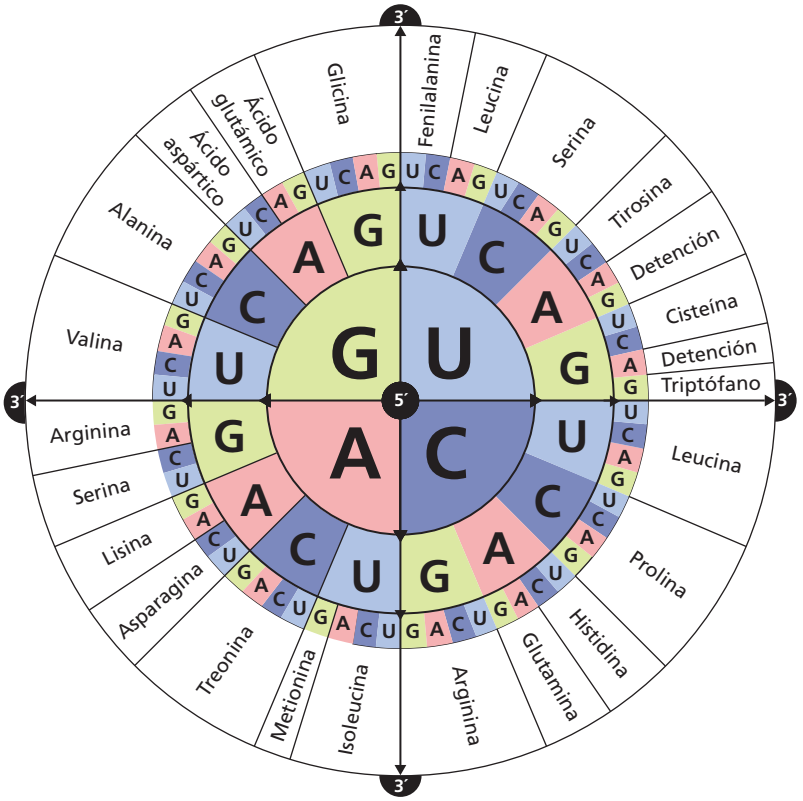
Los ARN mensajeros son cadenas sencillas de polinucleótidos; la información genética contenida en su secuencia de base está organizada en unidades primarias denominadas codones.

Los codones son tríos o tripletes de bases nitrogenadas estructuradas en diferentes combinaciones, por ejemplo: AUC CCG GCU UUA AAC GGU AUU CAU AUC; en esta secuencia hay 9 codones.

Codón (de las voces latinas ***cōd***, que significa tronco de árbol; ***códice***, código, y ***on*** que significa partícula) es un triplete del ARN mensajero que codifica la incorporación de aminoácidos específicos en la biosíntesis de proteínas.

La existencia de cuatro tipos diferentes de bases nitrogenadas en el ARN posibilita la conformación de 4^3 tipos de combinaciones de codones, es decir, 64 tipos de codones. Mediante la investigación genética se hizo posible descubrir el aminoácido que codifica cada combinación de triplete, con lo cual se logró descifrar el código genético.

En el esquema 5.3 se muestra el código genético. Es una figura circular con tres círculos concéntricos en su interior, cada uno de los cuales contiene los cuatro tipos de nucleótidos A, G, C U. Para identificar el aminoácido que codifica un codón del ARNm se debe buscar el triplete en los tres círculos de adentro hasta afuera, a partir de las tres bases que lo caracterizan.



Esquema 5.3 Código genético

Por ejemplo, si se quiere identificar el aminoácido que codifica el codón UAC se debe localizar en el círculo central la U, luego en el mismo cuadrante de la U, identificar la A en el segundo círculo, y a continuación en el tercer círculo de la misma forma identificar la letra C, que en este caso corresponde al aminoácido tirosina. Así, con el empleo de este recurso gráfico se puede predecir la secuencia de aminoácidos del polipéptido que codifica una determinada cadena de ARN mensajero.

El código genético se ha caracterizado con las siguientes propiedades:

- Es ***altamente redundante***, pues como puedes comprobar, hay varias combinaciones de tripletes para un mismo aminoácido. Por ejemplo, para los aminoácidos arginina, serina y leucina existen seis combinaciones diferentes.
- No todos los codones determinan aminoácidos, pues hay tres codones sin sentido que actúan como señal indicadora de culminación de la síntesis de la cadena polipeptídica.

- No es ***ambigua***, ya que cualquier codón determina solamente un aminoácido.
- No es ***superpuesto*** un nucleótido solo pertenece a un codón y no a varios.
- Es ***universal*** para todos los organismos vivos existentes en el planeta, solo con alteraciones esporádicas, lo que sugiere que debió haber quedado establecido muy al principio de la evolución y es una prueba más del origen común de todos los organismos vivos en la Tierra.

El ARN ribosómico (ARNr) forma parte de los ribosomas y participa activamente en el proceso de biosíntesis de proteínas.

El ARN de transferencia (ARNt) también participa activamente en el proceso de biosíntesis de proteínas esta molécula porta los aminoácidos específicos codificados en la cadena del ARN mensajero que van a ser colocados en la secuencia polipeptídica en los ribosomas durante la síntesis.

Su estructura tridimensional es esencial en la especificidad requerida en su función. Esta se encuentra conformada por dos cadenas unidas en determinadas secuencias nucleotídicas complementarias, que dan lugar a una estructura de cuatro brazos con forma de hoja de trébol, y una conformación tridimensional que recuerda la letra L, en la que se distinguen dos brazos en los extremos (figura 5.31).

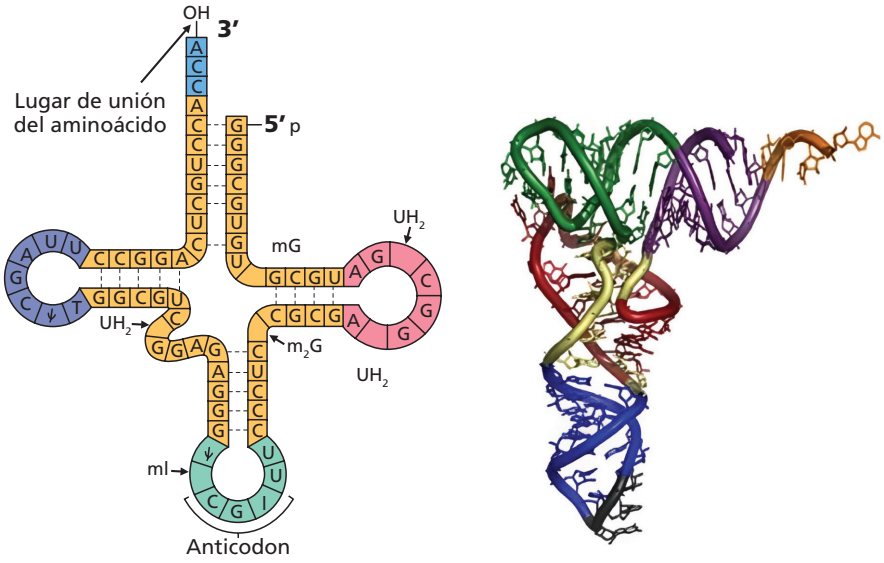


Fig. 5.31 De izquierda a derecha: Estructuras primaria y secundaria y conformación tridimensional de la molécula de ARN de transferencia

El brazo anticodón del ARNt es un asa de tres nucleótidos no apareados, cuyas bases son complementarias a un codón específico del ARNm. El brazo aceptor es un tallo de bases apareadas que termina en una secuencia no apareada por donde se une un aminoácido específico.

Una vez analizados los componentes moleculares y celulares que participan en el proceso de traducción, es necesario responder la pregunta siguiente: ¿cómo es que estos interactúan durante la biosíntesis de proteínas?

La biosíntesis de proteínas es un proceso complejo en el que intervienen un gran número de moléculas de proteínas, factores de iniciación, alargamiento y liberación, junto a moléculas de ARN de los tres tipos, aminoácidos y GTP. El ribosoma proporciona el ambiente adecuado donde interactúan el ARNm y los ARNt que portan los aminoácidos, y se comporta como una "pequeña fábrica" migratoria que viaja a lo largo del molde de ARNm, produciendo ciclos rápidos de formación de enlaces peptídicos por la acción de los ARNr (figura 5.30).

Este proceso da por resultado moléculas polipeptídicas cuya secuencia de aminoácidos se corresponde con la secuencia de nucleótidos del ARNm, esta última a su vez se corresponde con la secuencia del ADN que le dio origen. Así se logra expresar la información genética del ADN en las moléculas de proteínas que constituyen las "herramientas" ejecutoras del metabolismo y demás funciones celulares. De esta manera dichas moléculas hacen posible el fenotipo de los organismos, por lo que se dice que la información genética se expresa en el fenotipo.

Saber más

En las células eucariotas a diferencia de las procariotas, el ARN recién transcrito no está listo aún para ser traducido, por lo que requiere un proceso de maduración. La existencia de una envoltura nuclear protectora impide que los ribosomas citoplasmáticos tengan acceso a los ARNm recién sintetizados, y solo después de procesados es que son exportados al citoplasma, saliendo por los poros nucleares a manera de partículas ribonucleoproteínicas, es entonces que puede ser traducido por los ribosomas. Después de procesado, el ARNm eucariota es más estable y sigue traduciéndose durante muchas horas (figura 5.32).

En estos complejos procesos de expresión de la información genética se evidencia la integridad biótica a nivel molecular, dada por las interacciones de

múltiples biomoléculas resultado del proceso de evolución molecular transcurrido durante millones de años, en interacción con factores ambientales. La actuación de tantas moléculas requiere ser regulada y en dicha regulación intervienen factores internos y externos de la célula y el organismo.

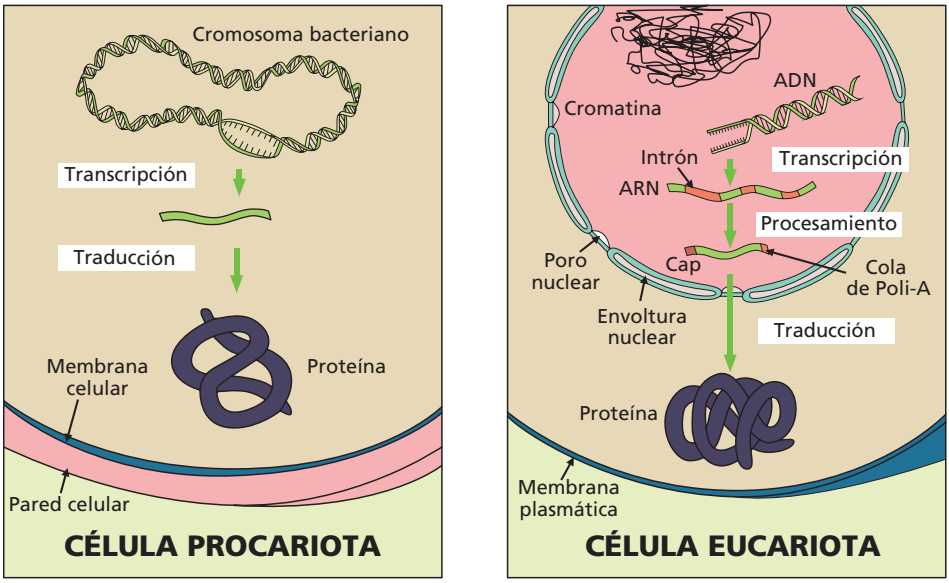


Fig. 5.32 Expresión de la información genética en células procariotas y eucariotas

5.4.5 ¿Cómo se regula la expresión de la información genética en las células?

El conejo Himalaya tiene normalmente un color negro en todo su cuerpo, sin embargo, la enzima que produce el pigmento negro no se activa cuando la temperatura supera los 34 °C. A temperatura ambiente las partes más alejadas del cuerpo (patas, colas y orejas) que se mantienen frías, son de coloración negra porque en ellas se sintetiza el pigmento. Por el contrario, la superficie del resto del cuerpo con temperatura superior a este límite, es de coloración pálida (figura 5.33).

¿El color del pelaje de este animal es determinado por genes, por la temperatura ambiental, o por ambos?

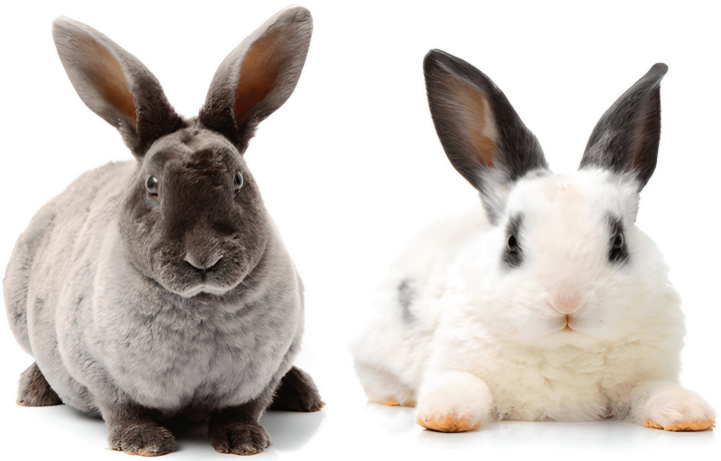


Fig. 5.33 Conejos de raza Himalaya

Después que en 2003 culminara el Proyecto Genoma Humano con la secuenciación de los 3.500 millones de nucleótidos, se puso de manifiesto que el 99,8 % es idéntico en todos los seres humanos independientemente del grupo étnico. También se encontró un gran número de secuencias que no parecía codificar la síntesis de alguna proteína funcional vinculada con el fenotipo del organismo, por lo que se les denominó ADN "basura" o sin sentido.

- ¿Cómo es posible que en el proceso evolutivo se haya conservado tanto ADN sin sentido, si su replicación y transcripción requieren un considerable gasto energético y nutrientes?
- ¿Cómo se utiliza y controla la información contenida en nuestro genoma?
- ¿Cómo influye el medio ambiente en el genoma durante los procesos implicados en la utilización de la información genética?

En todos los niveles de organización de la materia el medio ambiente ejerce su acción moduladora. Como sabes, las características estructurales y funcionales de los organismos dependen en buena medida, de los factores bióticos y abióticos. A nivel molecular, donde se realizan los procesos involucrados en la expresión de la información genética, también influyen dichos factores, ¿cómo explicar que unos genes se expresen y otros no, ante determinadas condiciones ambientales?

De la historia

En la búsqueda de respuestas a estas interrogantes en el 2003 se creó el Proyecto Internacional ENCODE (***Encyclopedia of DNA Elements***), el cual trató de descifrar ese 98,5 % del genoma, cuya función se desconocía. La iniciativa fue desarrollada por un consorcio compuesto por 442 investigadores pertenecientes a 32 instituciones de países como EE.UU., Reino Unido, Singapur, Japón, Suiza y España, entre otros. Estos resultados representaron aportes al conocimiento del genoma humano que han permitido comprender su funcionamiento. Estos descubrimientos deben tener un gran impacto en la medicina personalizada.

Los procesos metabólicos implicados en la transmisión y expresión de la información genética en la célula (replicación, transcripción y biosíntesis de proteínas) no ocurren continuamente, pues todos los genes no se expresan a la vez ni en la misma magnitud, sino solo en los momentos en que son necesarios y de acuerdo con el estado de desarrollo y funcional del organismo.

En este control están implicados diferentes mecanismos de regulación desarrollados durante el proceso evolutivo; estos pueden involucrar sustancias presentes en la propia célula y en el medio ambiente, e interactúan con los genes o con moléculas de proteínas de la cromatina llamadas histonas.

Los mecanismos de regulación de la expresión de la información genética pueden agruparse en dos niveles: regulación genética y regulación epigenética.

La regulación genética es aquella en la que intervienen los genes reguladores, mientras que en la regulación epigenética no actúan genes reguladores, sino otras moléculas diferentes que inciden sobre el ADN regulando su transcripción.

En estos procesos moleculares de regulación los receptores pueden ser determinados sitios de las propias moléculas que se encuentran situados en lugares estratégicos de las mismas. En los organismos procariotas, que poseen un ciclo de vida muy corto, el más usual es el control de la transcripción mediante genes reguladores, mientras que en los eucariotas, cuyas células duran mucho más tiempo de manera funcional, el proceso es más complejo.

Regulación genética

Los genes reguladores son aquellos que ejercen una función moduladora al codificar la síntesis de proteínas activadoras o represoras: estas estimulan o inhiben la transcripción mediante cambios en la estructura del promotor, en interacción con factores ambientales.

En las células procariotas el genoma generalmente está organizado en operones que contienen un sitio promotor, seguido de otro denominado operador, y a continuación los genes estructurales que codifican la síntesis de proteínas (figura 5.34).

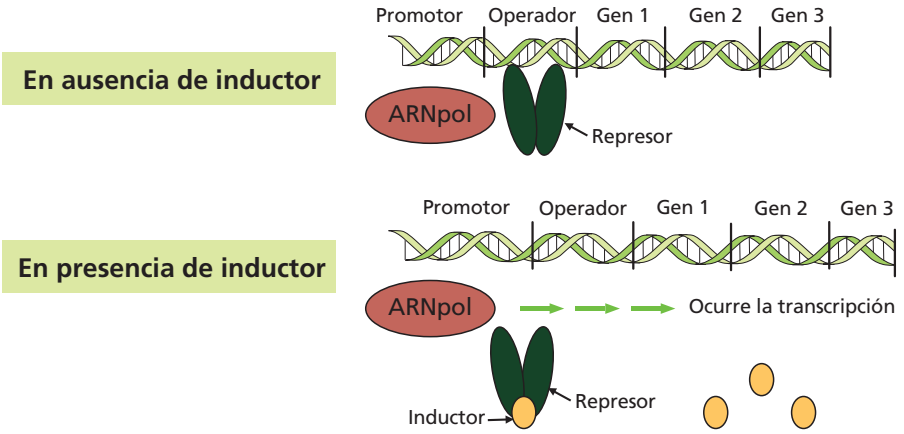


Fig. 5.34 Modelo del operón lactosa de Jacob y Monod

De la historia

El mecanismo de regulación génica de la degradación de la lactosa en bacterias ***Escherichia coli***, denominado operón lactosa, constituyó el primer modelo de regulación. Fue propuesto en 1961 por los investigadores franceses François Jacob (1920-2013) y Jacques Monod (1910-1978) a partir de resultados experimentales en mutantes. Desde entonces, se han acumulado gran cantidad de pruebas bioquímicas y genéticas que lo han corroborado. En 1965, Francis Jacob, Jack Monod y André Lwoff recibieron el Premio Nobel por sus investigaciones sobre la regulación de la síntesis de enzimas en la célula.

En las células eucariotas existen diversos mecanismos de regulación de la expresión de los genes, entre los que se destacan además del control de la transcripción existente en las procariotas mediante genes

reguladores, otros más específicos, como la regulación del proceso de maduración de los ARNm, la regulación del transporte del ARNm al citoplasma, el control de la traducción y de la actividad de la proteína producida, entre otras.

Las diferencias fenotípicas que distinguen a los diversos tipos de células en los organismos eucariotas, se deben en gran parte a la expresión de diferentes genes que codifican proteínas. En las células no todos los genes se transcriben constantemente, solo lo hacen aquellos que codifican las proteínas necesarias de acuerdo con la especialización en el funcionamiento de las mismas, es una transcripción selectiva.

Mientras más copias idénticas de ADN existan en el genoma, mayores probabilidades hay de que se transcriba más cantidad de ARNm, y de que su producto proteínico se encuentre en mayor concentración. Por eso en el genoma se encuentran múltiples copias de genes que codifican la síntesis de histonas, de ARNr y ARNt, entre otros.

Regulación epigenética

La epigenética (del griego ***epi***, que significa en o sobre) hace referencia en un sentido amplio, al estudio de todos aquellos factores no genéticos que intervienen en la determinación de la ontogenia o desarrollo de un organismo, desde el óvulo fertilizado hasta su senescencia, pasando por la forma adulta.

Los mecanismos de regulación epigenética que han sido identificados hasta el momento son básicamente tres: **metilación** del ADN, cambios en la configuración de la cromatina, y silenciamiento por unión de segmentos cortos de ARN.

La metilación del ADN es una modificación que acontece a la base nitrogenada citosina por acción enzimática, al transformarla en 5´metilcitosina por la adición de un grupo metilo en el carbono 5. Esto genera el silenciamiento y la imposibilidad de expresión del gen sobre el que se adicionó el grupo metilo, lo que puede tener lugar en condiciones normales o ser la causa de alguna enfermedad.

En condiciones normales la metilación impide que durante la mitosis se produzca recombinación genética, o que la segregación de los cromo-

somas durante la misma ocurra de manera precisa y sin defectos; esto posibilita que el genoma se mantenga íntegro durante este proceso de división celular, en el que ocurren muchos cambios y movimientos de los cromosomas hacia las células hijas que pudieran ocasionar defectos traumáticos para la célula. Los patrones de metilación del ADN y sus efectos fenotípicos se pueden transmitir a las células hijas.

En los cambios que ocurren en la estructura de la cromatina intervienen las histonas regulando el inicio de la transcripción del ADN.

Recuerda que...

La cromatina está conformada por nucleosomas y ADN. Los nucleosomas son octámeros de histonas (proteína básica) de diferentes tipos, a los que se enrolla el filamento de ADN como un hilo en un carretel (figura 5.35). La cromatina en el núcleo se dispone en regiones en las que se observa más compactada y en otras regiones se observa más laxa. Esta diferencia en la compactación está relacionada con su estado fisiológico.

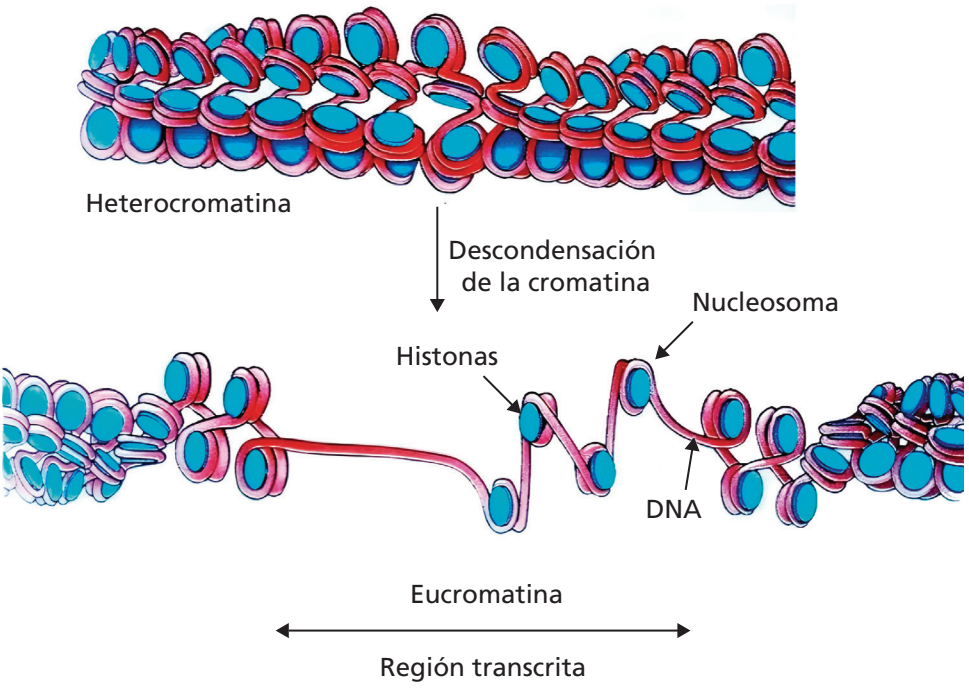


Fig. 5.35 Cambios en la estructura de la cromatina

El grado de compactación de la cromatina afecta la expresión de los genes, algunos de los genes inactivos se encuentran en regiones altamente compactadas. Los genes activos se encuentran en las regiones más laxas de la cromatina, esto se debe a que aquí las proteínas que participan en la transcripción pueden tener mayor acceso a la molécula de ADN que en las regiones compactadas.

La condensación o descondensación de la cromatina es una respuesta a señales inductoras específicas que pueden provenir del medio ambiente. Existen otros mecanismos de modificación de la estructura de la cromatina como la metilación, la fosforilación y la acetilación de las histonas.

En el núcleo se transcriben diferentes fragmentos de ARN que no codifican proteínas, como el ARNi (ARN de interferencia). Estos participan en la regulación de la transcripción de muchas maneras: afectando la cantidad de ARNm sintetizado, la traducción de los ARNm y la remodelación de la cromatina.

Saber más

Los poros nucleares controlan el acceso del ARNm a la matriz citoplasmática, la eficiencia de su transporte también es regulada por la célula. Por otro lado, la frecuencia con que el ARNm se traduce y el tiempo que permanece viable, constituye otro mecanismo de regulación a nivel de la traducción. Algunas hormonas pueden controlar la estabilidad del ARNm alargando o acortando su tiempo activo.

Influencia del medio ambiente en la regulación de la expresión genética

Los medios en que funcionan los genes son principalmente el jugo nuclear y la matriz citoplasmática, por lo que las sustancias que se encuentran en estos influyen en su funcionamiento. En los organismos pluricelulares el estado del medio interno y el medio ambiente externo al organismo, también ejercen influencia en el funcionamiento del genoma.

Por ejemplo, las hormonas esteroideas (corticoides, progesterona, testosterona, vitamina D) intervienen en la activación de la transcripción al unirse a una molécula de proteína receptora específica, y estimular la transcripción génica.

Algunas señales del medio ambiente, como la temperatura y la longitud del día, son percibidas por los sistemas neurosensoriales del organismo, que pueden activar o desactivar la secreción de hormonas por el sistema endocrino, y estas a su vez regular la expresión génica.

Por otra parte, los antígenos con los que los organismos se ponen en contacto en su vida cotidiana pueden desencadenar la síntesis de citoquinas (moléculas moduladoras del sistema inmunitario), que a su vez regulan el funcionamiento de los genes que codifican la síntesis de inmunoglobulinas (anticuerpos).

Esta es la base genética a nivel molecular, de los procesos de regulación de los organismos que estudiaste en el capítulo 2.

¿? ¿Sabías que...?

Muchas de las sustancias que se vierten al medio ambiente como parte de los fertilizantes, pesticidas, desechos de industrias, entre otros contaminantes, tienen efectos en la expresión de los genes, pudiendo ser causa de muchas afecciones a los animales, las plantas y a nosotros mismos.

Comprueba lo aprendido

1. El material genético tiene tres funciones básicas: conservar, trasmitir y expresar la información genética.

a) Elabora un esquema lógico en el que se representen sus rasgos esenciales y las relaciones entre estas.

b) Defínelas con tus palabras.

c) Explica cómo se vinculan unas con otras a partir del esquema realizado.

d) Argumenta cómo estas funciones hacen posible la estabilidad y el cambio, que forman parte del fenómeno de la herencia.

2. Establece semejanzas y diferencias en las características del material genético entre procariotas y eucariotas. Arriba a conclusiones vinculadas con el proceso evolutivo. Argumenta.

3. Explica por qué se plantea que la información genética de un individuo está determinada por la secuencia de nucleótidos del ADN. Elabora un esquema lógico que te permita precisar tu respuesta.

4. Relaciona los términos de las columnas A y B según convengan, con relación a las características del material genético:

A	B
a) Replicación	**1.** Intervienen enzimas biosintéticas.
	2. Es conservativa.
	3. La información genética es descodificada al lenguaje de aminoácidos.
b) Transcripción	
	4. Se conserva una cadena vieja de la molécula de ADN.
c) Traducción	**5.** Tiene lugar en ribosomas de la matriz citoplasmática.
	6. Se realiza durante la interfase del ciclo celular.
d) Reparación	
	7. Se realiza en todos los momentos de la vida de la célula.

5. Selecciona cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas. En el código genético:

a) A cada codón le corresponde un solo aminoácido.
b) A cada codón le corresponde más de un aminoácido.
c) A cada aminoácido le corresponde un solo codón.
d) A cada aminoácido le corresponde más de un codón.

6. En los organismos, la descendencia hereda las características de sus padres. Los encargados de transmitir esta información son los genes formados por ácido desoxirribonucleico (ADN) que se encuentran formando parte de los cromosomas. En algunos casos el orden de la secuencia de componentes en esta biomolécula se ve alterado, fenómeno que se conoce como mutación. Selecciona a continuación la forma en que mejor se expresa la organización de los componentes señalados anteriormente:

a) mutación, gen, cromosoma, ADN
b) cromosoma, gen, ADN, mutación
c) ADN, cromosoma, gen, mutación
d) gen, cromosoma, mutación, ADN

7. Las enzimas son proteínas que catalizan los procesos bioquímicos metabólicos celulares, y la información necesaria en su

construcción está en el ADN. Si un fragmento de la secuencia de aminoácidos de una enzima es His-Try-Ala-Val, selecciona cómo se puede determinar la secuencia del ADN que codifica este fragmento proteico:

a) reemplazando los aminoácidos por ARN mensajero y cambiando la timina por el uracilo en el ADN;
b) construyendo una proteína similar y determinando cuál fragmento de ADN corresponde a la proteína;
c) haciendo la secuencia de bases nitrogenadas del ARN transferencial de cada aminoácido y reemplazando el uracilo por la timina, o
d) partiendo de la cadena de aminoácidos y buscando las tripletas complementarias de ARN mensajero, para formar la cadena de ADN original.

8. Elabora un modelo de la estructura primaria de un fragmento de una molécula de ADN y representa los procesos siguientes:

a) copiado de la información durante la replicación semiconservativa;
b) transcripción de la información del ADN a la secuencia del ARN durante la expresión de la información genética, y
c) decodificación de la información del ARNm en la secuencia de aminoácidos durante la traducción o biosíntesis de proteínas.

9. Explica cómo las propiedades del ADN hacen posible sus funciones y qué características estructurales están en la base de cada una.

10. Explica qué características esenciales posee el proceso de replicación del ADN que posibilita la transmisión de la información genética a las células hijas. Modela mediante gráficos este proceso.

11. Utiliza la gráfica del código genético (Esquema 5.3) y completa los espacios en blanco:

Tabla 5.6 Ejercicio con la gráfica del código genético

Cadena de ADN molde				
Cadena de ADN complementario			AAG	

ARNm		GUC		
Anticodón				AUU
Aminoácido	Met			

12. ¿Qué inferencia evolutiva se puede derivar del hecho de que todos los seres vivos utilizan el mismo código genético en la síntesis de proteínas?

13. Dada la siguiente secuencia de nucleótidos de un fragmento de una cadena polinucleotídica de ADN: CAG CTA ACG TAC ACC ATT.

a) Determina la cadena complementaria de esta molécula de ADN.
b) Representa la replicación de la misma.
c) Representa la transcripción y determina el polipéptido que se sintetiza a partir de este fragmento de ADN.
d) ¿Qué consecuencia traería si en el segundo triplete la base de timina se apareara durante la replicación con una base de guanina en vez de una adenina?

14. Utilizando la gráfica del código genético establece los pasos que conducirán a la síntesis del péptido siguiente: leucina-alanina-prolina-serina-arginina-arginina-valina.
Indica:

a) Una secuencia del ADN bicatenario correspondiente, entre todas las posibles.
b) La secuencia de codones del ARNm.
c) El número de ARNt que intervendrán en el proceso y sus anticodones específicos.

15. Analiza los procesos de replicación, transcripción, traducción de la información genética y regulación de su funcionamiento, en células procariotas y eucariotas.

a) Compara dichos procesos atendiendo a criterios determinados por ti.
b) Explica cómo interviene el medio ambiente en los procesos antes mencionados.
c) Redacta un texto de conclusiones acerca del estudio comparativo realizado.

16. Compara la regulación genética y la regulación epigenética, y ejemplifica en cada caso.

17. Ejemplifica cómo el medio ambiente puede influir en el funcionamiento de los genes y, por lo tanto en su expresión en el fenotipo.

5.5 Diferentes factores ambientales también pueden ocasionar variaciones en el material genético y su funcionamiento

Los gemelos idénticos son estudiados por los científicos para analizar cómo influyen los genes y el medio ambiente en el fenotipo. Los hermanos gemelos monovitelinos se originan por división del huevo fecundado en dos partes, que al ser separadas originan dos individuos con genomas idénticos. Sin embargo, a veces desde la niñez o en el transcurso de su desarrollo individual se pueden identificar entre ellos ciertas diferencias (figura 5.36).

Fig. 5.36 Gemelos idénticos

Si estos tienen el mismo genotipo y este determina el fenotipo, entonces:
- ¿Cómo es posible que tengan rasgos fenotípicos diferentes?
- ¿Qué importancia tiene la variación y cuáles son sus causas?
- ¿Cómo influyen los genes y el medio ambiente en las variaciones de los organismos?

La variación es la modificación del fenotipo de un individuo con respecto a sus progenitores. Este es un fenómeno cotidiano en la naturaleza, y por ello hay una notable variabilidad entre los individuos de una misma familia así como entre familias dentro de una misma especie, variedad de planta, o raza de animal. Su importancia en la naturaleza radica en que constituye la base de la evolución y en el desarrollo de la humanidad; es lo que ha posibilitado la mejora de plantas, animales, y microorganismos de utilidad en la producción de alimentos, medicamentos, entre otras aplicaciones.

La propiedad de los organismos de variar su estructura, propiedades, funciones o conductas se denomina variabilidad. La ocurrencia de variaciones en el fenotipo puede deberse a cambios en los genes, en la estructura de los cromosomas, en el número de estos en la célula, o por la incidencia de factores ambientales físicos y químicos.

Todas las variaciones tienen una causa material determinada, son cambios naturales, pero en ocasiones se desconocen, y por ello se emplea el término de mutaciones espontáneas.

Reflexiona

Hay individuos que adjudican la presencia en personas, animales o plantas, de enfermedades, defectos u otras variaciones a la norma habitual, a la acción de fuerzas sobrenaturales o causas subjetivas como el mal de ojo, una maldición, un castigo por un mal comportamiento o por no haber cumplido alguna obligación, entre otras. También creen que el hacer una promesa, puede resolver un problema de salud o evitar el nacimiento de un bebé con defecto, entre otras situaciones. ¿Conoces personas así? ¿Qué opinas tú?

5.5.1 ¿Cuáles son las causas de la gran diversidad de caracteres fenotípicos desarrollados durante el proceso evolutivo?

Durante la evolución, en algunos grupos de reptiles surgieron adaptaciones como el desarrollo de alas en las extremidades superiores y plumas que cubren todo el cuerpo; de estos reptiles surgieron al cabo de miles de años determinados grupos de aves. Estas adaptaciones les

posibilitaron a estas últimas, la ejecución del vuelo y la conquista del aire (figura 5.37).

Fig. 5.37 Fósil de ***Archaeopterix***

- ¿Cómo se pudieron producir estos cambios en dichos organismos?
- ¿Cambiaron sus genes, y con estos las características fenotípicas que determinan?
- ¿Cómo influyó el medio ambiente en estos cambios?

En la gran diversidad de variaciones que se han desarrollado durante el proceso evolutivo se manifiesta la relación genotipo-ambiente-fenotipo. En unos casos tiene mayor incidencia el genotipo, como es en el caso de las mutaciones, mientras que en las modificaciones el mayor peso lo tienen los factores ambientales; pero en todos los casos están involucrados ambos.

En este apartado se profundiza en cada una de las formas en que se manifiestan las variaciones, develándose sus causas y consecuencias en los organismos. En general, las variaciones constituyen el soporte sobre el cual actúa la selección natural durante el proceso evolutivo, y han hecho posible la adaptación; sin embargo, también son la causa de numerosas anomalías, enfermedades y hasta la inviabilidad de la descendencia.

Una mutación es cualquier cambio heredable en el genoma de un organismo.

En los organismos de reproducción sexual, las mutaciones pueden tener diferente trascendencia atendiendo al tipo de célula en las que ocurren. Si ocurren en células somáticas, sus efectos solo serán visibles en el organismo en cuestión, pero si ocurren en células germinales (formadoras de gametos), estas se trasmitirán a la descendencia.

Mutaciones génicas

La mutación génica es un cambio en la estructura primaria del material genético, es decir, en la secuencia de los nucleótidos que componen el ácido nucleico.

En estas el alelo de un gen cambia y se convierte en un alelo distinto; el mutante es el individuo con un cambio fenotípico debido a una mutación. En el estudio de las mutaciones génicas es necesario tener precisión de cuál es el estado fenotípico normal que se analiza, de este se dice que es el tipo estándar, y el alelo que lo determina es silvestre o salvaje. Cualquier cambio que provoque alguna alteración en el alelo silvestre es una mutación directa, y el alelo resultante se denomina mutante. Este puede volver otra vez a su estado normal en un proceso denominado reversión.

Por ejemplo, el alelo dominante ***A*** es el salvaje, al mutar se convierte en alelo mutante recesivo ***a*** (mutación recesiva). La reversión puede provocar que el alelo a vuelva al estado dominante ***A*** (mutación dominante).

De la historia

El estudio sistemático de las mutaciones en los organismos comenzó con las investigaciones del científico holandés Hugo de Vries desde el año 1886. Este estudió minuciosamente las plantas que cultivaba en grandes cantidades. Sus experimentos lo condujeron a descubrir las variaciones discontinuas en plantas, y a comprobar en qué medida estas se trasmitían a la descendencia. Postuló que las mutaciones con variaciones hereditarias cualitativas de los organismos surgen al azar, lo que fue más tarde corroborado por otras investigaciones. Sin embargo, su error fue contraponer su teoría de la mutación a la teoría de la selección natural de Darwin-Wallace.

Estas mutaciones pueden ocurrir durante los procesos de duplicación, o pueden ser inducidas por la acción de determinadas radiaciones o sustancias tóxicas existentes en la célula, o provenientes del medio ambiente a las que se denomina mutágenos.

¿Sabías que...?

En el humo del tabaco han sido identificado más de 4 800 sustancias tóxicas, de las cuales unas decenas actúan como agentes mutágenos, y muchas otras lo hacen por la vía epigenética.

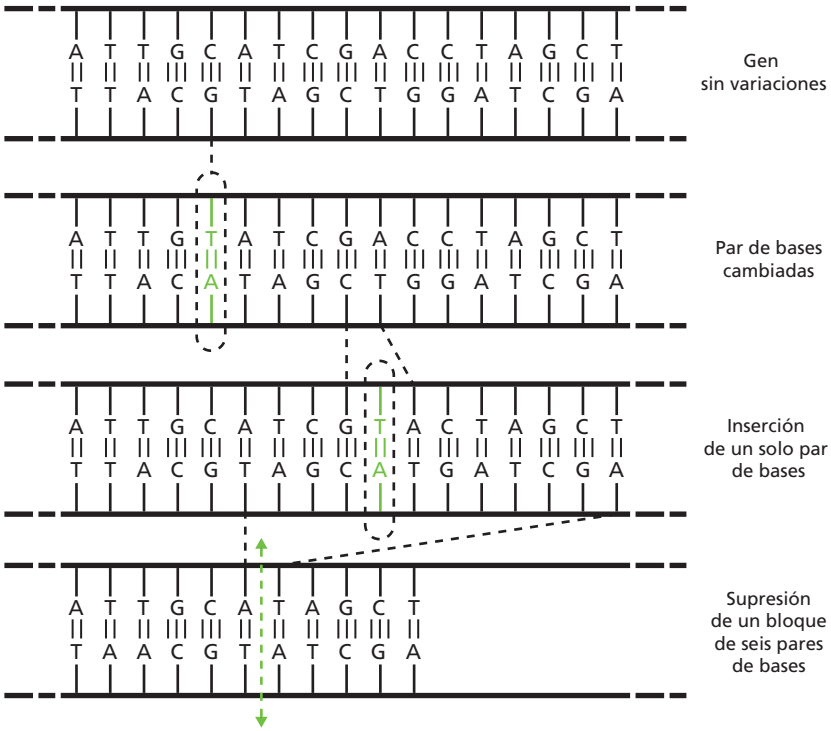
Las alteraciones en un solo gen pueden causar entre 3 000 y 4 000 enfermedades hereditarias.

El estudio de las mutaciones ha sido un objeto interesante e importante en la ciencia debido a los efectos que causan en los organismos. La genética ha logrado identificar y describir un sinnúmero de mutaciones en los organismos llegando a descubrir las causas de muchas de ellas, y con los avances en la genética molecular se ha logrado incluso, proponer soluciones para revertir sus efectos.

Las causas de las mutaciones génicas son básicamente de tres tipos:

Errores que ocurren en la replicación debido a cambios en la estructura molecular de las bases: estos pueden ser silenciosos, con sentido erróneo, sin sentido, o por corrimiento del marco de lectura. Pueden provocar sustituciones, inserciones o deleciones de una o más bases nitrogenadas dentro de la cadena polinucleotídica. En el esquema 5.4

pueden observarse algunos de estos mecanismos de las alteraciones moleculares en los genes.



Esquema 5.4 Modelación de diferentes tipos de mutaciones génicas

Lesiones fortuitas del ADN por diversas causas, entre estas por agentes mutagénicos: estos pueden ser agentes físicos como las radiaciones, o químicos como el peróxido de hidrógeno y los radicales libre de superóxido e hidroxilo, entre otros. Estos agentes provocan daños en las bases nitrogenadas del ADN.

Estas pueden causar enfermedades como las encefalomiopatías mitocondriales que afectan el sistema nervioso central o los músculos, y se caracterizan por un retraso mental hereditario. Esta se debe a la mutación en genes mitocondriales que están sometidos a gran estrés oxidativo por la elevación de la concentración de radicales libres, donde la reparación no existe o es menos eficiente.

La acción de transposomas que "saltan" de un sitio a otro del genoma: los transposomas son secuencias de ADN susceptibles de cambiar de lugar dentro del ADN al soltarse de un sitio del genoma e insertarse en

otro diferente; esto trae consigo cambios en la posición de los genes o la interrupción de secuencia normal.

De la historia

Los transposomas fueron descubiertos por la investigadora norteamericana Bárbara McClintock (1902-1992) en estudios con el maíz, en el decenio de 1950, y fueron nombrados inicialmente genes "saltarines"; ella observó que algunos genes parecían activarse y desactivarse de manera espontánea. Dedujo que en el mecanismo participaba un gen que se desplazaba de una región cromosómica a otra donde podía activar o desactivar genes en su vecindad. En reconocimiento a sus relevantes descubrimientos fue galardonada en 1983 con el Premio Nobel de Medicina o Fisiología.

Los cambios en el material genético pueden manifestarse o no, en el fenotipo del individuo; para que estos se manifiesten deben provocar cambios también en los codones, de manera que codifiquen un aminoácido diferente. Por eso la presencia de un aminoácido incorrecto puede producir una proteína anormal que no funcionará de manera adecuada, trayendo como consecuencia una disfunción o un funcionamiento diferente a como lo hacía la proteína normal.

Un ejemplo muy divulgado de mutación génica es la sicklemia o anemia falciforme, que surge como consecuencia del cambio del ácido glutámico (aminoácido polar iónico) por la valina (aminoácido apolar), en la posición 6 de la cadena β de la hemoglobina (figura 5.38).

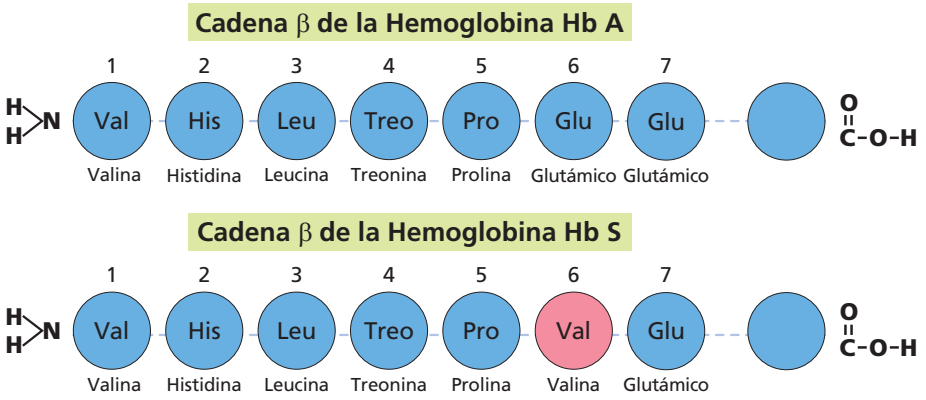


Fig. 5.38 De izquierda a derecha: glóbulos rojos de un paciente con sicklemia, y secuencia de aminoácidos en fragmentos de cadenas de hemoglobina

Estas son las mutaciones que dan origen a los genes alelos (alternativas de un mismo gen). Así, la existencia de genes alelos para el carácter textura del pelo liso o rizado, o forma del lóbulo de la oreja, libre o adherida, son consecuencias de mutaciones ocurridas en un gen. La inmensa mayoría de las características fenotípicas de los organismos son resultados de mutaciones ocurridas en sus antecesores.

Si el cambio es por inserción, supresión de al menos uno o varios nucleótidos, o la inserción de un segmento grande de ADN, se puede producir corrimiento del marco de lectura, trayendo consecuencias mucho más drásticas en la estructura de la proteína que codifica el gen. En estos casos se sintetizan cadenas polipeptídicas anormales, o se detiene la traducción.

¿? ¿Sabías que...?

En la mosca del vinagre se han encontrado los genes correspondientes al 60 % de 289 defectos genéticos conocidos en el ser humano, entre ellos los relacionados con el cáncer, el Alzheimer y las enfermedades renales.

No siempre las alteraciones en el ADN producen variaciones fenotípicas, pues mediante el proceso molecular de reparación se logra revertir el efecto ocasionado en el componente afectado, volviendo nuevamente a la normalidad. Por lo tanto, para que una alteración llegue a ocasionar una variación apreciable en el fenotipo debe haber fallado algún mecanismo del proceso de reparación.

De la historia

En 1927, Hermann J. Müller (1890-1967) demostró la primera inducción artificial de mutaciones, en la mosca de la fruta ***Drosophilla melanogaster***, mediante la medida del efecto de grandes dosis de rayos X sobre la tasa de mutación de genes letales y visibles, ligados al sexo. Contemporáneas a este descubrimiento fueron las observaciones de L. Stadler (1896-1954) en la cebada, que pronto fueron seguidas de demostraciones en otros organismos. Desde entonces se ha probado que las radiaciones de gran energía constituyen uno de los mutágenos más efectivos, y se utilizan en numerosos estudios genéticos experimentales.

Las mutaciones inducidas se producen cuando un organismo es expuesto a un agente mutagénico, muchos de los cuales están presentes en

nuestra vida cotidiana. Productos como el mercurio, comúnmente usados en pinturas y colorantes de pelo, el cloruro de vinilo, entre otros, son mutagénicos. Pero los mutágenos ambientales están en muchos más lugares de lo que podemos imaginar, como en el humo del tabaco, contaminantes industriales, alimentos chatarra, entre otros.

¿Sabías que...?

Existe un tipo especial de genes llamados protooncogenes, muchos de los cuales regulan la división celular. Una mutación en estos genes hará que la célula se encuentre en un estado de división incontrolada que puede dar lugar a la formación de un tumor. Su formación puede ser inducida por algún agente ambiental como el humo del cigarro.

En la atmósfera se encuentran sustancias que son muy peligrosas en concentraciones elevadas por ser agentes mutagénicos; entre ellas tenemos el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, amonio, gases sulfurosos, hidrocarburos aromáticos polinucleares, entre otros; derivadas de procesos volcánicos, incendios de los bosques, descomposición de rocas por erosión, evaporación del mar, degradación de productos biológicos, quema de combustibles fósiles como el petróleo, etc.

Aplicación práctica

Los genes mutantes son utilizados por los investigadores como instrumentos para desensamblar los componentes de una función, examinar su funcionamiento y las relaciones entre ellos. La mutación inducida ha sido una técnica utilizada por los genetistas en la obtención de nuevas y mejores variedades vegetales con fines agrícolas. Para ello se trata el polen o las semillas con agentes mutágenos, y luego se utilizan en la polinización o la siembra.

Los rayos X, la luz ultravioleta y muchas sustancias químicas han sido identificadas como agentes mutagénicos. Muchos de los medicamentos que tomamos, o los aditivos de los alimentos que consumimos diariamente pueden tener efecto mutagénicos o carcinogénicos. Las explosiones de bombas atómicas y centrales nucleares provocan cáncer en los sobrevivientes como resultado de mutaciones en su material genético, lo cual

se transmite a las siguientes generaciones. Por ejemplo, la frecuencia de cáncer de tiroides en los sobrevivientes de la explosión de la planta nuclear de Chernobil, en la antigua Unión Soviética, ha aumentado 200 veces.

Reflexiona

En el ser humano la mutación no solo va acompañada del incremento estadístico de genes mutados, también del sufrimiento personal en cuyo origen se involucran más aspectos éticos, que el efecto inmediato que puedan producir estas sustancias sobre los genes. ¿Crees que debieran permitirse actividades humanas como el uso de armas nucleares, que además de su efecto bélico y devastador generan mutágenos?

Mutaciones cromosómicas

Son las que afectan la morfología de un cromosoma y el orden de los genes en ellos contenidos, al ocurrir cambios de posición de segmentos de los cromosomas, provocando duplicaciones, inversiones, translocaciones o deleciones de partes de este (figura 5.39).

Muchas de estas alteraciones se producen generalmente por entrecruzamiento desigual entre cromosomas homólogos durante la meiosis, no obstante también puede ocurrir entre cromosomas no homólogos. Las mutaciones o aberraciones cromosómicas son causa de defectos congénitos y muerte fetal.

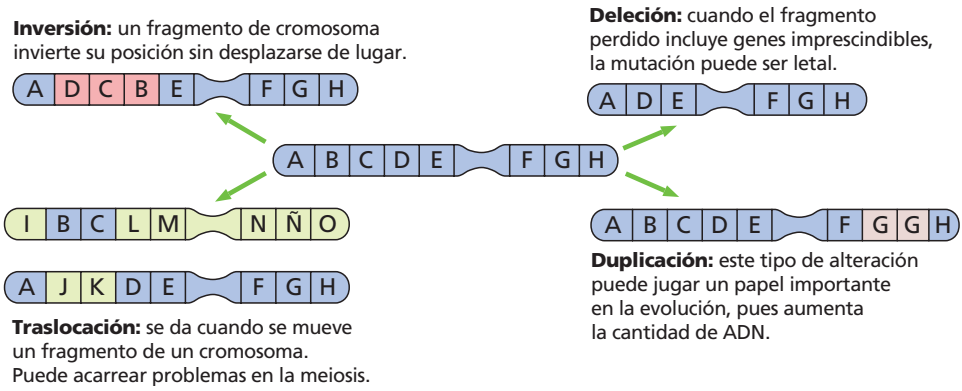


Fig. 5.39 Mutaciones o aberraciones cromosómicas

En el ser humano, una de las manifestaciones que provoca este tipo de anomalía es el llamado síndrome del grito del gato; el cual se manifiesta con microcefalia, malformaciones faciales, daños cerebrales graves y la emisión por el paciente, de sonidos que recuerdan el maullido de un gato. Su causa es una deleción parcial del brazo corto del cromosoma 5, cuya gravedad depende del tamaño del segmento perdido del cromosoma.

Mutaciones genómicas

Son las alteraciones en el número de cromosomas de una célula. Se deben a afectaciones de cromosomas individuales, o a dotaciones completas de estos. Entre estas se encuentra el síndrome de Down y otras anomalías genéticas que producen trastornos de salud; sin embargo, en las plantas ha sido una de las vías más importantes por las que ocurrieron cambios evolutivos y tienen utilidad económica.

Como ya conoces, el cariotipo es constante en cada especie, su variación puede provocar alteraciones anatómicas, funcionales o conductuales en el individuo. Han sido identificadas dos tipos fundamentales de mutaciones genómicas: la euploidía y la aneuploidía.

La euploidía es el tipo de mutación genómica en la cual se afecta el juego completo de cromosomas que conforma al cariotipo.

Una célula puede tener un solo juego de cromosomas y ser haploide (n), diploide (2n), o tener tres o más juegos. En las plantas a diferencia de los animales, es común encontrar organismos cuyas células poseen más de dos juegos de cromosomas, a los que se les denomina poliploides: triploides (3n), tetraploides (4n), pentaploides (5n), hexaploides (6n), etcétera, (figura 5.40). Esto es posible debido a su forma de reproducción asexual.

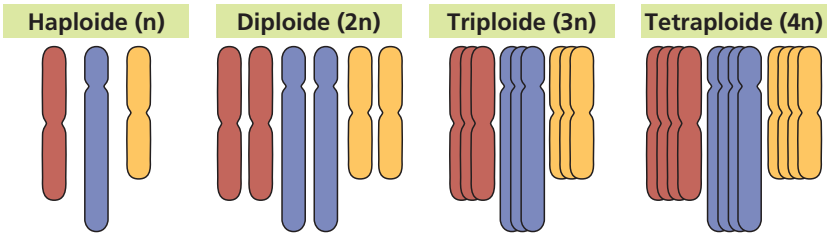


Fig. 5.40 Dotaciones con diferente número de juegos de cromosomas

Aplicación práctica

La poliploidía ha sido la causa del origen de plantas cultivadas tan importantes como el trigo, el algodón, la avena, la caña de azúcar, el limonero, el naranjo, el tabaco, la papa, el plátano y muchas flores ornamentales, que se reproducen de manera asexual. Las plantas poliploides producen frutos más grandes, ocasionando el fenómeno de gigantismo, razón por la que han sido objeto de selección con fines económicos.

En los animales este fenómeno es menos común, pero se encuentra en aquellos que son hermafroditas, como las sanguijuelas, turbelarios y algunos gusanos; o que se reproducen por partenogénesis, como el camarón de las salinas, los áfidos y rotíferos.

Las especies de trigo que consumimos en el pan (***Triticum spelta*** y ***Triticum vulgare***) son poliploides constituidos por seis juegos de cromosomas (6n), resultados de selección y cruzamiento de especies silvestres (realizados desde hace 10 000 años durante muchas generaciones), a partir de las originarias del Oriente Medio (2n) que presentaban el trigo encerrado fuertemente en las brácteas, lo que dificultaba el descortezamiento.

¿Sabías que...?

Hay una especie tetraploide de trigo que produce una harina pegajosa cuando está húmeda, que se utiliza en la fabricación de macarrones y espaguetis. Las especies útiles para hacer pan y tortas, entre otros alimentos, se originaron probablemente por una hibridación accidental entre una especie tetraploide, con una especie de hierba silvestre (***Aegilops***), seguida de la duplicación del complemento cromosómico.

La aneuploidía es el tipo de mutación genómica en la cual solo se afectan algunos de los cromosomas del cariotipo, no el juego completo.

Las causas de estos tipos de mutaciones radican en anomalías de la anafase de la meiosis, cuando no ocurre la separación de los cromosomas homólogos que debe producirse, lo que provoca que algunos de los gametos resultantes porten un cromosoma de más, y otros uno menos.

Al ocurrir la fecundación por alguno de estos gametos anormales las células de la descendencia tendrán igualmente un cromosoma sobrante o le faltará alguno. Tal es el caso de varios síndromes o aberraciones que se

pueden encontrar en la población humana, como el síndrome de Down (trisomía 21), el síndrome de Turner (X0), el síndrome de Klinefelter (XXY), entre otros que podrás analizar a continuación.

El ***síndrome de Down*** provoca deficiencia mental, baja estatura, dedos de manos y pies, cortos y rechonchos, con huellas características, cara redonda, y lengua larga. Estos individuos son también muy susceptibles a enfermedades infecciosas y circulatorias, por lo que tienen una esperanza de vida de aproximadamente 30 años (figura 5.41).

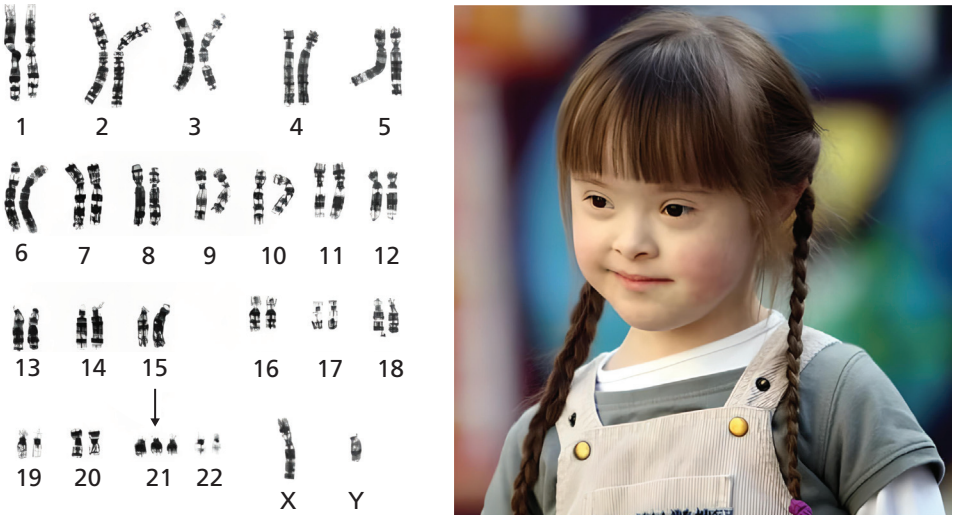


Fig. 5.41 Cariotipo y fenotipo del Síndrome de Down o trisomía 21

La posibilidad de ocurrencia del síndrome de Down es de uno en cada 600 nacimientos, y guarda estrecha relación con la edad de la madre: a mayor edad, más posibilidades de tener un niño con este síndrome, de ahí la necesidad de que las mujeres procreen antes de los 40 años.

Las personas con ***síndrome de Turner*** se caracterizan por presentar corta estatura, cuello membranoso, esqueleto anormal, y cierto retardo intelectual, son sexualmente infantiles y estériles. La causa de este síndrome radica en la falta de uno de los cromosomas sexuales femeninos (X). Aparece en una de cada 2 000 niñas nacidas, y con alta frecuencia en los abortos espontáneos durante el primer trimestre del embarazo; se estima que menos del 2 % de estos fetos llegan al nacimiento (figura 5.42).

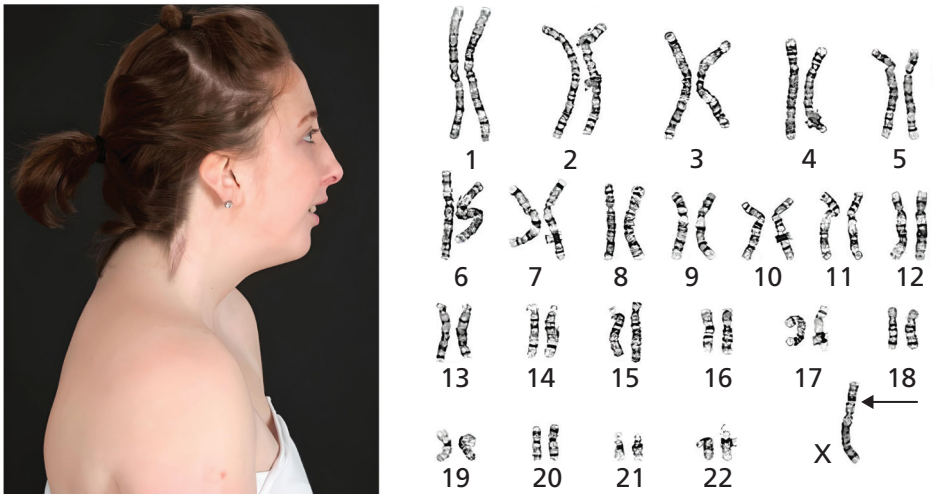


Fig. 5.42 Cariotipo y fenotipo de una hembra con síndrome de Turner

Los individuos con ***síndrome de Klinefelter*** son varones pero con ciertas características anatómicas femeninas; estos tienen un cromosoma sexual femenino de más (XXY). En los casos más extremos tienen voces muy agudas, piernas largas que confiere estatura alta, desarrollo de caderas, pechos femeninos, y muy poco vello en el cuerpo. Uno de cada 800 nacimientos de varones presenta este síndrome. Un incremento de más cromosomas X (XXXY, XXXXY, etc.) ocasiona deficiencia mental, retraso físico y deficiencia testicular (figura 5.43).

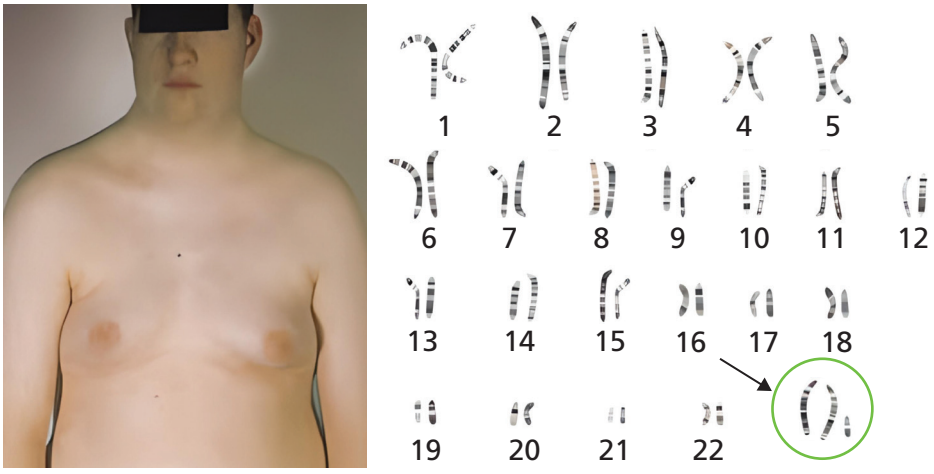


Fig. 5.43 Cariotipo y fenotipo de un individuo con síndrome de Klinefelter

¿Sabías que...?

Las superhembras son mujeres con trisomía XXX; estas son físicamente normales y fértiles, aunque con un índice de inteligencia por debajo de la media. Los supermachos son hombres XYY. Estos últimos han sido encontrados en instituciones penitenciarias, diagnosticados por su alta estatura, acné, alta agresividad y un coeficiente de inteligencia por debajo de lo normal, lo que los puede llevar a un desajuste social. Sin embargo, han sido encontrados hombres supermachos de conductas normales, lo cual puede hacernos pensar que la influencia social es muy importante en el comportamiento humano.

Reflexiona

La interpretación de los supermachos como fenómeno bioético sin atender los determinantes sociales ha generado gran cantidad de interrogantes éticas:

- ¿Deberían estos ser diagnosticados en el momento del nacimiento, o incluso prenatalmente?
- Si se hiciera el diagnóstico en etapa prenatal, ¿deberían ser abortados?
- ¿Los padres de un niño XYY deben ser informados de que se trata de un supermacho y de las características de esta condición?
- ¿Cómo puede afectar la relación progenitores-hijo el conocimiento de que el niño es XYY?

Estos y otros problemas genéticos están llenos de estas difíciles preguntas.

Modificaciones epigenéticas

Actualmente han sido descritas enfermedades como diferentes tipos de cáncer, el Alzheimer, la aterosclerosis, y las enfermedades autoinmunes, entre otras, cuyo origen no radica solamente en cambios en la secuencia del ADN, sino también en su interacción con factores ambientales. Asimismo, se ha asociado el envejecimiento con la acción de ciertos factores del medio ambiente sobre el genoma.

Estos cambios son denominados modificaciones epigenéticas, pues no ocurren en la secuencia de ADN de los genes, sino en otros elementos que intervienen en la regulación de su funcionamiento.

Las modificaciones epigenéticas son variaciones provocadas por cambios en las proteínas asociadas al genoma, sin modificarlo.

Como ya estudiaste antes, entre las causas de este fenómeno, están diferentes mecanismos como la metilación de la citosina en el ADN, las modificaciones químicas de las histonas, y pequeñas moléculas de ADN no codificantes. En cada caso el estado epigenético (modificación) es el resultado de una diferencia en la función (por lo general inactivación), que es determinada por algún cambio en la estructura de la cromatina.

Reflexiona

Los contaminantes, el estrés, la dieta, el consumo de alcohol y ciertas drogas, entre otros factores ambientales, pueden provocar cambios epigenéticos y alterar el funcionamiento de células y tejidos. Algunos de estos cambios adquiridos pueden trasmitirse a los descendientes. ¿Qué conducta deberá asumir una mujer y un hombre que deseen procrear una descendencia sana?

Los bebés expuestos a la desnutrición en estado fetal, por malnutrición de la madre durante el embarazo, nacen con un peso inferior (infrapeso) a la media poblacional de 2,5 kg. Pero lo más sorprendente es que cuando alcanzan la edad madura (entre los 40 y 50 años) en muchas ocasiones se observan en ellos un aumento de la prevalencia de enfermedades crónicas, como la obesidad o la diabetes, enfermedades cardiovasculares, esquizofrenia, trastornos afectivos, y riesgo de cáncer de mama; por eso en Cuba se garantiza una dieta y suplementos de vitaminas y minerales a las embarazadas. Los primeros años de vida y la adolescencia son etapas críticas en la acción de factores epigenéticos. Es posible que nuestra salud y la de nuestros hijos se vean perjudicadas por sucesos que afectaron a nuestra bisabuela durante el embarazo.

En la actualidad se realizan numerosas investigaciones sobre la herencia epigenética y se descubren enfermedades que no se sabía que tenían una influencia ambiental; ciertas enfermedades como la diabetes y la obesidad tienen una base epigenética. Asimismo, algunas sustancias que cotidianamente consumimos tienen un efecto epigenético.

¿Sabías que...?

Investigaciones llevadas a cabo, sobre todo con ratas y ratones, han revelado que ciertos contaminantes, como varios compuestos de uso agrícola, el

combustible de aviones, e incluso algunos plásticos, pueden inducir modificaciones epigenéticas que ocasionan enfermedades y problemas reproductivos, sin alterar la secuencia del ADN. Estas modificaciones se producen en las células germinales, por lo que parecen quedar fijadas en determinados sitios y trasmitirse a las generaciones posteriores.

Modificaciones ambientales

En la figura 5.44 se observa la variación de la altura del tallo de una planta de maíz como consecuencia de la influencia de una diferente iluminación.

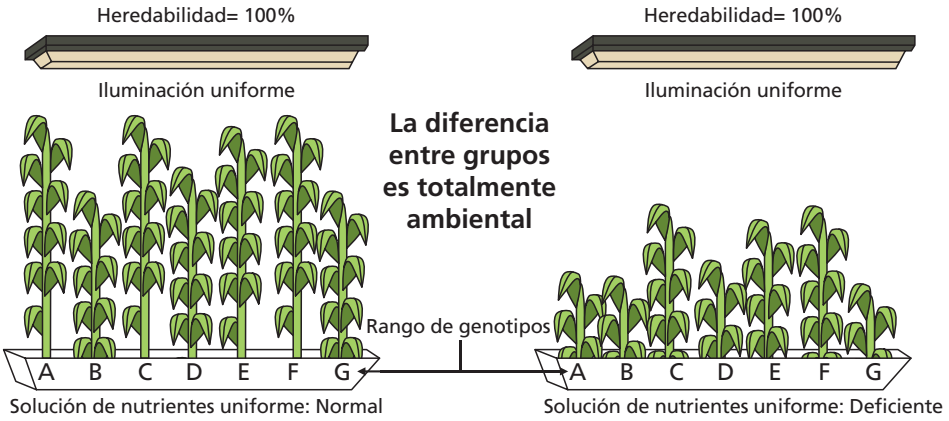


Fig. 5.44 Variaciones en la altura de una planta de maíz por efecto ambiental

Las modificaciones ambientales son diferencias mostradas por los individuos como resultado de la acción desigual de las condiciones ambientales que los rodean, sobre cada uno de ellos.

Factores como la luz, la temperatura, la humedad, el régimen alimenticio, la duración del día, y otros, pueden provocar importantes modificaciones en la forma, estructura, funcionamiento, y conducta de los organismos. A causa de ello, cada individuo muestra un conjunto de caracteres (fenotipo) que es consecuencia a la vez de la herencia y de las influencias ambientales.

En realidad, un individuo no hereda materialmente los caracteres, sino las potencialidades para desarrollarlos en dependencia del medio ambiente en que se encuentre.

Es importante notar que la intensidad de la acción del medio ambiente sobre cada individuo es diferente y su sentido es también variable e independiente de dicha intensidad, de manera que cada individuo reacciona de forma distinta a los efectos del medio.

Se denominan caracteres adquiridos a aquellos que presentan los individuos como consecuencia de efectos medio ambientales, y que los diferencian de sus progenitores y del resto de su generación.

Generalmente los caracteres adquiridos no son de carácter hereditario y por ello desaparecen cuando mueren los individuos que los presentan, o cuando cesan los factores e influencias que los originaron.

Aplicación práctica

Ejemplos de modificación ambiental, son las diferencias entre las plantas de una misma variedad sembradas en diferentes partes de un terreno, con distintas profundidades de siembra, a distancias diferentes, etc.; y también las diferencias entre las plantas de dicha variedad sembradas en una planicie, y las desarrolladas en una zona montañosa. Por eso en las técnicas agrícolas se deben considerar la distancia de siembra entre las plantas, el sistema de regadío, y la aplicación de abonos, entre otros aspectos.

Como estudiaste anteriormente, el color de la piel y la estatura en los seres humanos son determinadas por poligenes, sin embargo, el medio ambiente también influye en estos caracteres; por ejemplo: la exposición a los rayos solares puede ocasionar mayor bronceado de la piel, asimismo la estatura y peso corporal pueden ser modificados a pesar de los genes, por la calidad de la nutrición.

Las capacidades intelectuales que permiten resolver problemas complejos, las físicas para realizar un deporte, y las musicales (entre otros complejos caracteres fenotípicos humanos), reciben una gran influencia del medio ambiente y de las condiciones de vida y comunicación en que se desarrollan los individuos en la familia y la sociedad en general. Todo esto demuestra que la expresión del fenotipo es la resultante de la integración entre factores genéticos y ambientales.

5.5.2 ¿Cómo es posible prevenir enfermedades u otros trastornos hereditarios?

María Elena y José Enrique son dos jóvenes normales, contrajeron matrimonio y tuvieron un hijo con un trastorno genético que en ocasiones puede ser grave la enfermedad de Niemann-Pick, que se manifiesta por acumulación de grasas como el colesterol en las células del hígado, el bazo, la médula ósea, los pulmones, y en algunos pacientes en el cerebro. Las complicaciones neurológicas pueden incluir la ataxia, parálisis ocular, degeneración cerebral, problemas de aprendizaje, espasticidad, dificultades para alimentarse y tragar, habla incoherente, pérdida de tono muscular, hipersensibilidad al tacto, y nubosidad corneal. El estudio determinó que ambos padres son portadores de un gen autosómico recesivo que en combinación homocigótica determina dicha enfermedad.

- ¿Podría esta pareja haber evitado el nacimiento de un niño enfermo?
- ¿Se podrá conocer antes del nacimiento, la presencia de algún defecto congénito en un bebé?

En este apartado tendrás información acerca de los métodos que se han desarrollado a partir de los fundamentos genéticos, en el diagnóstico de los trastornos congénitos.

La genética clínica es la ciencia que se ocupa de las enfermedades genéticas, sus causas, manifestaciones, diagnóstico, evolución, pronóstico, tratamiento preventivo y curativo, la comunicación y el asesoramiento a las parejas.

Las malformaciones congénitas representan la segunda causa de muerte en los recién nacidos y en niños menores de 4 años, y la tercera causa de muerte en edades de 5 a 14 años. Los grandes adelantos científicos de las últimas décadas han conducido al desarrollo de nuevas técnicas citogenéticas, bioquímicas, e inmunológicas, que posibilitan el diagnóstico de estas enfermedades.

Actualmente la ciencia ha logrado identificar más de 3 000 trastornos congénitos en el ser humano, muchos de estos de carácter hereditario. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre el 4 y

el 6 % de todos los recién nacidos padecen alguna enfermedad de origen genético. Igualmente se han identificado innumerables enfermedades y defectos congénitos en animales domésticos y plantas de interés agrícola. Las enfermedades genéticas son casi siempre serias e incurables, y muy pocas tienen un tratamiento satisfactorio hasta el momento.

Con el desarrollo actual de la genética molecular es posible vislumbrar nuevas formas de diagnóstico y tratamiento, basadas en las técnicas de ingeniería genética; sin embargo, en las condiciones actuales el medio más efectivo de enfrentar este fenómeno es la prevención. En la medicina veterinaria y en la agronomía se desarrollan también métodos de diagnóstico y prevención que permiten garantizar el nacimiento de animales sanos, y plantas fuertes sin defectos genéticos. En el campo de la medicina humana se ha desarrollado el asesoramiento genético (a partir del diagnóstico prenatal, cuando es posible hacerlo) en los servicios de genética médica que existen en policlínicos y hospitales.

Saber más

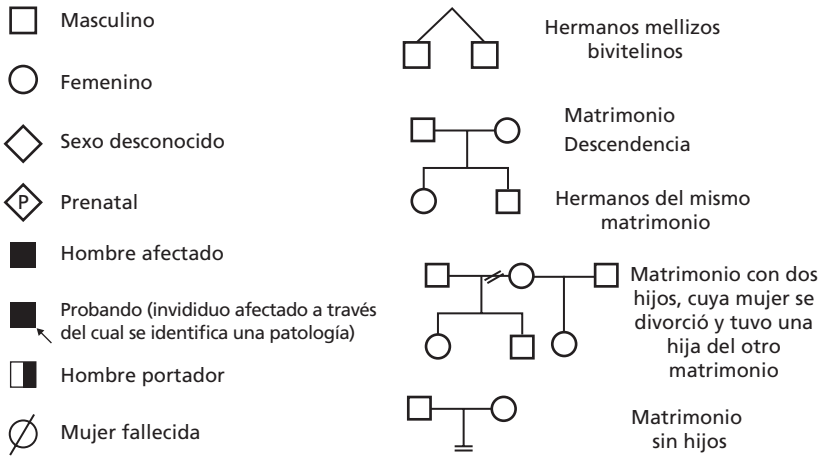
El asesoramiento genético es efectuado por médicos especialistas en genética clínica, y es solicitado por las personas afectadas o por los padres, por varias razones entre las que se pueden citar: mujeres de edad avanzada, hijos previos con defectos congénitos, historia familiar de enfermedades genéticas, exposición a agentes mutagénicos, parejas de igual origen étnico, consanguinidad, fallas reproductivas, conocimiento de la existencia de riesgos generales, etc. Este asesoramiento tiene varios momentos: antes de la pareja contraer matrimonio, antes de la concepción de un nuevo ser, antes de la interrupción del embarazo o del nacimiento de un niño afectado, después del nacimiento de un niño afectado, y después de la muerte de un niño afectado.

El diagnóstico se basa en el interrogatorio al paciente y familiares buscando antecedentes, la elaboración del árbol genealógico, el examen físico al paciente y familiares, indicación de exámenes complementarios de sangre, ecografía (mediante ultrasonido), o exámenes especiales (citogenéticos, bioquímicos, moleculares, entre otros). Actualmente se han desarrollado métodos que hacen posible el diagnóstico intrauterino de varias anomalías genéticas.

El árbol genealógico es el recurso más antiguo que se utiliza en la genética humana para descubrir las causas de la trasmisión de determinados

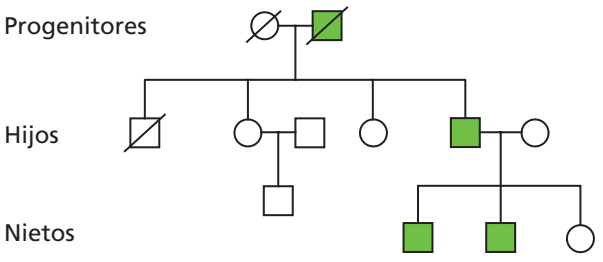
caracteres. Consiste en la elaboración de un diagrama en el que se van representando (mediante símbolos) a los miembros de una familia, partiendo de los progenitores iniciales y las subsiguientes generaciones.

Se utiliza un cuadrado para representar a los varones y un círculo en la representación de las hembras. En la representación de un matrimonio se enlazan los símbolos de ambos cónyuges con una línea horizontal, y su descendencia se indica con una línea vertical que sale de la línea anterior esta se continúa con otra línea horizontal en la que se van ubicando los símbolos de los hijos según el orden de nacimiento. El carácter que se esté analizando se indica con un sombreado en el símbolo de la persona afectada. Las personas fallecidas se indican con una línea diagonal (esquema 5.5).



Esquema 5.5 Símbolos para la construcción de árboles genealógicos

En el esquema 5.6 se presenta un árbol genealógico de una familia afectada por una enfermedad hereditaria a través de tres generaciones. Obsérvese que solo ha afectado a los varones.



Esquema 5.6 Árbol genealógico de una familia con una afectación hereditaria

Con un análisis de sangre sencillo se pueden detectar portadores de enfermedades hereditarias como la sicklemia o anemia falciforme (figura 5.38). En los portadores, generalmente no se manifiesta la enfermedad, pero una parte de los glóbulos rojos son falciformes. La detección de portadores de otras enfermedades, como la fibrosis quística y la hemofilia es mucho más compleja, y estos exámenes se aplican solo si los antecedentes familiares sugieren que una persona pueda ser portadora.

La cariotipificación es una técnica citogenética utilizada en el estudio de las características de los cromosomas para identificar anomalías en el cariotipo. Consiste en obtener células de la médula ósea, piel o sangre (glóbulos blancos), cultivarlos en el laboratorio, tratarlos con el fármaco colchicina, y detener el ciclo celular en la metafase mitótica; luego se colocan en una solución hipotónica que las hincha. De este modo los cromosomas se dispersan y pueden observarse con facilidad al microscopio. Una vez que la imagen se ha capturado en una cámara fotográfica o en una computadora, se identifican y organizan los pares de cromosomas homólogos conformando el cariograma. En este se organiza por parejas, a los cromosomas homólogos que se obtienen de la célula de manera desorganizada (figura 5.45).

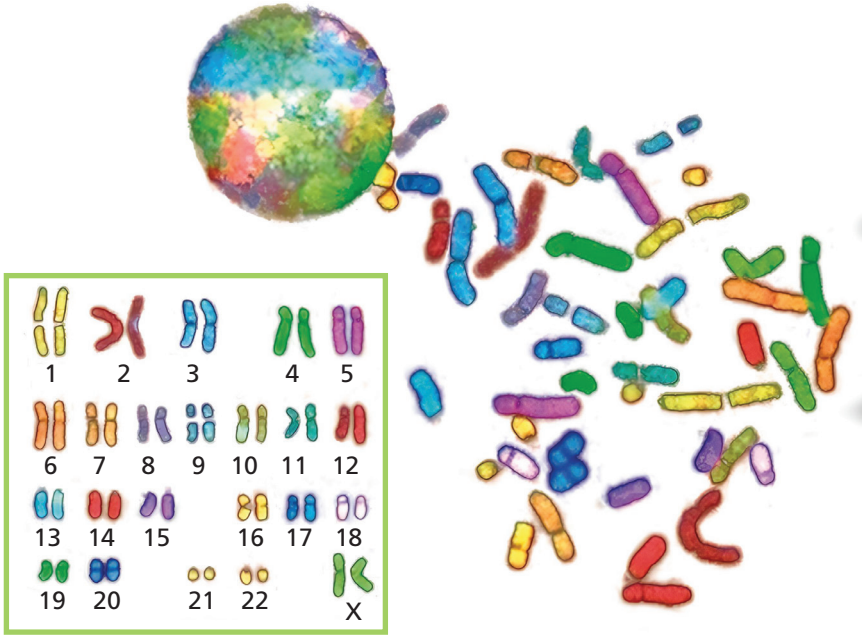


Fig. 5.45 Cariograma humano

La amniocentesis es una técnica invasiva que se utiliza en madres con riesgo, para el diagnóstico intrauterino de alteraciones cromosómicas, enfermedades metabólicas, neurológicas, y otras. En esta se extrae una muestra de líquido amniótico con una jeringuilla y se centrifuga hasta separarlo de las células. Mediante análisis bioquímicos se puede identificar en este la presencia de alfafetoproteína. Las células separadas se cultivan para realizar análisis de cromosomas, de ADN u otros estudios, con los que se pueden diagnosticas alrededor de 40 trastornos metabólicos.

La técnica de muestreo de vellosidades coriónicas o biopsia, consiste en extraer una muestra de células de tejido extraembrionario, que genéticamente es idéntico a las células del feto; se realiza introduciendo un catéter a través del cuello uterino, guiándose visualmente por medio del ultrasonido. El tejido extraído puede ser analizado con posterioridad mediante estudios del cariotipo, pruebas bioquímicas, o mediante sondas génicas. Tiene la ventaja de que se realiza en la décima semana del embarazo, un período temprano en el que el aborto tiene menos complicaciones.

Con la introducción de las técnicas de ingeniería genética en la actualidad se desarrollan pruebas que consisten en aislar el gen, determinar su secuencia nucleotídica, y clonarlo, obteniendo así una **sonda** o **marcador genético** con el que se identifica el gen defectuoso en los pacientes que se investiguen. Esta técnica hizo posible diagnosticar portadores asintomáticos de la enfermedad de Huntington, de deficiencias de la hormona del crecimiento, sicklemia, distrofia muscular, fibrosis quística, entre otras enfermedades hereditarias.

Reflexiona

En países capitalistas desarrollados el diagnóstico mediante ingeniería genética ha avanzado mucho, y han aparecido casos de discriminación a personas con predisposición genética a determinadas enfermedades (ejercida sobre todo, por las compañías de seguro y empleadoras), a las que se les han indicado esas pruebas antes de asegurarlas u ofrecerles el empleo al que aspiran. Esto ha provocado un debate en torno a las implicaciones bioéticas de estas prácticas diagnósticas. ¿Será justo que estas compañías indiquen estas pruebas? ¿Qué sucedería con un aspirante a un empleo al cual se le detecte una enfermedad de cuya existencia se desconocía?

El diagnóstico prenatal cumple el principio bioético de beneficencia, al identificar posibles enfermedades con vistas a mejorar el pronóstico. Además, persigue dos objetivos adicionales: identificar los embarazos gravemente afectados, y dar a la madre y a la familia toda la información que necesitan para que puedan tomar decisiones autónomas sobre este, y evitar así el desarrollo de embriones que con seguridad devendrán en personas con graves minusvalías.

Comprueba lo aprendido

1. Partiendo del análisis de las causas de las mutaciones:

a) Explica la relación dialéctica unidad-diversidad que se manifiesta en estas.

b) Identifica los elementos que te permitan explicar en el caso de las mutaciones, la relación estructura-propiedades-funciones-funcionamiento.

c) Expón cómo influye el medio ambiente en el origen de las mismas. Ejemplifica.

2. En los organismos, los descendientes heredan las características de sus padres y los que transmiten esta información son los genes, formados por una biomolécula conocida como ácido desoxirribonucleico (ADN). En algunos casos el orden de la secuencia de componentes en esta biomolécula se ve alterado, fenómeno que se conoce como mutación. Selecciona cuál es la forma en que mejor se expresa la organización de los componentes señalados anteriormente:

a) mutación, gen, cromosoma, ADN;

b) cromosoma, gen, ADN, mutación;

c) ADN, cromosoma, gen, mutación, o

d) gen, cromosoma, mutación, ADN.

3. En los siguientes ejemplos de la especie humana identifica el tipo de mutación que ha tenido lugar:

a) Adolescente de apariencia femenina con cariotipo formado por 47 cromosomas, de los cuales 44 son autosomas y 3 son cromosomas sexuales (2X y 1 Y).

b) Varón de una alta estatura, manifiesta rasgos masculinos muy marcados y con frecuencia muestra comportamiento agresivo, lo que ha

provocado el rechazo social. En un cariograma realizado se detectó la presencia de dos cromosomas Y.

c) Niño gordo con rasgos asiáticos, baja estatura, dedos cortos y deficiencia en el habla. El cariotipo que arroja el cariograma dio como resultado el patrón 47+XY.

4. Demuestra mediante ejemplos, la importancia que tiene el estudio de las mutaciones en el mejoramiento de la salud humana y animal, y en la producción de alimentos.

5. Argumenta la importancia que tiene la comprensión de las modificaciones epigenéticas sobre bases científicas, con vista a adoptar un estilo de vida saludable.

6. Las enfermedades, los trastornos, o las anomalías genéticas provocadas por mutaciones por lo general no son curables, sin embargo, su prevención sí es posible. ¿Qué opinión te merece este planteamiento? Argumenta tu respuesta.

7. Argumenta qué importancia tiene que el Estado garantice los recursos necesarios para el diagnóstico prenatal y el tratamiento de dichos problemas.

8. El gonadoblastoma es una mutación ligada al cromosoma Y. Un hombre afectado por esta enfermedad contrae matrimonio, de esta unión nace un hijo afectado y otro no, sin embargo, las hembras son todas normales.

a) Representa el cruzamiento de este matrimonio.

b) Elabora una hipótesis que permita explicar la aparición de un hijo sano en el mismo.

5.6. La ingeniería genética ha impuesto nuevos retos y perspectivas a la sociedad

Juana es una joven que padece de diabetes, y como sabes esta es una enfermedad ocasionada por la falta de la hormona insulina secretada por el páncreas. A esta paciente debe administrársele insulina diariamente

para poder compensar su falta natural. La industria farmacéutica producía insulina por métodos biotecnológicos tradicionales a partir de páncreas obtenido de animales, pero esta joven es alérgica a la insulina de animales.

- ¿Cómo se podría producir este medicamento de manera que sea más compatible con los humanos, con relación a la obtenida de otros animales?
- ¿Qué métodos y técnicas se han desarrollado en la obtención de productos industriales más seguros y eficientes?

En este epígrafe profundizarás en los logros más recientes de la genética molecular, en la que entre otras aplicaciones se utilizan tecnologías modernas para el diseño y producción de sustancias con fines comerciales. Estas forman parte de las llamadas biotecnologías de tercera y cuarta generación.

Estas tecnologías modernas son el resultado de la aplicación de novedosas técnicas de recombinación de ADN de especies diferentes. Su origen fue en década del 70 del siglo pasado, en Estados Unidos. A partir de estas técnicas se desarrolló la ingeniería genética, abriendo paso a una nueva era en las ciencias biológicas en la que es posible manipular directamente la información genética, traspasando la aparentemente infranqueable barrera existente entre las especies. Esta ha sido considerada la más grande revolución en la historia de las ciencias de la vida, y muchos científicos consideran que el siglo XXI es el siglo de la Biología por los trascendentales avances alcanzados y su impacto, que ya es una realidad en la contribución al desarrollo sostenible de la sociedad.

Reflexiona

La ingeniería genética tiene ya un gran impacto en la propia investigación científica, en la agricultura, la ganadería, la medicina, la protección del medio ambiente, la industria química y hasta en la bélica. Por eso en los Estados Unidos y otros países desarrollados en poco tiempo proliferó un numeroso grupo de compañías privadas, interesadas en desarrollar estos adelantos con fines comerciales (para la obtención de ganancias), mediante la producción de alimentos, medicamentos, fertilizantes, y armas biológicas, entre muchos otros productos. Asociados a esto, aparecieron nuevos problemas bioéticos y de bioseguridad relacionados con la posibilidad de

patentar los genes, y con las regulaciones de los gobiernos sobre el uso de estas tecnologías y la utilización de los productos, así como sobre el control de los desechos de las investigaciones, entre muchos otros.

5.6.1 ¿Cómo se logra la manipulación del genoma para crear un organismo genéticamente modificado?

En décimo grado observaste en una demostración realizada en clase, la separación del ADN de una muestra vegetal. Esto fue posible por ser un procedimiento sencillo en el que a una muestra triturada de plátano maduro se le aplicó un detergente, sal y alcohol etílico, para romper las paredes celulares, liberar el ADN en disolución acuosa y luego precipitarlo mediante alcohol muy frío. En este estado el ADN se puede separar con una pinza, observándose una formación filamentosa de color blanquecino (figura 5.46).

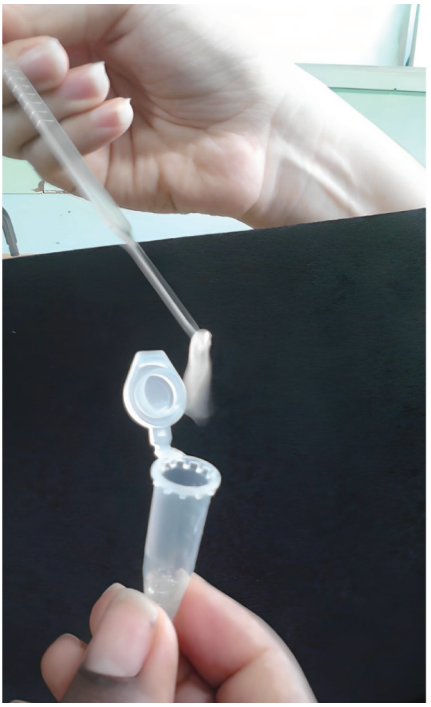


Fig. 5.46 Filamentos de ADN extraídos de una muestra de plátano maduro

- ¿Cómo podría aislarse un gen específico, de esa masa enredada de hilos?
- ¿Por qué resulta tan importante que podamos aislar genes individuales?
- ¿Cómo se pudieran unir genes de dos organismos diferentes con propósitos científicos y comerciales?

Estas y otras preguntas muy interesantes sobre la biotecnología moderna serán objeto de estudio en este epígrafe. La creación de nuevos organismos genéticamente modificados (OGM) es el resultado de la aplicación de la tecnología del ADN recombinante; que consiste en insertar

artificialmente en un organismo receptor, secuencias de ADN que contienen genes de otro donante (de una especie diferente), en el que se pudiera expresar el fenotipo del organismo donante.

En organismos procariotas también se produce recombinación entre especies diferentes mediante procesos de transformación, conjugación y transducción (figura 5.47), los cuales producen modificaciones fenotípicas en las células receptoras del material genético foráneo.

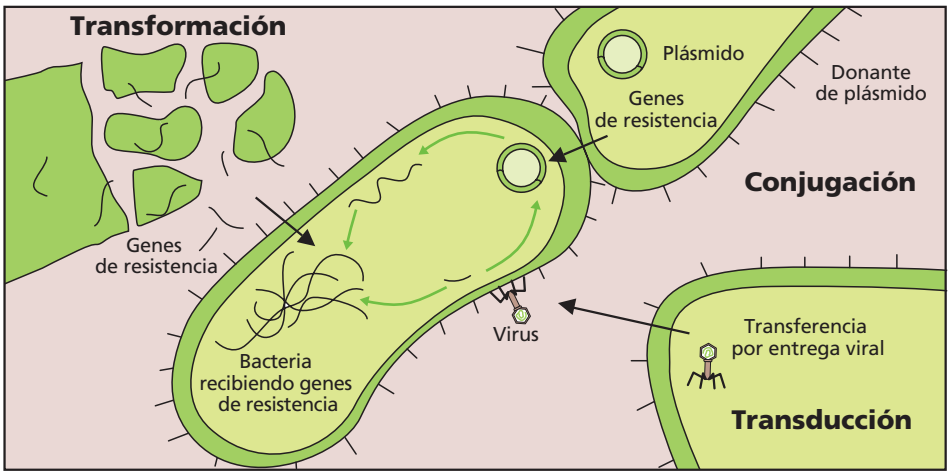


Fig. 5.47 Procesos de recombinación entre material genético de bacterias diferentes

En la transformación bacteriana el material genético foráneo penetra en otra bacteria atravesando su pared celular, en la conjugación lo hace insertado en un plásmido que pasa de una bacteria a otra a través de un puente citoplasmático, mientras que en la transducción, penetra insertado en un bacteriófago.

La recombinación genética ***in vitro*** se basó en sus inicios en los resultados de las investigaciones genéticas en bacterias y virus. La simplicidad de la estructura y funciones de estos, hizo posible el estudio de los mecanismos moleculares de la transmisión de los caracteres hereditarios. Se descubrieron los plásmidos presentes en bacterias capaces de realizar la conjugación junto a los virus, estos son utilizados como vectores en la transmisión de la información a la célula receptora.

Se descubrió además un grupo de enzimas capaces de cortar el ADN en determinadas regiones con secuencias de nucleótidos específicos, a las que

se les denominó restrictasas o enzimas de restricción. También las enzimas **polimerasas** y **ligasas** que participan en la síntesis de ADN fueron utilizadas como herramientas en las técnicas desarrolladas.

De la historia

La primera enzima de restricción fue aislada y caracterizada en 1968. Desde entonces se han descubierto más de 3 400.

Otro conocimiento básico en el desarrollo de estas tecnologías es la propiedad de complementariedad entre las bases de las cadenas de ADN, mediante la cual pueden enlazarse por puentes de hidrógeno, de manera precisa: adenina con timina, y guanina con citocina.

En las tecnologías del ADN recombinante se denomina organismo donante al que se va a analizar para utilizar algún gen de interés; vector, a un plásmido o un virus que sirva de vehículo del gen de interés, y ADN recombinante a la molécula del vector al cual se le insertó el gen del donante.

En su esencia esta tecnología consiste en empalmar dos moléculas de ADN de origen diferente y producir en el laboratorio, artificialmente y en condiciones controladas, una molécula de ADN recombinante que contiene un gen de interés (figura 5.48).

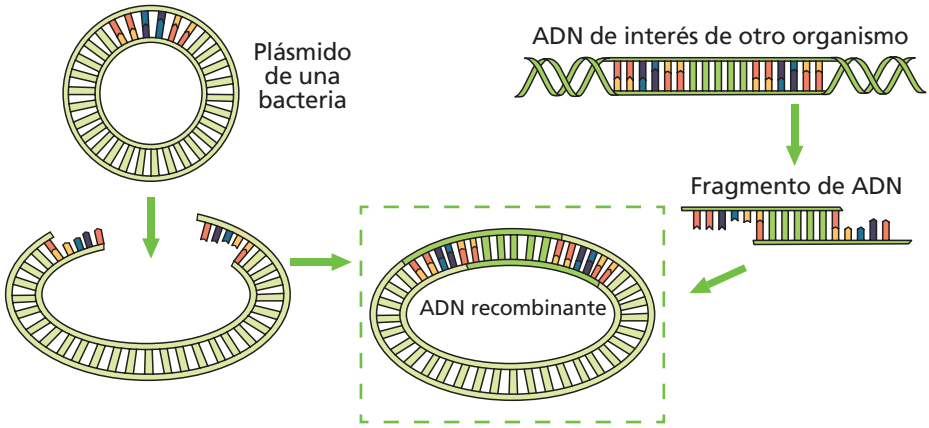


Fig. 5.48 Recombinación artificial de moléculas de ADN de dos organismos diferentes

Sin embargo, la tecnología del ADN recombinante es un proceso mucho más complejo que lo antes presentado; incluye un conjunto de procedi-

mientos muy precisos como: el corte del ADN del donante y del vector, la separación de los fragmentos de ADN y transferencia a una membrana, la identificación del gen de interés, el empalme del fragmento de ADN aislado en un vector, la amplificación del gen, y finalmente la secuenciación del ADN. Estos procedimientos se realizan en laboratorios de alta tecnología y para ello se precisa de medios y recursos técnicos muy costosos.

A continuación se analizan las características esenciales de cada uno de estos procedimientos y técnicas:

Corte del ADN del donante y del vector: en este se utilizan enzimas de restricción (restrictasas) que cortan el ADN en diferentes fragmentos, originándoles extremos con propiedades adhesivas. Los extremos adhesivos no son más que segmentos de nucleótidos de una sola cadena, cuya secuencia es complementaria al extremo adhesivo de otro fragmento de ADN resultante de la fragmentación realizada con el mismo tipo de enzima. Su especificidad está dada por el tipo de enzima restrictasa que les dio origen (figura 5.49).

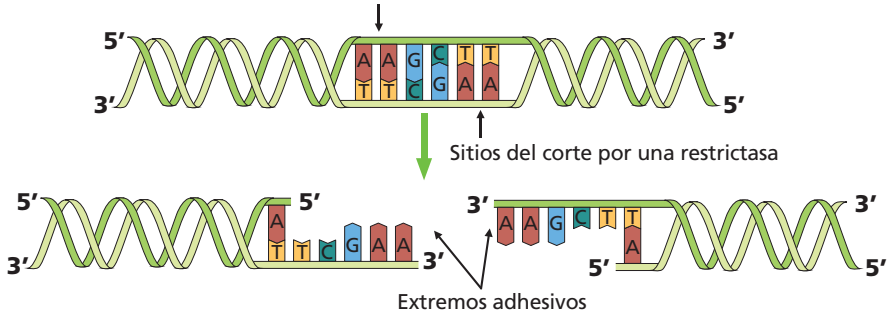


Fig. 5.49 Formación de extremos adhesivos en una molécula de ADN

Saber más

Se ha desarrollado una tecnología para cortar y editar de una manera más precisa y eficiente el genoma de cualquier célula, denominada CRISPR–Cas 9 (por sus siglas en inglés de ***Clustered Regularly Interespaced Shord Palindromic Repeats***; en español: Cortas Repeticiones Palindrómicas Agrupadas e Interespaciadas Regularmente). Está basada en el descubrimiento en 1987, de que algunas bacterias como el ***Streptococcus pyogenes*** se defienden de las infecciones víricas mediante enzimas capaces de distinguir entre el material genético de la bacteria y el del virus, y una vez hecha la distinción destruyen el material genético de este último.

Separación y transferencia de segmentos de ADN: la separación (por el tamaño de los fragmentos de ADN) se realiza mediante la técnica de **electroforesis en gel**. Esta técnica utiliza un equipo de electroforesis, y consiste en colocar la muestra en una bandeja que contiene un gel de agarosa o poliacrilamida. Al hacer pasar corriente eléctrica al gel, los fragmentos de ADN se mueven por este a diferentes distancias en dependencia de su tamaño: los de igual tamaño se sitúan en la misma posición. Con esto se puede identificar cuáles son los fragmentos de igual peso molecular, con el fin de separarlos para su inserción en un vector.

Empalme del ADN de interés en el vector: cada uno de los fragmentos del ADN donante se inserta en un plásmido que había sido tratado con la misma enzima restrictasa, con lo que se convierten en moléculas lineales con extremos adhesivos que tienen la misma secuencia nucleotídica de los fragmentos del genoma de la célula.

A fin de obtener los plásmidos recombinantes el ADN donante es mezclado con el plásmido, en condiciones que permiten la unión entre las bases complementarias. Los extremos pareados del ADN del plásmido y del donante se unen mediante enzimas ligasas de ADN.

Los plásmidos recombinantes se insertan en células de bacterias mediante el proceso de transformación antes presentado, y las células resultantes se siembran en un medio adecuado en el que se desarrollan. Para hacer penetrar el plásmido recombinante en la bacteria se han desarrollado diversas técnicas, como la utilización de sustancias químicas que debilitan las paredes celulares, o la electroporación (apertura de poros en la pared celular mediante electricidad). Cada bacteria resultante de este procedimiento posee un solo plásmido recombinante con un determinado fragmento de ADN del donante.

Amplificación e identificación del gen de interés: luego de creado el vector recombinante la bacteria transformada se reproduce rápidamente, por lo que el gen insertado se amplifica hasta lograr millones de copias. Cuando cada célula se reproduce forma una colonia, que constituye un clon de células genéticamente idénticas, pues contienen el mismo vector recombinante; esto da por resultado que el gen sea clonado.

Luego se procede a seleccionar la cepa que contenga el ADN insertado, en lo que se puede utilizar una **sonda genética** complementaria. Esta no

es más que un segmento de ADN o ARN de una sola cadena, radiactiva y susceptible de hibridación mediante complementariedad de bases, que porta la secuencia de ADN complementaria que se desea estudiar. Los clones se conservan en placas.

Producto del desarrollo tecnológico se ha desarrollado otra técnica de amplificación ***in vitro***: la **reacción en cadena de polimerasa** (PCR por sus siglas en inglés), la cual realiza este proceso mucho más rápido, seguro y económico.

Saber más

El PCR consiste en duplicar una secuencia de ADN utilizando el complejo de moléculas que requiere la replicación, es decir: una enzima polimerasa termorresistente especial, nucleótidos, y cebadores; estos se calientan, con lo que se producen dos moléculas de ADN. Luego las dos cadenas de ambas moléculas se separan y mediante otro ciclo de calentamiento se duplican nuevamente originándose otras dos nuevas moléculas, duplicándose, en cada ciclo sucesivamente. Este proceso se realiza en un equipo automatizado especial.

Secuenciación del ADN: este procedimiento consiste en la determinación de la secuencia de nucleótidos de una molécula de ADN; en este se utilizan tecnologías automatizadas, desarrolladas gracias a los avances de la bioinformática.

¿Sabías que...?

Las secuencias de bases de ADN se almacenan en grandes bases de datos en internet, lo que permite a los investigadores acceder a esta información desde cualquier lugar del mundo; así pueden comparar secuencias que estén estudiando, obtener indicios sobre la estructura y la función del producto de los genes que estudian, y sobre las relaciones evolutivas entre los organismos.

La utilización de la bioinformática en la ingeniería genética es de suma importancia en la actualidad, pues se maneja una cantidad de datos impresionantes, lo cual no fuera posible sin este recurso tecnológico.

Saber más

En la ingeniería genética se emplean varias tecnologías y equipos digitales en los que se procesan los datos de manera automatizada, que se encuentran acoplados a poderosas computadoras y sofisticados ***softwares*** creados para almacenar, manejar, y analizar grandes cantidades de datos generados por la secuenciación. La bioinformática o computación biológica es una ciencia joven derivada de la integración de los conocimientos biológicos e informáticos, que interviene de manera decisiva en las investigaciones de biología molecular e ingeniería genética. Incluye el almacenamiento, búsqueda, y comparación de nucleótidos o secuencias de aminoácidos dentro de una misma especie o entre especies diferentes. La ingeniería biomédica es una carrera universitaria que prepara a los especialistas para la creación de estos equipos.

5.6.2 ¿Qué impacto ha tenido la aplicación de la ingeniería genética?

La tecnología del ADN recombinante ha revolucionado las investigaciones en prácticamente todos los campos de las ciencias biológicas, y sus aplicaciones en muchas ramas: la agricultura, la ganadería, la producción de alimentos y fármacos, el diagnóstico y tratamiento de muchas enfermedades, la obtención de vacunas, los trasplantes de órganos, la recuperación de ambientes contaminados, la criminología, y la obtención de enzimas y otras sustancias químicas (figura 5.50).

Fig. 5.50 Productos farmacéuticos cubanos obtenidos mediante ingeniería genética

- ¿Cuáles han sido los principales logros de la ingeniería genética en la solución de problemas de la sociedad?
- ¿Qué impacto han tenido estas novedosas técnicas en el mejoramiento humano y en el desarrollo sostenible?
- ¿Qué implicaciones bioéticas tiene la utilización de la ingeniería genética?

En este apartado podrás dar respuesta a estas y otras interrogantes de interés. A continuación, se presentan las principales aplicaciones de estas técnicas.

Producción de proteínas con fines terapéuticos e industriales

Una de las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante es la producción de proteínas de valor económico (enzimas, hormonas, sustancias alimenticias, industriales, etc.), introduciendo el gen que las codifica en células de bacterias, levaduras, o células de organismos superiores. Dichas células son cultivadas en grandes depósitos con medios especiales donde se vierte la proteína producida y luego se procede a su purificación.

De esta manera se han obtenido productos como la insulina (figura 5.51), la hormona del crecimiento, interferones, tratamientos para la esclerosis múltiple y determinados cánceres, para el infarto cardíaco y algunas formas de anemia, vacunas contra la hepatitis B y el SIDA, entre otras.

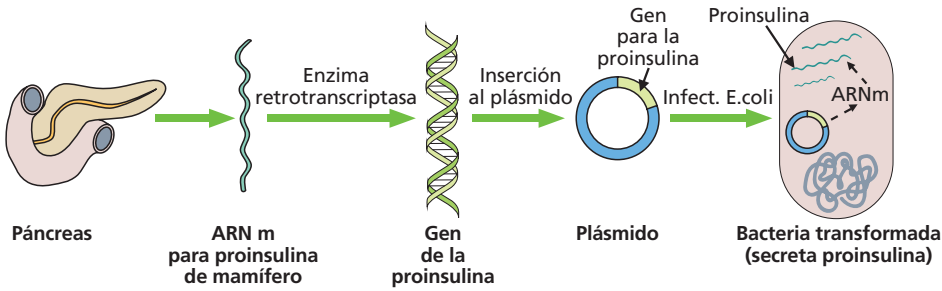


Fig. 5.51 Obtención de insulina recombinante de una bacteria

Proteínas humanas más complejas han sido producidas en cultivo de células de mamíferos. El gen del factor VIII, una proteína involucrada en la coagulación de la sangre, está alterado en individuos con hemofilia. Hasta hace poco estos pacientes eran tratados con transfusiones de sangre o concentrados de factor VIII derivados del plasma, con el riesgo de que

la sangre pudiera estar contaminada; así muchos hemofílicos murieron de SIDA o hepatitis. Actualmente mediante ingeniería genética se ha logrado obtener esta proteína recombinante, que es más confiable y eficiente que la administración de plasma.

Antes del advenimiento de la tecnología de ADN recombinante las vacunas se producían a partir de agentes infecciosos previamente destruidos o atenuados para que no pudieran multiplicarse en un individuo inoculado. Ambos tipos de vacunas eran potencialmente peligrosas, debido a que podían estar contaminadas con el agente infeccioso vivo; de hecho, en un pequeño número de casos la enfermedad fue causada por la vacunación. Debido a que el sistema inmunitario humano responde a proteínas antigénicas de la superficie del agente infeccioso se valoró la posibilidad de producir esos antígenos por técnicas de ADN recombinante. Mediante estas técnicas las proteínas se producen completamente libres del agente infeccioso, y se elimina así el riesgo de infección.

La primera vacuna recombinante obtenida de forma satisfactoria fue la vacuna contra el virus de la hepatitis B, producida en células de levadura. Así se han obtenido también anticuerpos monoclonales, citoquinas, vacunas contra diferentes enfermedades infecciosas, factor de crecimiento, eritropoyetina, entre otras proteínas de interés terapéutico.

Producción de organismos transgénicos

Los transgénicos son plantas y animales que han incorporado artificialmente genes ajenos. Los animales y plantas transgénicas se han utilizado en importantes investigaciones básicas sobre la regulación de la expresión génica, el funcionamiento de los sistemas inmunitario y nervioso, enfermedades genéticas y virales causantes del cáncer, y el desarrollo embrionario, entre otros estudios.

Normalmente los animales transgénicos se producen inyectando el ADN de un gen particular, o de células madre de origen embrionario en el núcleo de un óvulo fertilizado; a continuación se implantan los óvulos en el útero de una hembra donde continúa su desarrollo. También se pueden utilizar retrovirus como vectores.

En las plantas se han introducido genes que determinan fenotipos de interés en la agricultura como la resistencia a enfermedades y a plagas, el incremento de la producción y del tamaño o el peso de los frutos, entre otros. Esto ha sido posible con la utilización de diferentes vectores entre

los que se encuentra un plásmido existente en la bacteria ***Agrobacterium tumefaciens***, productora (en los vegetales) de agallas o tumores, cuya formación la determina este plásmido. También se ha empleado el ***Bacillus thuringiensis*** en la introducción de genes a ciertas plantas, con el fin de hacerlas resistentes a plagas (figura 5.52).

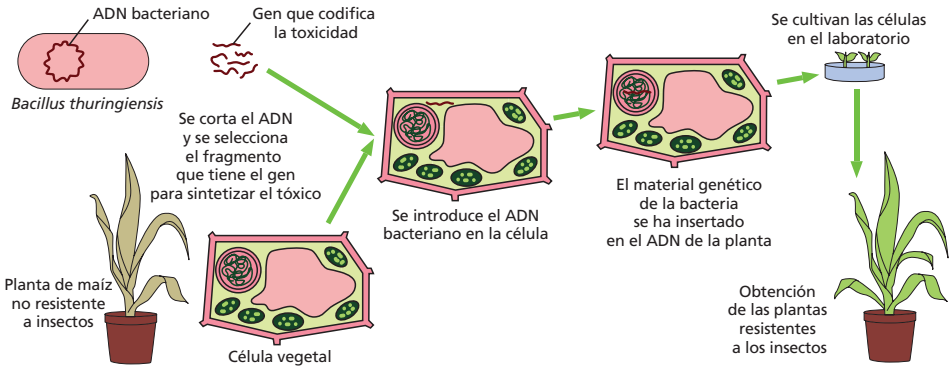


Fig. 5.52 Tecnología del ADN recombinante en la obtención de plantas transgénicas resistentes a insectos

Saber más

Para la introducción de genes en los cereales los científicos han desarrollado una herramienta nanotecnológica a la que denominan "escopeta génica" que consiste en disparar contra células vegetales, para que atraviese las paredes celulares, un fragmento de ADN con el gen de interés, recubierto de una película de oro o tungsteno; algunas de las células del vegetal retienen el ADN de interés y son transformadas por este.

Los cultivos transgénicos se han desarrollado ampliamente en variedades de soya, maíz, algodón, canola, frutales de diferentes especies, y otros. Con el empleo de estas técnicas se ha logrado incrementar la resistencia a plagas, a enfermedades producidas por virus y hongos, a sustancias químicas como los herbicidas, y a elementos medioambientales (calor, frío, acidez o salinidad de los terrenos, sequías); también se han obtenido productos agrícolas más nutritivos.

Con plantas y animales transgénicos, se han logrado producir también grandes cantidades de proteínas de importancia médica como los anticuerpos. Se han obtenido animales transgénicos en especies de peces,

anfibios, cerdos, ovejas, vacas, cabras, aves; que contienen en su leche o sangre, proteínas ajenas con valor medicinal. Algunas especies de invertebrados representan modelos biológicos, como el insecto ***Drosophila melanogaster*** y el nemátodo ***Caenorhabditis elegans***, ampliamente utilizados en investigaciones. La ventaja de esta tecnología está en que esa sustancia se puede extraer de la leche. Los descendientes de estos animales portan esos genes, con lo que se establecen cepas de animales transgénicos. En la figura 5.53 se observa la obtención de ratones transgénicos muy corpulentos, debido a la inserción del gen de la hormona de crecimiento de rata.

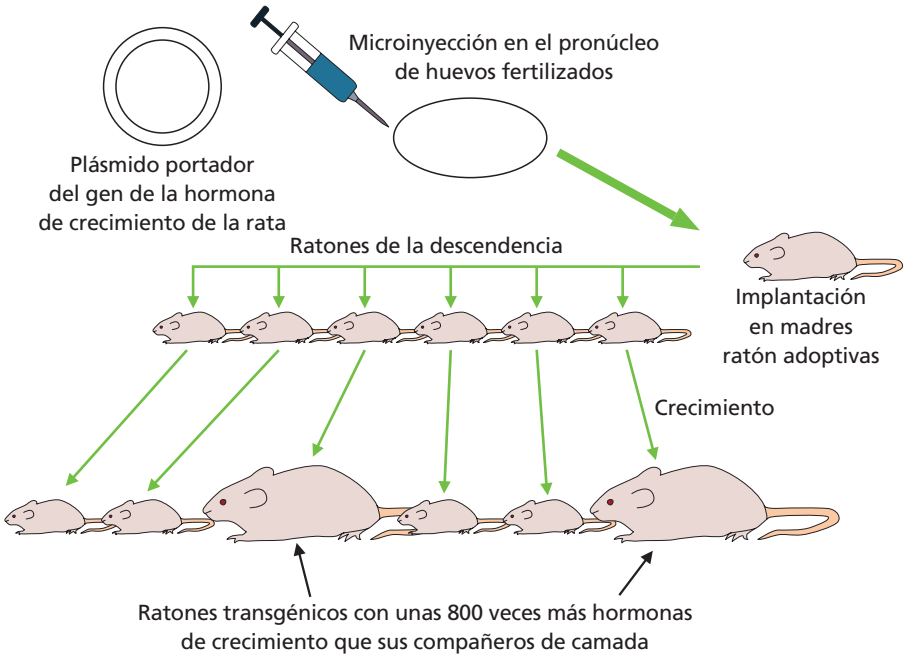


Fig. 5.53 Producción de ratones transgénicos

La transgénesis animal ha tenido diferentes fines: mejora de caracteres productivos, resistencia a enfermedades, producción de modelos animales de enfermedades humanas para la investigación, de proteínas de alto valor (terapéuticas), y en trasplantes de órganos. Una vez que se tiene el animal transgénico es posible obtener otros idénticos a partir de la clonación. De esta forma se puede conservar y multiplicar alguna característica beneficiosa.

Reflexiona

Algunas personas están preocupadas por los efectos que puede producir en la salud el consumir alimentos transgénicos, y piensan que debería haber una restricción a su comercialización; uno de estos argumentos es que este tipo de alimentos puede producir alergias alimentarias. Sin embargo, esta es una vía para la producción de mayor cantidad de alimentos y de mejor calidad, lo que contribuiría a satisfacer las crecientes demandas de estos por la población mundial, sobre todo en los países subdesarrollados. ¿Crees que debe ser prohibida la comercialización de estos productos, o controlar sistemática y rigurosamente tanto la producción como su impacto ambiental?

Secuenciación de cadenas polinucleotídicas

Como ya conociste anteriormente se ha desarrollado una tecnología de determinación rápida, de manera automatizada, de la secuencia de bases nitrogenadas mediante la técnica de ***PCR*** y el empleo de la bioinformática (figura 5.54).

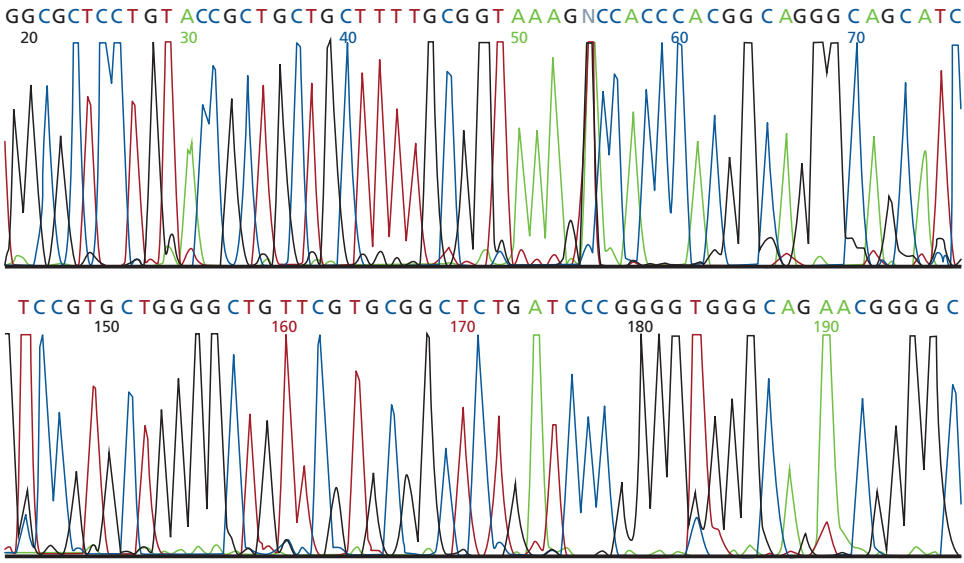


Fig.5.54 Segmento de ADN de un genoma, secuenciado automatizadamente

Estas técnicas han posibilitado el desarrollo de la genómica, con la cual se han secuenciado genomas completos de un gran número de organismos de importancia en las investigaciones microbiológicas y genéticas (levadura y otros hongos, algunas bacterias, arqueas y virus), y en la agri-

cultura, la ganadería y la medicina (plantas y animales, incluyendo el propio genoma humano).

Con el desarrollo de la genómica se ha logrado la caracterización molecular de genomas completos (aportando información básica en el aislamiento de genes específicos de interés como los relacionados con enfermedades hereditarias humanas) y el entendimiento de relaciones evolutivas, al comparar los genomas de diferentes especies. Esto ha constituido una revolución en la comprensión de los sistemas de clasificación de los organismos.

De la historia

En 1980 se logró la secuenciación del ADN mitocondrial. El Proyecto Genoma Humano comenzó en 1990 con el objetivo de descifrar la secuencia nucleotídica completa del genoma nuclear humano, con una amplia y compleja participación y colaboración científica internacional nunca antes emprendida, de instituciones de Estado Unidos, Reino Unido, Japón, y Francia, entre otras. En 1998 se incorporó en este empeño un segundo proyecto, de la compañía privada Celera Genomics de Estados Unidos, en el que se utilizaron poderosas computadoras para analizar los más de 3 mil millones de nucleótidos del ADN. Ambos grupos completaron el 83 - 84 % de la secuenciación, y en febrero del 2001 fue publicada solo una parte de la secuencia del genoma en las prestigiosas revistas Nature y Science. Finalmente en el 2003 se completó todo el genoma.

Otro gran proyecto, el denominado Biogenoma de la Tierra (***Earth BioGenome***), se desarrolló con el objetivo de secuenciar el genoma de unos 1,5 millones de especies animales, plantas, protozoos y hongos en todo el mundo. Constituye una iniciativa de coordinación de diferentes proyectos de secuenciación, organizados sobre bases metodológicas comunes que posibilitan la utilización de sus resultados por toda la comunidad científica.

La determinación de la secuencia de ADN ha constituido un hito en el desarrollo de la genética molecular, dando inicio a la biotecnología de cuarta generación. Esto ha hecho posible profundizar en los conocimientos acerca de la estructura y funciones de los genes, y la regulación génica en las células eucariotas.

En el campo de la medicina estas técnicas han hecho posible el desarrollo de procedimientos terapéuticos llamados medicina personalizada; esta estudia cómo la variación genética entre individuos afecta la acción de los medicamentos, con el objetivo de adecuar los tratamientos a la com-

posición genética de cada paciente; por otra parte, la farmacogenómica estudia la respuesta conjunta de múltiples genes a un fármaco. De esta forma, en el futuro podrán diseñarse fármacos más específicos y por ello más eficaces, sin efectos adversos para determinados grupos poblacionales.

¿? ¿Sabías que...?

La metagenómica utiliza técnicas genómicas en el análisis de comunidades de organismos, en lugar de organismos individuales. Permite que los investigadores identifiquen y estudien todos los genes al mismo tiempo en una comunidad.

Terapia génica

La secuenciación de los genes ha hecho posible también la identificación de aquellos que producen enfermedades genéticas, y mediante técnicas de ingeniería genética, introducir en los pacientes genes normales que les permitan la cura de una enfermedad o un defecto genético. Esta técnica se denomina terapia génica (curar con genes).

La terapia génica se define como la transferencia ***in vivo*** o ***ex vivo*** de una secuencia genética para reemplazar material genético defectuoso, o conferir una nueva actividad a la célula.

Al principio se pensó que era un procedimiento apropiado solo para el tratamiento de enfermedades de origen hereditario, pero actualmente se utiliza experimentalmente en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), cáncer, hipercolesterolemia, autoinmunidad y otras patologías.

También se puede aplicar en el óvulo, el embrión, hasta en el feto, a fin de modificar el genoma y evitar en el individuo por nacer, algún defecto de origen genético.

Esta tecnología ha sido utilizada con éxito en el tratamiento del síndrome de inmunodeficiencia severa combinada (SCIDS), una enfermedad fatal en la que el sistema inmunitario de los niños afectados no es funcional, por lo que estos deben vivir totalmente aislados para evitar el contagio por alguna enfermedad infecciosa que pudiera conducirlos a la

muerte. La enzima que controla una de las formas de la enfermedad ha sido aislada y es la adenosina desaminasa (ADA). El gen que la determina es un alelo recesivo que se ubica en el cromosoma 20, y los enfermos son homocigóticos recesivos.

La terapia génica de esta enfermedad consiste en aislar el gen normal dominante de los linfocitos de un donante, incorporarlo al ADN de un virus que actúa como vector, y luego infectar linfocitos de un paciente de SCIDS con el virus recombinante. En los linfocitos infectados por el vector, el gen de ADA se incorpora a su genoma; luego estos linfocitos se cultivan en un medio adecuado en el que se dividen, originando un clon recombinante. Las células clonadas son finalmente inyectadas en el paciente, con lo que se logra su curación (figura 5.55).

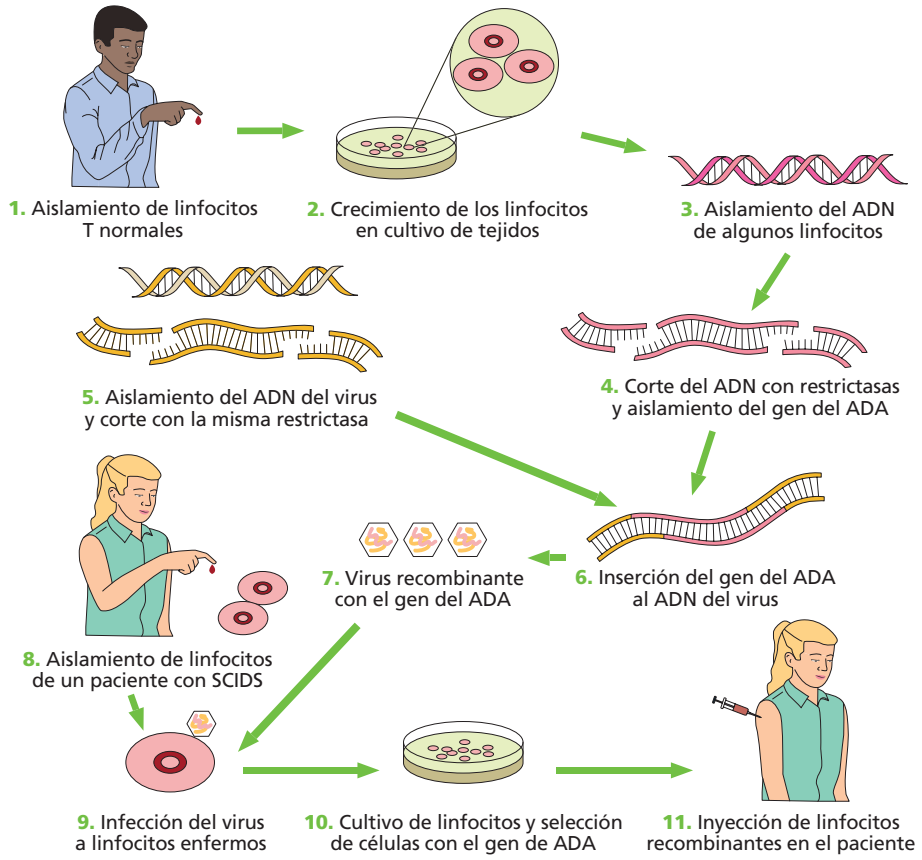


Fig. 5.55 Tecnología del ADN recombinante en la terapia génica del síndrome de inmunodeficiencia severa combinada (SCIDS)

Reflexiona

El desarrollo de estas tecnologías ha suscitado muchas controversias no solo entre los científicos, también en diferentes sectores de la sociedad. Muchas opiniones advierten sobre los posibles riesgos de introducir ADN foráneo en el genoma de un individuo, pues se sabe que los genes no están aislados, al contrario, interactúan entre sí. En la medida en que se avance tanto en la investigación clínica como en la investigación básica, probablemente se irán despejando algunas de esas dudas.

Detección de relaciones genéticas entre individuos

Esta aplicación de la ingeniería genética se basa en que las mutaciones y la recombinación del ADN al azar, pueden dar como resultado una población de individuos con diferencias en el número y localización de los sitios donde una enzima de restricción específica corta el ADN. Este fenómeno se denomina polimorfismo en la longitud de los fragmentos de restricción (diversidad de tamaños). Por tanto, cada individuo difiere en la longitud de los fragmentos producidos por la enzima, lo cual constituye una especie de "huella dactilar del ADN" que se puede utilizar en la determinación de cuán estrechamente están relacionados entre sí diferentes miembros de una población.

Utilizando técnicas de las antes descritas es posible medir el grado de afinidad genética entre individuos; esto es útil en la resolución de casos judiciales de litigio sobre parentesco, en medicina forense para analizar evidencias tomadas en la escena de un crimen (muestras de sangre, cabello, saliva o semen), con lo que se puede identificar al culpable o exonerar a un condenado injustamente, también en la identificación de un cadáver desfigurado, las víctimas de un desastre, u otros restos humanos (figura 5.56).

Estas tecnologías son utilizadas también en pruebas de paternidad, en la búsqueda de compatibilidad para la donación de órganos, en el estudio de las poblaciones de animales silvestres, y en el establecimiento del origen o la composición de alimentos. También se ha utilizado en la formulación de hipótesis sobre las migraciones de los seres humanos durante la prehistoria, en biología de la conservación para estudiar especies en peligro de extinción, y en el rastreo de alimentos contaminados, o el control de los alimentos transgénicos.

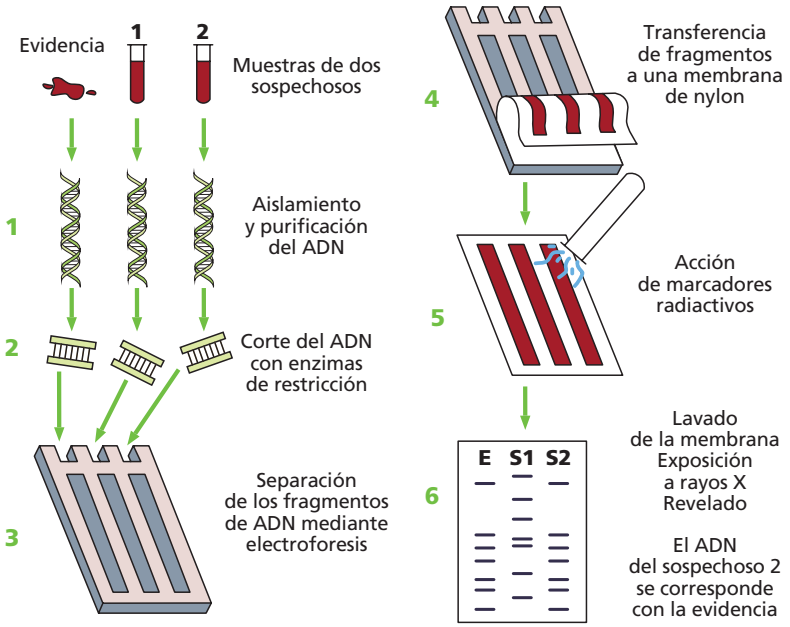


Fig. 5.56 Procedimientos de la tecnología del ADN recombinante en la identificación de sospechosos criminales

Perfeccionamiento de las características somáticas del individuo (genética perfectiva)

En esta aplicación de la tecnología del ADN recombinante se inserta un gen, con el objetivo de mejorar (según determinados conceptos de perfección) un determinado carácter somático de la persona por nacer como la estatura, el color y el tipo de pelo, la piel, y los ojos, el peso corporal, entre otras.

¿? ¿Sabías que...?

La eugenesia pretende modificar rasgos codificados por un gran número de genes en el individuo por nacer; entre ellos se valoran aquellos que presentan una considerable influencia ambiental como la personalidad, la inteligencia y el carácter.

En nuestro país el Estado ha impulsado el desarrollo de estas modernas tecnologías basadas en los más recientes avances de la genética molecular, con cuya aplicación se han obtenido resultados relevantes en varias

esferas: el diagnóstico de infecciones microbianas y virales, la producción de medicamentos y vacunas destinados a garantizar la salud integral, y el mejoramiento de plantas y animales utilizados en la producción de los alimentos que garantizan la soberanía alimentaria, entre otras aplicaciones; esto ha situado a la biotecnología cubana en un lugar destacado a nivel mundial. Dichos resultados están encaminados a lograr el bienestar del pueblo cubano y a ser compartidos con otros pueblos necesitados.

Como has visto, estos asombrosos resultados ofrecen perspectivas incalculadas de una mayor calidad de vida a la humanidad; sin embargo, la comunidad científica ha mostrado preocupación por las implicaciones éticas, jurídicas y sociales que pudiera traer consigo la extensión de estas técnicas, por su posibles efectos perjudiciales. Es por esto que se ha impulsado la aplicación de normas de seguridad y principios bioéticos.

¿Por qué se hace necesario aplicar normas de seguridad y bioética en las investigaciones y en la utilización de la ingeniería genética?

Reflexiona

En 1995 la compañía Novartis, en México, debió retirar del mercado la soya tratada con genes de nuez de Brasil por los efectos alergizantes que provocó. En el 2001 Greenpeace denunció el caso del maíz transgénico, que debido a la indolencia de los importadores y autoridades aduaneras, fue sembrado accidentalmente a campo abierto, mezclado con el maíz natural.

Un accidente biotecnológico podría pasar inadvertido de manera inmediata y percatarnos de sus efectos al cabo de varias décadas, pues estos efectos se manifiestan a largo plazo, cuando puede ser demasiado tarde para impedir una catástrofe ambiental. Esto ha generado preocupación entre los científicos, políticos, instituciones y en la población en general, acerca del uso adecuado de las modernas biotecnologías, ante el peligro que pudiera acarrear su mal uso si no se tienen en cuenta aspectos como la bioética y la bioseguridad.

Reflexiona

La revolución en la física hizo posible la utilización de la energía nuclear con fines bélicos, como sucedió con las bombas lanzadas por Es-

tados Unidos en Hiroshima y Nagasaki (Japón) al final de la Segunda Guerra Mundial. También ha sido posible su uso con fines pacíficos como el desarrollo de centrales nucleares (producción de energía eléctrica); sin embargo, los accidentes ocurridos en las centrales de Three Miles Island (Pensilvania, EEUU) y de Chernobil (Ucrania, URSS) en 1979 y 1986 respectivamente, han generado conflictos de conciencia en los trabajadores científicos del sector energético. Igual pudiera suceder si de un laboratorio se escapa un virus, o una bacteria modificada genéticamente con un gen peligroso para el ser humano, los animales domésticos, o las plantas de cultivo.

¿Qué pasaría si se utilizaran en nuestra alimentación animales y plantas transgénicas, cuya inocuidad no esté lo suficientemente probada?

La aplicación de la biotecnología moderna, tan promisoria para el bienestar humano, presenta aspectos preocupantes, pues se transforma cada vez más en un negocio multimillonario de las grandes empresas farmacéuticas, no tan interesadas en la salud humana como en patentar y utilizar esos conocimientos con el fin de obtener ganancias.

¿? ¿Sabías que...?

En 2003 entró en vigencia el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad Biotecnológica, del Convenio de Diversidad Biológica establecido por la Organización de Naciones Unidas (ONU). Este busca garantizar la manipulación, transporte, y uso seguros, de los organismos vivos modificados que resultan de la aplicación de la biotecnología moderna y que puedan tener efectos adversos en la biodiversidad, considerando también los posibles riesgos para la salud humana.

Del mismo modo es inquietante la experimentación en seres humanos, en las que los sujetos de investigación son personas de escasos recursos generalmente provenientes de países subdesarrollados, que desconocen sus derechos o que no pueden hacerlos valer. No tenemos derecho a permitir que estas cosas sucedan; exigir el cumplimiento de los principios éticos de responsabilidad y precaución, es obligación insoslayable de una bioética de la intervención comprometida con el desarrollo sostenible.

Reflexiona

Un equipo de investigadores ha secuenciado por primera vez el genoma de una especie extinta el mamut lanudo que desapareció hace unos 10 000 años. El estudio publicado en la revista Nature asegura que a partir de muestras de ADN extraídas del pelo de varios especímenes de mamuts (algunas conservadas durante miles de años bajo capas de hielo), han completado el 80 % del genoma nuclear de este animal prehistórico. Esto puede ayudar a su posible "resurrección", mediante la inserción de sus secuencias de ADN en el genoma del elefante moderno; pero ¿cuáles serían las consecuencias ambientales?

La solución a estos problemas debe ser resultado del trabajo mancomunado de los científicos y la sociedad, con el establecimiento de normas éticas que permitan utilizar los grandes avances científicos y tecnológicos en el bienestar de esta.

En 1994 se desarrolló en Cuba una discusión promovida por el CITMA y el entonces Sindicato de Trabajadores de la Ciencia, con vista a elaborar el código sobre la ética profesional de los trabajadores de la ciencia en el que se expresa:

"La ciencia carecerá de sentido, si no se fundamenta en el principio del humanismo, puesto que toda actividad científica deberá orientarse por el reconocimiento del hombre como valor supremo. Es precisamente el hombre, su vida, bienestar, cultura, libertad y progreso, quien le confiere sentido a la ciencia".

Establece además normas bioéticas como: "Sostener una posición activa por la introducción y generalización de los resultados científicos y estar atentos ante las implicaciones negativas para la sociedad, la naturaleza y el individuo, que puede tener la aplicación práctica de uno u otro conocimiento científico".

En 1989 se creó el Centro de Estudios de la Calidad de los Medicamentos (CECMED), entidad encargada de velar y garantizar la calidad, seguridad y eficacia de los medicamentos que circulan en Cuba, de reglamentar los requisitos que deben cumplir los ensayos clínicos durante la evaluación de la seguridad y eficacia de un medicamento, y de otorgar la autorización de inicio de estos ensayos acorde con los procedimientos establecidos.

El Estado cubano está comprometido con la realización de investigaciones clínicas donde estén implicados directamente el ser humano, y el

nivel de exigencia y responsabilidad de los investigadores que participan o están directamente relacionados con este campo de la ciencia, en la que principios éticos fundamentales como el consentimiento y confidencialidad, el respeto a la persona, el de beneficencia, y el de justicia, constituyen el sustento moral de la investigación científica.

¿? ¿Sabías que...?

En el año 1997 la UNESCO aprobó la Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos. El documento consta de 7 capítulos titulados: 1. La dignidad humana y el genoma humano; 2. El derecho de las personas interesadas; 3. Investigaciones sobre el genoma humano; 4. Condiciones de ejercicio de la actividad científica; 5. Solidaridad y cooperación internacional; 6. Fomento de los principios de la Declaración; y 7. Aplicación de la Declaración.

En los trabajos de ingeniería genética que impliquen manipulación de genes humanos se deben tener en cuenta determinados principios. El primer principio al que se puede aludir en el plano individual es el de beneficencia, porque estas investigaciones buscan el mejoramiento de la humanidad. También se debe considerar el principio de no maleficencia, que establece la exigencia de no causar daño o sufrimiento innecesario, al respetar la proporcionalidad entre la importancia de la investigación y en el riesgo existente.

Reflexiona

¿Han pensado aquellos defensores a ultranza de la libertad individual, cuánta libertad se le quita a un ser al que sin ser previamente consultado, se le manipula genéticamente y se le imponen características que otras personas consideran adecuadas, incluso cuando esta acción esté preñada de las mejores intenciones? ¿Cuántas veces los hijos se quejan con justeza, de acciones de sus padres que aunque menos trascendentes, les restan o limitan su autonomía?

Comprueba lo aprendido

1. Compara la recombinación que ocurre en la naturaleza de manera natural, con la recombinación artificial surgida con la genética

molecular, que ha posibilitado el surgimiento de las biotecnologías de tercera y cuarta generación. Ejemplifica.

2. Elabora un modelo, diagrama, o dibujo de la tecnología ADN recombinante y describe en qué consiste.

3. Relaciona los términos de las dos columnas acerca de las diferentes técnicas que se utilizan en la ingeniería genética.

Columna A	Columna B
a) Corte del ADN en fragmentos	**1.** Clonación
b) Amplificación de un gen	**2.** Electroforesis en gel
c) Empalme de dos fragmentos de ADN	**3.** Reacción en cadena de la polimerasa
d) Secuenciación de ADN	**4.** Autorradiografía
e) Separación de los fragmentos de ADN	**5.** Enzimas de restricción
f) Identificación de un gen de interés	**6.** Sonda genética
	7. Enzimas ligasas

4. Valora cada uno de los planteamientos siguientes:

a) La ingeniería genética es una biotecnología moderna cuya principal función debe ser el mejoramiento de la salud, la alimentación humana y animal, la conservación del medio ambiente, la investigación en criminología, entre otras, a pesar de los riesgos que entraña su utilización.

b) Los alimentos provenientes de plantas y animales transgénicos son un peligro para la humanidad, por lo que deben ser prohibidos absolutamente.

c) Cuba, a pesar de ser un país subdesarrollado ha logrado estar a la altura de países desarrollados en cuanto a investigaciones y aplicación de la ingeniería genética.

5. Argumenta la importancia que tiene en el desarrollo de la sociedad la determinación de la secuencia nucleotídica del genoma humano y de otros organismos de interés.

6. ¿Qué ventajas tiene invertir capital en producir proteínas mediante ingeniería genética, si estas se sintetizan de manera natural en los organismos vivos? Ejemplifica.

7. Argumenta por qué es tan importante que en las investigaciones biotecnológicas y durante la aplicación de la ingeniería genética se sigan normas de bioética y de bioseguridad. Menciona algunas de estas normas y regulaciones. Fundamente las razones de cada una.

8. En la Declaración Universal sobre el Genoma y los Derechos Humanos se proponen una serie de principios entre los cuales se plantean: "Cada individuo tiene derecho al respeto de su dignidad y derechos, cualesquiera que sean sus características genéticas". Elabore situaciones de la vida cotidiana que ejemplifiquen cómo se pudiera violar este principio.

9. Elabora un listado de instituciones científicas cubanas en las que se desarrolla la ingeniería genética, y los productos que han logrado obtener en bien de la humanidad.

10. Gestiona en internet, las leyes cubanas que regulan el uso de organismos modificados genéticamente. Elabora un resumen de los principales planteamientos en estas leyes. Argumenta la importancia que tiene la promulgación de estas legislaciones en el desarrollo sostenible del país.

Conclusiones del Capítulo 5

La perpetuación de la vida se logra mediante la trasmisión de información genética de padres a hijos durante la reproducción. Esto es posible por los ácidos nucleicos que portan dicha información, la replican de modo que se puedan trasmitir a las células hijas, y la expresan en las células, con lo cual se manifiestan las características fenotípicas de los individuos. En estos procesos son necesarias sustancias, energía e información, incorporadas del medio ambiente durante las funciones vegetativas y la autorregulación.

La genética es la ciencia que estudia la herencia como un fenómeno de estabilidad y cambio que se manifiesta en todos los organismos vivos. Se inició con los estudios realizados por Mendel con cruzamientos en el guisante, luego se amplió a los estudios citogenéticos con la mosca de la fruta, alcanzando notable desarrollo a nivel molecular en la segunda mitad del siglo XX, y en la actualidad ha logrado la creación de nuevas formas de vida.

La información genética está contenida en la secuencia de bases nitrogenadas del ADN que constituye a los genes, y su trasmisión a las

descendencias es regida por leyes objetivas que fueron enunciadas por Mendel: la Ley de la segregación y la Ley de la trasmisión independiente. Los genes se relacionan entre sí en el genotipo como un sistema íntegro, dando origen a diferentes tipos de interacciones entre las que se destacan la dominancia completa, incompleta, la codominancia y los poligenes.

La Teoría cromosómica de la herencia plantea que los genes están localizados de manera lineal en los cromosomas, y se pueden producir recombinaciones como la que sucede en procesos de transformación bacteriana y en el entrecruzamiento de la meiosis en células eucariotas sexuales. Pueden ocurrir cambios en la información genética (denominados mutaciones) a nivel de genes, cromosomas o genoma, cuyas consecuencias son variaciones genotípicas y fenotípicas; y aunque pueden producir desde estas alteraciones hasta la muerte, son la base de la evolución de la vida.

El genotipo se expresa en el fenotipo con la influencia del medio ambiente; esto se observa en las mutaciones inducidas por factores físicos y químicos, y en las modificaciones epigenéticas, entre otras.

La genética ha tenido aplicación biotecnológica con gran impacto en las diferentes esferas de la producción y los servicios. Esto se demuestra con los métodos y técnicas de cruzamiento; la mutagénesis y selección de plantas, animales y microorganismos; el diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades y defectos genéticos; la producción de sustancias químicas útiles a la humanidad; la creación de plantas y animales transgénicos; la conservación de la biodiversidad y el medio ambiente, y la resolución de problemas jurídicos, entre otras.

Desafíos

1. Busca información en bibliografía complementaria e internet sobre los trabajos experimentales realizados por Mendel, e identifica en estos las siguientes categorías de la investigación científica: problema, hipótesis, predicción, métodos, procedimientos, técnicas, población, muestra, resultados, divulgación, impacto.

2. Si una planta de guisante alta cruzada con otra enana, produce en la descendencia aproximadamente, la mitad alta y la mitad enana, responde:

a) ¿Cuáles son los genotipos de los progenitores?
b) Si la progenitora alta se autofecunda, ¿cuál es la probabilidad de que la primera planta descendiente sea alta, y cuál de que sea enana?

3. En el conejillo de Indias, el pelaje rizado ***R*** es dominante sobre el liso ***r***, y el pelaje negro ***B*** es dominante sobre el blanco ***b***. ***R*** y ***B*** son genes independientes situados en diferentes ***locus***.
a) Si cruzamos un animal rizado negro con otro blanco liso, ¿cuál será el aspecto probable de la F_1 y de la F_2?
b) ¿Qué proporción de individuos rizados negros de la F_2, cabe esperar que sean homocigóticos para ambos caracteres?
c) ¿Cuál será el probable aspecto de la descendencia del cruce entre un F_1 y el progenitor negro rizado?
d) ¿Cuál será el probable aspecto de la descendencia del cruce entre un F_1 y el progenitor blanco liso?

4. El caballo palomino es de color dorado. Por desgracia para los aficionados a los caballos los palominos no son de raza pura. En una serie de apareamientos entre palominos se obtuvieron los siguientes descendientes: 65 palominos, 32 de color crema y 34 castaños (color café rojizo).
a) ¿Cuál es la probable modalidad de herencia de la coloración del palomino?

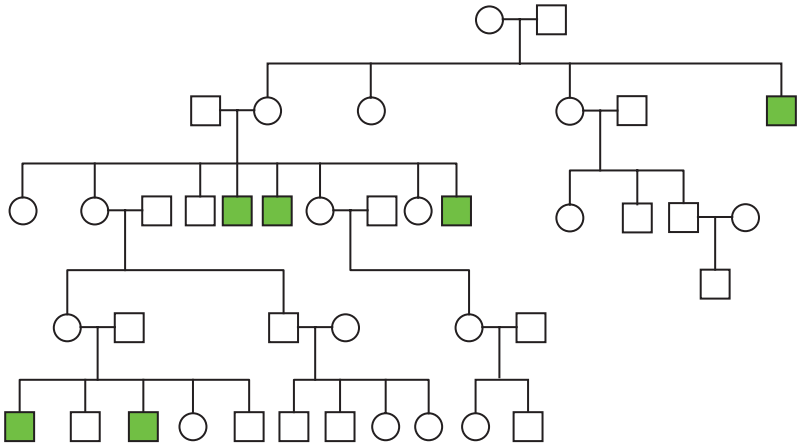
5. Un gallo con cresta en forma de nuez se aparea con tres gallinas: la gallina A, también con cresta en forma de nuez, tiene una descendencia con la proporción 3:1. La gallina B, con cresta en forma de vaina, tiene una descendencia con la proporción 3:3. La gallina C, con cresta en forma de nuez, tiene toda su descendencia con cresta en forma de nuez. ¿Cuáles son los genotipos del gallo y las tres gallinas?

6. En un caso de disputa sobre la paternidad, la madre de un hijo ilegítimo tiene la sangre de tipo N, el hijo MN, y un posible padre N y el otro MN. ¿Cómo decidiría usted el caso?

7. En la boca de dragón, el color rojo de las flores es un carácter dominante incompleto sobre el blanco, siendo los heterocigotos de color

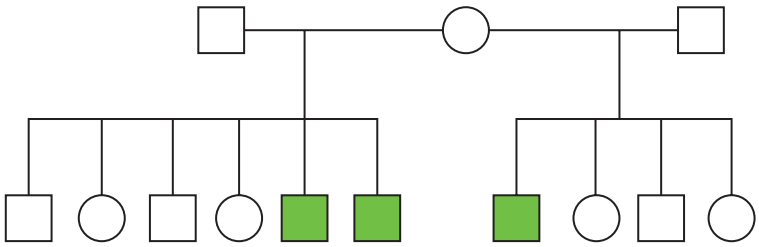
rosado. Las hojas normales anchas son también incompletamente dominantes sobre las estrechas, teniendo los heterocigóticos una anchura de las hojas intermedia. Si se cruza una planta de flores rojas y hojas anchas, con una de flores blancas y estrechas, diga el fenotipo de la F_1 y la F_2.

8. El esquema 5.7 representa parcialmente el árbol genealógico de una familia con una enfermedad conocida como microftalmia, que causa la ceguera. ¿Cuál es la forma en que probablemente se herede el gen que puede ser causante de dicha enfermedad?



Esquema 5.7 Árbol genealógico de una familia con microftalmia

9. El árbol genealógico (esquema 5.8) de individuos afectados de distrofia muscular (símbolos sombreados) se obtuvo del apareamiento de una mujer con dos hombres distintos, en dos matrimonios diferentes. Describe las características genéticas del gen que pudiera ser el responsable de dicho defecto. Enuncia las razones que apoyan tu opinión.



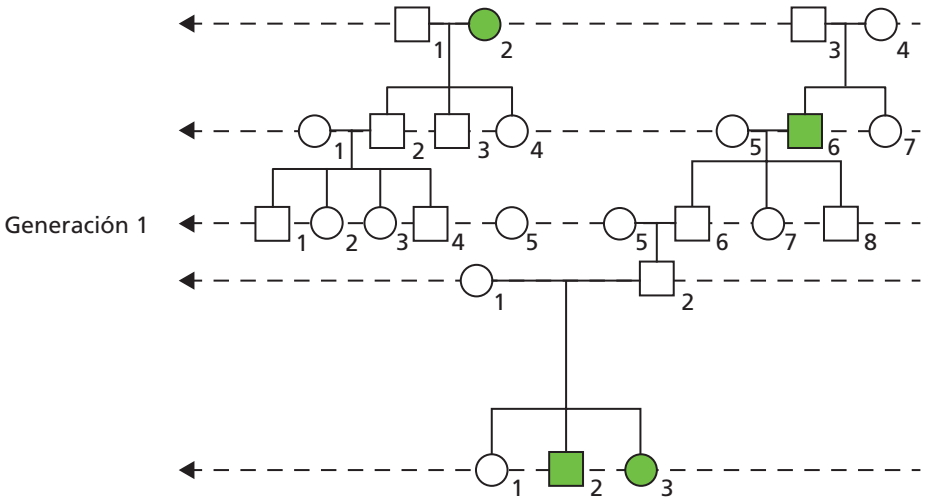
Esquema 5.8 Árbol genealógico de una familia con distrofia muscular

10. El ***locus*** rayado ligado al cromosoma X en pollos, controla el patrón de las plumas: alelos ***B*** para el patrón rayado y ***b*** para ausencia de rayas. Si una hembra rayada se aparea con un macho sin rayas:

a) ¿Cuál será el aspecto de la progenie masculina y femenina? (Nota: en las aves los machos son homogaméticos (XX) y las hembras heterogaméticas (XY).

b) ¿Consideras que tiene alguna utilidad comercial este resultado? (Sugerencia: es muy difícil determinar el sexo de los pollitos recién salidos del cascarón).

11. El siguiente árbol muestra la herencia de una enfermedad que afecta el funcionamiento del riñón en humanos.



Esquema 5.9 Árbol genealógico de una familia con afectación en los riñones

12. A partir de este árbol puede pensarse que la herencia de la enfermedad:

__ depende de un alelo de tipo dominante;
__ está ligado al sexo;
__ está ligado al sexo y depende de un alelo recesivo, o
__ no está ligada al sexo y depende de un alelo recesivo.

13. Las plantas, al igual que los animales, pueden adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Un investigador observa dos plantas A y B

de la misma especie que viven en áreas cuyas condiciones ambientales son diferentes. En la tabla 5.7 se resumen las observaciones que el investigador realizó:

Tabla 5.7 Características de dos plantas de la misma especia en condiciones diferentes

Criterios	Planta A	Planta B
Color de las hojas	Verde oscuro	Verde
Profundidad de las raíces	Muy profundas	Poco profundas
Posición de los estomas	Hundidos	Superficiales
Densidad de pelos en la planta	Alta	Baja

Gracias a la información obtenida por varias investigaciones se sabe que la profundidad de las raíces, la posición de los estomas y la densidad de pelos en la planta, son características que en esta especie varían como respuesta a las condiciones climáticas. Con el color de las hojas se cree que no sucede así, es decir, plantas de hojas verdes tendrán descendientes de hojas verdes en cualquier ambiente.

a) Selecciona qué puede hacer el investigador a fin de comprobar esta hipótesis:

1. Lograr líneas puras de cada una de las clases A y B para cruzarlas.
2. Realizar cruces con material colectado en el campo, sin establecer líneas puras.
3. Realizar los cruces en condiciones ambientales controladas.
4. Realizar los cruces en ambas condiciones ambientales.

b) De estas opciones, ¿cuál tú pensarías que sería la combinación más adecuada?:

__ 1) y 3)
__ 1) y 4)
__ 2) y 3)
__ 2) y 4)

13. Buscando mejorar el cultivo artificial de una especie de flores de alto valor comercial se han escogido y mantenido los caracteres más favorables durante su producción y mantenimiento. Este proceso, conocido como selección artificial, luego del cultivo de varias generaciones probablemente hará que dichas especies de plantas:

a) obtengan un alto valor de supervivencia;
b) erradique definitivamente sus plagas;
c) reduzca su variabilidad genética, o
d) disminuya su productividad.

14. En la siguiente tabla se encuentra la información de dos genes que se heredan y expresan separadamente en una población de conejos silvestres:

Tabla 5.8 Características de dos genes de conejos

Gen	Carácter	Genotipos	Fenotipos
A	Color del pelo	***AA***	Gris
		Aa	Gris
		aa	Café
B	Longitud de la cola	***BB***	Larga
		Bb	Larga

Si se cruzan un macho y una hembra de color gris y cola larga, heterocigotos para ambas características, la probabilidad de encontrar en la descendencia un conejo de color café y cola corta es de:

__ 50 %;
__ 25 %;
__ 12,5 %, o
__ 6,25 %.

15. En una hacienda ganadera existen varias razas de ganado vacuno; en una de ellas el color del pelo es amarillo (homocigótico),

negro (homocigótico) y barcino (una mezcla de pelo amarillo y negro, heterocigótico).

a) Si un toro amarillo fecunda a una vaca negra, selecciona el fenotipo y el genotipo esperados:
__ todos amarillos;
__ todos barcinos;
__ ½ negro, ½ amarillos, o
__ ½ barcinos y ½ amarillos.

b) De acuerdo con el ítem anterior, si los descendientes de esa fecundación se cruzan entre sí, ¿cuáles crees que serían el genotipo y el fenotipo?:
__ ½ barcinos y ½ negros;
__ ½ amarillos y ½ negros;
__ ½ negros , ¼ amarillos y ¼ barcinos, o
__ ¼ amarillos, ¼ negros y ½ barcinos.

c) Si se cruzan un toro barcino con una vaca barcina, su progenie sería:
__ ½ barcinos, ½ amarillos y ¼ negros;
__ ½ amarillos, ½ negros;
__ ½ negros, ¼ amarillos, ¼ barcinos, o
__ ½ amarillos, ¼ negros, ¼ barcinos.

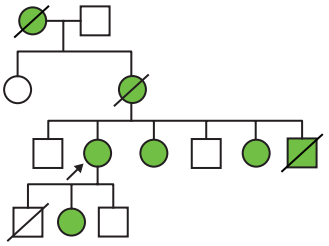
16. Representa en una gráfica de tiempo sobre la historia de la biología, los hitos fundamentales y las personalidades que contribuyeron al descubrimiento de la naturaleza química, la localización, estructura y función del material genético.

a) Gestiona información en la web u otras fuentes, acerca de las principales figuras que participaron en estos trascendentales acontecimientos.
b) Elabora una presentación electrónica u otro tipo de ***software***, sobre esta temática, con vistas a tu presentación en las ferias de ciencias.
c) Elabora un texto valorativo acerca de estos pasajes de la historia de las ciencias.

17. En la ciencia se identifican problemas, se crean hipótesis, modelos, y con la utilización de métodos empíricos, se llegan a realizar descubrimientos más o menos importantes. Identifica estas categorías

antes enumeradas, en los trabajos de los diferentes científicos que conllevaron al descubrimiento de la naturaleza química, las propiedades y las funciones del ADN.

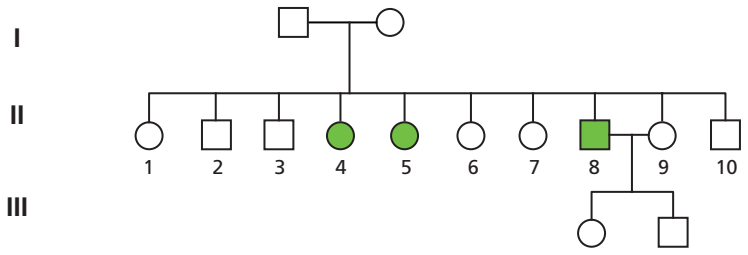
18. La hipercolesterolemia familiar es una enfermedad hereditaria determinada por un gen autosómico dominante que se caracteriza por una elevada concentración de colesterol en la sangre, y se manifiesta en una frecuencia de 1/500. Los homocigóticos la padecen con mayor gravedad que los heterocigóticos. El siguiente árbol genealógico (Esquema 5.10) corresponde a una familia que presenta dicha afección, la cual fue detectada en una hembra de la segunda generación.



Esquema 5.10 Árbol genealógico de una familia con hipercolesterolemia

a) Describe los genotipos de los dos abuelos que fundaron esta familia.
b) Elabore una hipótesis que permita explicar por qué los varones descendientes de la mujer en la que se detectó por primera vez la enfermedad en esta familia no la padecieron, sin embargo, su hermana sí.

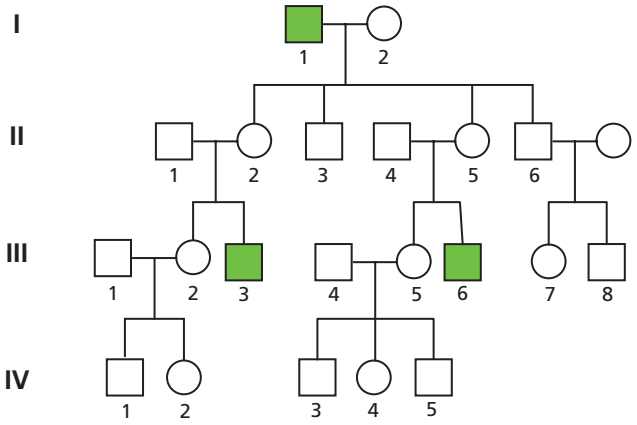
19. El siguiente árbol genealógico corresponde a una familia con fibrosis quística, enfermedad autosómica determinada por un gen que sufre una mutación.



Esquema 5.11 Árbol genealógico de una familia con fibrosis quística

a) ¿Cuál es la dominancia que tiene el gen que la determina?
b) Representa el cruzamiento de los progenitores iniciales (abuelos).
c) Diga cuál es el genotipo y el fenotipo de los hijos 4, 5 y 8.

20. El siguiente árbol genealógico corresponde al de una familia afectada por una enfermedad ligada al sexo.



Esquema 5.12 Árbol genealógico de una familia con una enfermedad ligada al sexo

a) ¿En qué cromosoma se encuentra ligado el gen que la determina?
b) ¿Cuál es su dominancia?
c) Identifica cuáles de las siguientes enfermedades pudiera ser la que se representa en el diagrama: a) hemofilia, b) hipertricosis, c) distrofia muscular de Duchenne.

21. Suponga que mezcla los siguientes componentes de síntesis proteínicas en un tubo de ensayos: aminoácidos de un conejo, ribosomas de un perro, ARNt de un ratón, ARNm de un chimpancé, enzimas necesarias, más una fuente de energía de una jirafa.
Si ocurre la síntesis proteica, ¿de qué animal será elaborada la proteína?
__ conejo
__ perro
__ ratón
__ chimpancé
__ jirafa.

22. Analiza el sistema de regulación genética del metabolismo de la lactosa denominado operón lactosa.

a) Identifica cada uno de los componentes del patrón general de regulación estudiado en el capítulo 2.

b) ¿A qué conclusiones arribaste?

23. Valora las contradicciones existentes entre algunos científicos, los dueños de grandes monopolios, y los políticos, con relación a la utilización de la ingeniería genética en la producción de alimentos mediante organismos genéticamente modificados.

24. Realiza una búsqueda de información en diferentes fuentes, que te permita demostrar mediante ejemplos, los resultados obtenidos en diferentes centros de investigación biotecnológicos cubanos, y evidencien que Cuba puede llegar a ser una potencia científica en este campo.

25. Gestiona información en internet acerca de las leyes y reglamentos cubanos sobre el uso en la agricultura de los organismos o variedades genéticamente modificados, seguridad biotecnológica, seguridad biológica para el uso de agentes bióticos y sus productos, y organismos y fragmentos de estos con información genética. Elabora un resumen sobre las ideas esenciales; realiza una valoración sobre el contenido de esas normas, y cómo se aplican en ellas los principios bioéticos tratados en este epígrafe.

Actividades prácticas

Clase práctica: Estudio de rasgos humanos con modelo de herencia simple en una población escolar.

Objetivo: Identificar diferentes rasgos fenotípicos en la población escolar que son determinados por un patrón de herencia simple.

Organización: En equipos y grupal.

Método y procedimientos: observación, conteo, recogida de datos en una tabla, cálculo de porciento.

Introducción:

La mayoría de los rasgos humanos están controlados por varios genes, pero hay algunos rasgos o características fenotípicas que se codifican en un único par de genes (uno procedente del padre y el otro de la madre). En la tabla 5.9 se presentan algunos caracteres que cumplen esa cualidad indicando el alelo dominante y el recesivo. Si un individuo expresa la característica recesiva su genotipo será ***aa*** (ambos genes recesivos), pero si expresa la cualidad dominante su genotipo puede ser ***AA*** o ***Aa***. Conocer las características de los padres puede ayudar a determinar el genotipo exacto de los hijos.

Tabla 5.9 Caracteres fenotípicos humanos de herencia simple

Caracteres	Dominante	Recesivo
Hoyuelo facial	Con hoyuelos faciales	Sin hoyuelos faciales
Estructura del lóbulo de la oreja	Lóbulo de la oreja despegado o colgado	Lóbulo pegado a la cabeza
Enrollamiento de la lengua en forma de U	Pueden enrollarla	No la pueden enrollar
Forma del dedo meñique	Dedo meñique torcido	Dedo meñique recto
Proporción entre el tamaño del dedo índice y anular	Dedo índice más corto que el anular, en varones	Dedo anular más largo que el índice, en varones
Flexibilidad del dedo pulgar	Pulgar normal (no se puede doblar hacia atrás más de 45º)	Pulgar de "ponero" (puede doblar el dedo pulgar hacia atrás más de 45º)
Forma del borde del pelo	Borde frontal del pelo, en ángulo (pico de viuda)	Borde frontal del pelo, en línea recta

Pilosidad en la segunda falange de los dedos	Pelo en segundas falanges	Sin pelo en segundas falanges
Tamaño del dedo gordo del pie	Dedo gordo del pie, largo	Dedo gordo del pie, corto
Forma de las uñas	Uñas curvas, al mirar un dedo de perfil	Uñas rectas, al mirar un dedo de perfil
Pecosidad	Con pecas	Sin pecas
Calvicie	Calvicie en varones	Calvicie en hembras
Hipertricosis o pelos en las orejas	Presencia	Ausencia
Color de los ojos	Diferentes colores excepto azul	Azules
Color del cabello	Oscuro	Claro
Aletas de la nariz	Anchas	Angostas

Orientaciones para la ejecución de la actividad práctica:

La actividad consistirá en estudiar el comportamiento de algunos de estos caracteres que sean seleccionados en tu grupo, y valorar el grado de variabilidad u homogeneidad que presentan cada uno de estos, en tu grupo estudiantil. Para ello:

1. Seleccionar junto al colectivo del grupo cinco de los caracteres presentados en la tabla anterior.
2. Analizar cómo se comportan en cada uno de los miembros del equipo los cinco caracteres seleccionados en el punto 1.
3. Realizar conteo simple de la regularidad o comportamiento de cada uno de los caracteres entre los integrantes del equipo. Recoger los datos en la tabla que se muestra a continuación, la cual debes reproducir en tu libreta de notas.
4. Determinar el índice de prevalencia (datos porcentuales) de cada uno de los caracteres en el equipo. Colocar el resultado de cada carácter en la fila correspondiente de la tabla marcando con una x.

5. Representar los probables genotipos de algunos de los educandos que muestran rasgos recesivos y dominantes. En el caso de los caracteres dominantes debe tenerse en cuenta la presencia o no, en los padres.
6. Comunicar los datos en la actividad general, donde se completará en la pizarra una tabla resumen con los resultados de todos los equipos.

Tabla 5.10 Resumen de los resultados del equipo

Caracteres estudiados:										
Educandos del equipo:	Rec	Dom	Rec	Dom	Rec	Dom	Rec	Dom	Rec	Dom
1										
2										
3										
4										
5										
6										
Totales:										

Conclusiones

¿Cuáles caracteres manifiestan mayor variabilidad fenotípica en la población estudiada?

Tareas extraclases:

1. Replica esta actividad en el seno de tu familia utilizando la mayor cantidad posible de caracteres de la tabla 5.9.
2. ¿Qué caracteres fenotípicos prevalecen en tu familia? Argumenta tu respuesta.
3. Selecciona uno de los caracteres estudiados por ti en la tarea 1 y elabora un gráfico que represente el árbol genealógico de tu familia sobre la transmisión de este caracter en diferentes generaciones.

Clase práctica: Resolución de ejercicios y problemas sobre transmisión de la herencia.

Los ejercicios y problemas genéticos posibilitan la aplicación de los conceptos y regularidades estudiadas, lo cual puede tener diferentes niveles de complejidad y referirse a diferentes patrones de herencia.

Los patrones que serán ejercitados en las clases prácticas son: dominancia completa, dominancia incompleta o intermedia, codominancia, y herencia ligada al sexo. A continuación se precisan sus características:

- Dominancia completa: un alelo es dominante y se manifiesta en el fenotipo tanto en combinación homocigótica como heterocigótica, mientras que el alelo recesivo solo se manifiesta en combinación homocigótica.
- Dominancia incompleta: ningún alelo domina, pues ambos se manifiestan de manera intermedia en el fenotipo de los híbridos.
- Codominancia: ambos alelos son dominantes, por lo que se manifiesta en el fenotipo de los híbridos con la misma intensidad.
- Herencia ligada al sexo: el gen implicado está localizado en los cromosomas sexuales, puede ser dominante o recesivo.

El carácter se refiere a la característica anatómica, funcional, o conductual, referida en la situación presentada en el texto base del ejercicio, ejemplo: color de los ojos, altura del tallo, peso del fruto, desplazamiento del cuerpo.

En la modelación que se realiza durante la búsqueda de la solución a los ejercicios genéticos se utilizan letras para la representación de los genes y de sus alelos que conforman el genotipo. Los genotipos de los organismos generalmente pueden ser homocigóticos (líneas puras) o heterocigóticos (híbridos resultantes del cruzamiento entre dos líneas puras diferentes).

En la representación de los alelos del gen para el mismo carácter se debe utilizar una misma letra, mayúscula en el alelo dominante o minúscula en el alelo recesivo (***Aa***), pero cuando se representan genes y sus alelos correspondientes a caracteres diferentes, se deben utilizar letras distintas (***Aa, BB***).

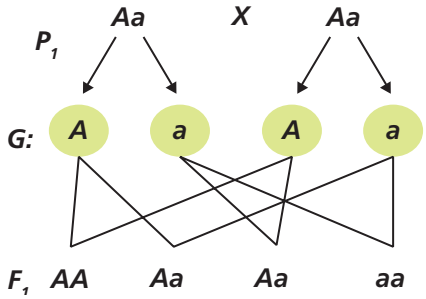
Los fenotipos se refieren a las características morfológicas, fisiológicas o conductuales, determinadas por el genotipo en interacción con los factores ambientales; ejemplo: ojos claros, tallo largo, fruto de 50 g, desplazamiento hacia la luz.

A continuación te ofrecemos una metodología o procedimiento general que te pudiera servir de guía al resolver ejercicios o problemas de diferentes tipos, luego te damos precisiones de acuerdo a los diferentes patrones de la herencia. Es posible que haya ejercicios que no requieran de todos los procedimientos, lo cual deberás ajustar a cada situación concreta.

Procedimiento general para la resolución de problemas genéticos.

1. Lectura y comprensión de la situación presentada en el ejercicio, identificando: patrón de herencia (dominancia completa, incompleta, codominancia, ligada al sexo), número de caracteres involucrados (monohíbrido o dihíbrido).
2. Extraer los datos que aporta el ejercicio (carácter, genotipos o fenotipos de los progenitores o de la descendencia).
3. Identificar cuál es el problema que deberás a resolver (la incógnita o el dato ausente).
4. Representar los genes implicados y sus alelos correspondientes a cada uno de los progenitores (P_1). En caso de herencia ligada al sexo representar también los cromosomas.
5. Representar la separación de los genes de la pareja de alelos correspondientes a cada uno de los progenitores, con la formación de los gametos (aplicando la Ley de la segregación). Los gametos se representan circulando cada alelo o grupos de ellos, que fueron separados.

Tabla 5.11 Tablero de Punnet



	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

6. Representar las probables variantes de fecundación: interrelaciones entre cada uno de los gametos de los progenitores, al mismo tiempo se van escribiendo los genotipos de la descendencia probable. Se puede hacer mediante líneas que van de cada gameto de un progenitor a cada

uno del otro progenitor; también se puede elaborar una tabla de doble entrada en la cual las columnas presenten los gametos de un progenitor y las filas los del otro (tabla 5.11). Indicar la generación resultante en el cruzamiento, F_1 si es la primera generación filial, F_2 si es la segunda generación filial.

7. Nombrar el fenotipo y el genotipo de cada uno de los descendientes en el cruzamiento.
8. Determinar las proporciones genotípica y fenotípica de la descendencia, de acuerdo con las exigencias del problema o ejercicio.
9. Elaborar la respuesta con la solución al problema planteado en el enunciado inicial.

Precisiones para cada patrón de herencia:

Dominancia completa: los alelos dominantes se representan con letras mayúsculas y los alelos recesivos con letras minúsculas. Para el mismo carácter se debe utilizar la misma letra.
Ejemplo: carácter altura del tallo
alelo dominante: ***T***
alelo recesivo: ***t***
En este patrón los genotipos pueden ser de tres tipos:
TT- genotipo homocigótico dominante
tt- genotipo homocigótico recesivo
Tt- genotipo heterocigótico

Dominancia incompleta (herencia intermedia) y codominancia: los alelos se representan con la misma letra y tamaño pues ninguno de los genes domina, apareciendo un carácter fenotípico intermedio. En la diferenciación entre los caracteres se emplea algún símbolo adicional (letra, número, u otro símbolo).
Ejemplos: carácter grupo sanguíneo: Alelos: I^A, I^B
Textura del pelo: Alelos: C^1, C^2
En este caso los genotipos pueden ser de dos tipos:
C^1C^1 - homocigótico
C^1C^2 - heterocigótico

Herencia ligada al sexo: se representan no solo los genes implicados, también los cromosomas sexuales. Los primeros alelos se representan

siguiendo las pautas de los patrones anteriores. Los cromosomas se pueden representar mediante sus letras X y Y, o mediante figuras que los sustituyan y diferencien.
Ejemplos:
carácter hemofilia: alelo dominante: X_H alelo recesivo: X_h
carácter hipertricosis: alelo dominante: Y_T alelo recesivo: Y_t
En este patrón los genotipos pueden ser de diferentes tipos (tabla 5.12).

Tabla 5.12 Ejemplos de genotipos en la herencia ligada al sexo

Genes del cromosomas X	Genes del cromosomas Y
$X_H X_H$- hembra homocigótica dominante	
$X_h X_h$ - hembra homocigótica recesiva	XY_T- varón homocigótico dominante
$X_H X_h$- hembra heterocigótica	XY_t- varón homocigótico recesivo
X_HY- varón homocigótico dominante	
X_hY- varón homocigótico recesivo	

Actividad práctica: Estudio de un carácter de variación continua

Objetivo: Determinar la variabilidad con relación a un carácter cuantitativo seleccionado, en la población escolar del grupo estudiantil.

Organización: en equipos y grupal.

Método y procedimientos: observación, conteo, recogida de datos en tabla, cálculo porcentual.

Introducción:
Los caracteres fenotípicos cuantitativos están determinados por un conjunto de genes por lo que se denominan poligenes, cada uno de ellos aporta un efecto en el fenotipo que se puede registrar mediante métodos matemáticos. Entre estos se encuentran el peso corporal, la talla, la longitud de la mano, del pie, la circunferencia cefálica, cantidad de leche, peso de los frutos, número de semillas, etc.

Posibles materiales: regla, cinta métrica, balanza, lápiz, papel, calculadora, entre otros.

Orientaciones para la realización de la actividad práctica:

1. Seleccionar en el grupo uno de los caracteres cuantitativos ejemplificados en la introducción u otro que te interese más, con el que trabajarán todos los equipos.
2. Elaborar en colectivo una pregunta a manera de problema, que les permita investigar este carácter.
3. Elaborar una hipótesis que permita guiar la investigación práctica.
4. Seleccionar los materiales que les permitirán realizar las observaciones, mediciones, registro de los datos y cálculos matemáticos.
5. Diseñar el procedimiento a seguir en la obtención de la información (mediciones, pesaje, etc.). Se sugiere que esta medición se realice a todos los educandos del equipo.
6. Diseñar una tabla que recoja la información de manera organizada, y completarla con los datos de todos los componentes del equipo. Se recomienda que se organice por los probables intervalos del carácter seleccionado.
7. Completar la tabla y realizar los cálculos, de modo que se tenga el valor promedio del carácter seleccionado.
8. Crear una gráfica donde se representen la curva de variabilidad. En el eje de las abscisas se puede ubicar a los educandos y en el de las ordenadas los intervalos en que varía el carácter seleccionado, o al revés, como determine el equipo de manera creativa.
9. Arribar a conclusiones acerca de la variabilidad del carácter investigado en el equipo.
10. Informar al grupo los resultados y anotar los datos del equipo en la tabla general del grupo, la cual será elaborada en la pizarra por el monitor, bajo la supervisión del profesor.
11. Arribar a conclusiones acerca de la variabilidad existente en el grupo, con relación al carácter investigado.
12. Comparar el estudio realizado por el equipo, con el ejemplo de las calabazas que aparece en el libro de texto (figura 5.12).

Tareas para las conclusiones:

1. ¿Por qué los caracteres cuantitativos muestran fenotipos tan diversos, mientras que los caracteres cualitativos solo presentan dos alternativas?

2. ¿Qué importancia tiene el estudio de este tipo de caracteres fenotípicos desde el punto de vista económico?
3. ¿Cómo influyen los factores ambientales en su manifestación? Ejemplifica.
4. Pon ejemplos de caracteres cuantitativos de importancia en animales domésticos, de crianza, y plantas de interés agrícola que encuentres en tu comunidad.

Seminario: La tecnología de recombinación del ADN. Aplicaciones en la producción y los servicios. Consideraciones bioéticas.

Objetivo: Valorar el impacto de las técnicas de recombinación de ADN en las diferentes esferas de aplicación de estas, con énfasis en los resultados alcanzados en Cuba, las perspectivas de desarrollo, y el aporte económico y social.

Temáticas a abordar: Impacto científico, económico, y social de la generalización del uso de las tecnologías de recombinación genética en la agricultura, ganadería, medicina; las industrias farmacéutica, química, y alimenticia; la protección ambiental, y la criminalística. Consideraciones bioéticas.

Tipo de seminario: por ponencias.

Organización: por equipos.

Sugerencias para la organización y el desarrollo del seminario:
Cada equipo seleccionará un aspecto de la temática referida a una esfera de aplicación de la tecnología de recombinación genética:

1. agricultura
2. ganadería
3. medicina
4. industria farmacéutica
5. industria química
6. industria alimenticia
7. protección ambiental
8. criminalística.

En la esfera seleccionada los miembros del equipo analizarán el impacto científico, económico y social, las consideraciones bioéticas asociadas, y las perspectivas de desarrollo futuro con énfasis en Cuba. En este último aspecto se referirán a los centros de investigación cubanos implicados, los productos biotecnológicos obtenidos, y el impacto alcanzado.

La gestión de información se desarrollará en diferentes fuentes existentes en la biblioteca del centro, el municipio o instituciones científicas de la localidad; en internet, periódicos, revistas y tabloides; en especial los de ***Universidad para Todos*** que se relacionan a continuación: Proyecto Genoma Humano, Introducción a las Biotecnologías, Tecnologías Modernas, Historia y repercusión de un descubrimiento: La estructura de doble hélice de la molécula de ADN, y Biotecnología y Adulto mayor.

El informe escrito del equipo debe incluir las siguientes partes: presentación, introducción, desarrollo (en el que exponen los aspectos más importantes de la temática seleccionada), conclusiones, bibliografía y anexos. Se deben localizar fotos o videos para ilustrar la información.

Presentación de la información en el seminario:

- Cada equipo elaborará y utilizará una presentación electrónica en la exposición de su temática ante el grupo, en que se incluyan fotos, videos y textos breves.
- La exposición oral en el seminario deberá demostrar dominio de la temática, independencia, y corrección lingüística. En esta participarán todos los educandos del grupo.
- El profesor y el resto de los educandos realizarán cuantas preguntas deseen, a determinados educandos.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Luego de haber estudiado en esta asignatura las funciones relacionadas con el mantenimiento y la perpetuación de la vida, es necesario que retomemos algunas ideas iniciales acerca de la unidad-diversidad de la vida en los organismos y su integridad biótica, contextualizando las funciones que en estos tienen lugar.

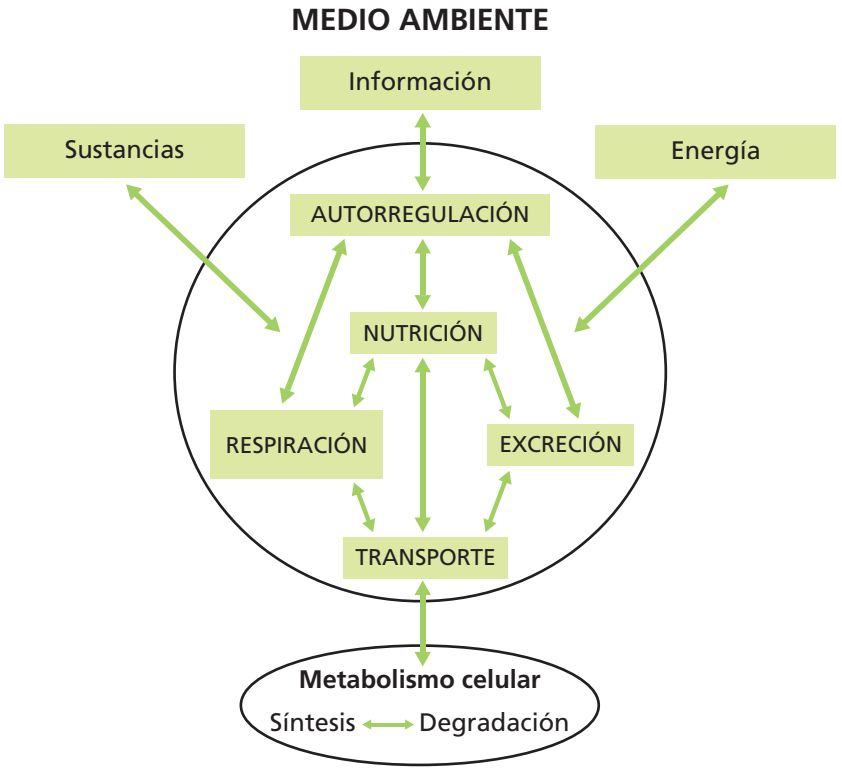
6.1 La unidad y la diversidad en las funciones de los organismos es resultado del proceso evolutivo

Las categorías unidad y diversidad han estado en el centro de atención de los estudios biológicos que has desarrollado desde la Educación Primaria. Estas categorías son de gran importancia en la concepción científica de la naturaleza tanto viva como no viva, pues desde la posición materialista dialéctica aunque son dos elementos contrarios, se manifiestan estrechamente unidos.

En el nivel de organismo, la unidad se manifiesta en las diferentes funciones que permiten mantener y perpetuar la vida (Esquema 6.1), cuya esencia ha sido objeto de estudio en esta asignatura.

Estas características generales y esenciales que dan unidad a los organismos, se manifiestan de muy diversas formas en las distintas adaptaciones que estos han desarrollado a lo largo del proceso evolutivo. Así, la función de autorregulación ha tenido diversas expresiones desde la aparición de las hormonas vegetales y animales, hasta la aparición de tejido excitable (capaz de reaccionar de manera más rápida ante los estímulos

del medio ambiente), y con ello la regulación nerviosa. Luego aparece la regulación inmunológica, que proporciona una mejor adaptación a los animales vertebrados ante la presencia de agentes extraños en el medio.



Esquema 6.1 Modelo funcional del organismo como un sistema íntegro en interacción con el medio ambiente

Por su parte, las funciones vegetativas también exhiben una amplia variedad de adaptaciones que han permitido la vida de los organismos en las más disímiles condiciones del ambiente abiótico y biótico. En la función de nutrición se desarrollaron formas heterótrofas y autótrofas, estas últimas presentes en las plantas, algas y algunas bacterias. Entre las heterótrofas se diversificaron variantes como la absortiva, propia de los protistas y hongos, y la ingestiva, que realizan los animales.

En el caso de la ventilación, las plantas desarrollaron adaptaciones especializadas como las lenticelas y los estomas, a través de las cuales se produce la entrada y salida del aire atmosférico; mientras que los

animales desarrollaron adaptaciones que facilitan el intercambio de gases entre la sangre y el aire del medio ambiente, entre las que se pueden citar las tráqueas de los insectos, las branquias de los peces y los pulmones de los vertebrados.

La función de transporte es otro ejemplo de la diversidad de adaptaciones que han permitido en diferentes condiciones, el suministro constante de las sustancias necesarias en el metabolismo, a todas las células; muestra de ello es el surgimiento de órganos como los vasos sanguíneos y el corazón. La estructura de los primeros (huecos en su interior), facilita la circulación continua de la sangre impulsada por el corazón. Esta sangre, provee al organismo de las sustancias que intervendrán en la ejecución del metabolismo. La diversidad de patrones que se observan en el corazón de las diferentes especies es un ejemplo más de estas adaptaciones, pues durante el proceso evolutivo se han desarrollado una, dos, tres y hasta cuatro cavidades.

La función de excreción la realizan todos los organismos, y es a través de ella que se eliminan los productos de desecho del metabolismo. Esta se ha desarrollado de diversas formas, en relación con la complejidad alcanzada en la adaptación al medio ambiente. Los microorganismos la ejecutan a través de la membrana citoplasmática (aunque algunos han desarrollado vacuolas contráctiles); las plantas eliminan sus desechos mediante la caída de las hojas, o los depositan en forma de cristales en sus células; ciertos animales expulsan sus desechos a través de estructuras especializadas como nefridios, tubos de Malpighi o nefronas; estas últimas forman parte de los riñones.

La función de reproducción también exhibe una amplia diversidad de adaptaciones al medio ambiente las primeras formas que aparecieron en el proceso evolutivo fueron las asexuales, vinculadas con la división celular directa (como la bipartición en las bacterias, y más tarde la pluripartición en protistas); la gemación de las levaduras, celenterados y algunos moluscos; las esporas, de los hongos pluricelulares; la fragmentación (que apareció en organismos pluricelulares sencillos como las algas y líquenes); y los bulbos, tubérculos y rizomas, propios de los musgos, los helechos y las plantas.

La aparición de la meiosis, y con esta de la formación de gametos, dio paso a un hito evolutivo de gran importancia biológica: la reproducción sexual, llevada a cabo por organismos desde los hongos, hasta las plantas superiores y los animales.

Comprueba lo aprendido

1. Selecciona una de las funciones del organismo y ejemplifica cómo se manifiesta en esta, la unidad y la diversidad de la vida en plantas y animales.

2. ¿Cuáles consideras sean las causas de la unidad y la diversidad en tus ejemplos anteriores?

6.2 La integridad biótica nos permite explicar el funcionamiento del organismo en interacción con el medio ambiente

Como recordarás de tus estudios en décimo grado, la integridad biótica que caracteriza a los organismos, no es más que la manifestación del entramado de relaciones, interacciones o nexos existentes, en y entre cada uno de los sistemas que los constituyen y posibilitan su funcionamiento como un todo, en interrelación con el medio ambiente. Para su estudio es necesario analizar tres aspectos que se involucran sistémicamente:

- La relación estructura-propiedades-funciones que se da en cada uno de los niveles en que se organiza el organismo (células, tejidos, órganos y sistemas de órganos).
- Las interrelaciones que se establecen entre los componentes y el medio ambiente.
- Las interacciones dinámicas que se ponen de manifiesto en una red de relaciones entre dichos componentes, durante su funcionamiento como un sistema íntegro.

Las relaciones estructura-propiedades-funciones se han venido analizando a nivel molecular y celular desde décimo grado. En onceno grado profundizaste en esta relación y en cada una de sus funciones a nivel de organismo, esto te posibilitó dar una explicación científica a los fenómenos asociados a estas. En la tabla 6.1 que te presentamos a continuación, podrás hacer el análisis de esta relación, en organismos de mayor complejidad: los animales y las plantas.

Tabla 2.2 Efectos de las hormonas sobre las células y órganos diana

Funciones		Adaptaciones que participan	Estructura que adoptan sus componentes	Propiedades esenciales
Autorregulación	Regulación nerviosa	Sistema nervioso: ■ periférico (nervios sensitivos y motores) ■ central (encéfalo y médula espinal) ■ receptores (órganos sensoriales) ■ neuronas que forman el tejido nervioso	Arcos reflejos: interconexión entre receptores, nervios, centros nerviosos y efectores, mediante sinapsis que comunican a las neuronas entre sí, con las glándulas endocrinas y exocrinas, los órganos inmunitarios, y músculos. Interconexión con el medio ambiente mediante los receptores	Excitabilidad Conductibilidad Biosintética Secretabilidad
	Regulación endocrina	Sistema endocrino: ■ glándulas endocrinas ■ hormonas ■ fitohormonas	Glándulas endocrinas que interactúan entre sí, con neuronas, órganos inmunitarios, y con los efectores, mediante las hormonas que secretan a la sangre.	Biosintética Secretabilidad
	Regulación inmunitaria	Sistema inmunitario: ■ médula ósea ■ intestinos ■ bazo ■ linfocitos ■ ganglios ■ fagocitos ■ timo ■ citoquinas	Órganos y células que interactúan entre sí, con las neuronas, y las glándulas endocrinas; mediante linfocitos, anticuerpos, y citoquinas (entre otros), que son vertidos a los líquidos corporales.	Biosintética Secretabilidad Inmunidad

Mantenimiento: Funciones vegetativas	Nutrición	Sistema digestivo: ■ boca ■ esófago ■ estómago ■ intestinos (delgado y grueso) ■ glándulas anexas (páncreas, hígado) ■ recto ■ ano ■ enzimas digestivas Hojas: ■ parénquima clorofílico y de reserva ■ estomas Raíces: ■ pelos absorbentes ■ Tallos: ■ lenticelas	Tubo continuo que integra a los órganos del sistema digestivo, de modo tal que los productos de uno pasan al otro, recibiendo las enzimas de sus paredes y de las glándulas anexas a estos conectadas. Presenta un orificio al inicio y otro al final del tubo que comunica con el medio ambiente. Comunicación con neuronas mediante sinapsis. Hojas laminares, planas, delgadas y anchas, con el parénquima en empalizada en la superficie superior, y lagunar en la parte inferior con abundantes cloropastos; comunicación con el medio exterior mediante pelos absorbentes largos, y con membrana desnuda, y orificios (lenticelas y estomas) con células oclusivas.	Motilidad Secretabilidad Contractibilidad Conductibilidad Excitabilidad Catalítica
	Respiración	Sistema respiratorio: ■ fosas nasales ■ vías ventilatorias y de intercambio (tráquea, bronquios, bronquiolos) -pulmones ■ diafragma	Tubo continuo que integra a los del sistema respiratorio; comienza en dos orificios anteriores (fosas nasales), y termina en los alveolos pulmonares. Estos presentan forma de sacos, con membrana delgada muy vascularizada.	Secretabilidad Permeabilidad Contractilidad

Funciones		Adaptaciones que participan	Estructura que adoptan sus componentes	Propiedades esenciales
Mantenimiento: Funciones vegetativas	Respiración	bronquiolos) -pulmones ■ diafragma Epidermis: ■ estomas y lenticelas.	Comunicación con el medio exterior mediante orificios llamados lenticelas y estomas, estos últimos con células oclusivas que los abren y cierran. Comunicación con el medio exterior mediante orificios llamados lenticelas y estomas, estos últimos con células oclusivas que los abren y cierran.	Secretabilidad Permeabilidad Contractilidad
	Transporte	Sistema circulatorio: ■ arterias ■ arteriolas ■ venas ■ vénulas ■ vasos capilares y linfáticos ■ corazón ■ sangre y linfa Sistema vascular: ■ vasos leñosos (xilema) -vasos cribosos (floema)	Vasos en forma de tubos muy largos y continuos que recorren todo el cuerpo del animal, unidos en circuito cerrado o abierto; por su interior circulan la sangre y la linfa. Corazón muscular con cavidades al cual se conectan los vasos. Tubos continuos o no, pero con comunicación entre las células, ramificados por todo el vegetal.	Capilaridad Permeabilidad Excitabilidad Contractilidad Conductibilidad
	Excreción	Sistema renal: ■ riñones ■ vejiga y tubos conductores)	Sistema renal: riñones que contienen un conjunto de tubos continuos largos, con membranas delgadas que posibilitan la filtración y reabsorción activa	

		Otros órganos excretores: ■ pulmones ■ intestinos ■ ano ■ piel Hojas	de la sangre; vejiga en forma de bolsa donde se almacena la orina, y órgano tubular que la conduce al exterior por medio de un orificio (uretra). Regulación por la acción del sistema nervioso, endocrino por fibras nerviosas y receptores. Almacenan sustancias tóxicas de desecho, que son eliminadas al caer.	Permeabilidad Excitabilidad Contractilidad Conductibilidad
Perpetuación	Reproducción	Sistemas reproductores: ■ gónadas (ovarios y testículos) donde se forman las células germinales ■ tubos conductores (oviductos, conductos espermáticos) ■ útero (femenino) ■ glándulas anexas ■ genitales externos. Sistemas florales: ■ ovario ■ óvulo ■ estambres ■ polen ■ conductos ■ peciolo ■ esporas ■ frutos ■ semillas	Órganos y glándulas conectados entre sí de manera continua. -En el sexo femenino: vagina tubular, con glándulas y fibras musculares que posibilitan la cópula y la salida del nuevo ser, ovarios (donde se forman las células germinales), útero en forma de saco muscular, hueco, donde se desarrolla el embrión. -En el sexo masculino: testículos con tubos seminíferos donde se producen los espermatozoides; glándulas anexas que contribuyen a la formación del semen; órgano copulador que permite depositar el líquido seminal en los órganos de la hembra.	Divisibilidad Diferenciabilidad Biosintética Secretabilidad Conductibilidad Excitabilidad Contractilidad

Aplicando estos conocimientos podrías dar respuestas a interrogantes como estas:

- ¿A qué se debe que los sistemas nervioso, endocrino e inmunitario puedan participar, de manera integrada, en la autorregulación del organismo?
- ¿Cómo se explica que el sistema circulatorio pueda hacer llegar las sustancias tomadas del medio ambiente, a todas las células del organismo?
- ¿Por qué el sistema reproductor es el único que puede perpetuar las especies en el tiempo?

En estas y otras preguntas similares que tú mismo puedes plantearte, hay una lógica que se basa en la relación estructura-propiedades-funciones, pues la explicación del por qué una adaptación determinada realiza una función específica, está en las propiedades emergentes de las relaciones estructurales que se establecen entre sus componentes: biomoléculas, tipos de células, tejidos, órganos; es decir, la manera en que se disponen y organizan, y las propiedades físicas, químicas o bióticas, que cada uno de los componentes aporta al todo.

La interrelación de los organismos con el medio ambiente es una condición importante en el mantenimiento de su integridad biótica, pues el intercambio con este de sustancias, energía e información, les facilita desarrollar funciones que permiten su autorregulación, el mantenimiento de la vida mediante el metabolismo, y su perpetuación mediante la reproducción.

Un ejemplo del intercambio de sustancias es la incorporación de los alimentos que contienen los nutrientes necesarios en el metabolismo (nutrición); la incorporación de dioxígeno, liberación de dióxido de carbono y expulsión de sustancias de desecho, perjudiciales al organismo (ventilación); y la secreción de sustancias por la piel y las mucosas, como el sudor, la grasa, las lágrimas, etcétera (excreción). Analizando el intercambio energético en el que los organismos utilizan energía del medio y la transforman, podemos observar el ejemplo de un vegetal (cuya nutrición es autótrofa), que absorbe energía radiante de la luz durante la fotosíntesis, y la transforma en la energía potencial contenida en los enlaces covalentes de las moléculas que sintetiza, como la glucosa. Esta glucosa constituye la fuente química de energía en los organismos heterótrofos.

El intercambio de información entre un organismo y su medio ambiente tiene lugar fundamentalmente durante la autorregulación, la cual se

realiza en función de las variaciones ambientales que constituyen estímulos. Estos estímulos, que contienen información acerca de algún fenómeno del medio ambiente, son detectados por determinados receptores (biomoléculas) presentes en las membranas de los órganos sensoriales; estas captan la señal mediante cambios en el potencial de membrana (despolarización), o mediante transformaciones en la configuración tridimensional de ciertas biomoléculas (como proteínas) que promueven procesos enzimáticos y de transporte intracelular.

De esta manera la información llega al núcleo de la célula, que moviliza sus mecanismos genéticos de regulación, y desencadena una respuesta que puede variar en dependencia del tipo de célula, tejido, órgano o glándula: secreción de una enzima, una hormona, un neurotrasmisor, un anticuerpo o citoquina. El desencadenamiento de la respuesta involucra procesos de expresión genética, como la transcripción de ARNm y la biosíntesis de proteínas por los ribosomas.

Las interacciones dinámicas entre los componentes de un organismo son el tercer elemento de la integridad biótica, referido a la integración y dependencia existente entre estos componentes, que facilita el funcionamiento del organismo como un todo.

Como ejemplo de estas interacciones tenemos el organismo humano, en el que la regulación de las funciones vegetativas es ejercida mediante la integración neuro-inmuno-endocrina. La diabetes es una enfermedad en cuyo origen se involucra el sistema endocrino, no obstante su expresión clínica y evolución son en parte reguladas por las funciones vegetativas; lo mismo sucede con otras enfermedades crónicas como el asma bronquial, enfermedad del sistema respiratorio vinculada estrechamente con el sistema inmunitario, en la que la regulación nerviosa tiene un importante papel.

El hambre y las palpitaciones son sensaciones que responden a alteraciones en determinados sistemas de órganos (digestivo y cardiovascular), pero su expresión y control se realiza también a través del sistema nervioso vegetativo.

De la misma forma, los fenómenos vinculados con la reproducción están íntimamente relacionados con las funciones vegetativas y con la autorregulación. Por ejemplo, el encuentro con el ser amado generalmente provoca diferentes sensaciones, vinculadas a las funciones vegetativas que se generan por procesos de regulación nerviosa (sistema nervioso

vegetativo), endocrina (liberación de hormonas por las glándulas suprarrenales), y hasta pueden estimular la secreción de citoquinas y anticuerpos por parte del sistema inmune; esto demuestra la integridad funcional del organismo.

Comprueba lo aprendido

1. Escoge un ejemplo de un sistema viviente (célula, organismo, órgano, sistema de órganos) y explica las relaciones estructura-propiedades-funciones que en este tienen lugar, y cómo se relaciona con el medio ambiente.

2. Explica las relaciones que se establecen entre los diferentes componentes de cada uno de los siguientes sistemas vivientes:

- célula eucariota de una planta de guayaba
- hoja de una planta de caña de azúcar
- paramecio
- organismo de una mariposa
- organismo de una palma real.

3. Explica las relaciones que existen entre las funciones de autorregulación y las funciones vegetativas.

4. Explica las relaciones que se manifiestan entre la reproducción y la herencia, durante la perpetuación de la vida.

5. Argumenta el siguiente planteamiento: "Entre los niveles molecular, celular, y de organismo, se manifiestan relaciones que explican las causas de diferentes enfermedades". Escoge un ejemplo y demuestra la veracidad de ese planteamiento.

6. ¿Cómo se puede demostrar de manera experimental que en los organismos se establece un intercambio de energía, sustancias, e información con el medio ambiente?

7. ¿Por qué se puede afirmar que el metabolismo es la base de todas las funciones del organismo?

8. ¿Qué vínculos existen entre los procesos moleculares de la herencia y las funciones de autorregulación? ¿Qué relaciones tienen con las funciones vegetativas?

9. Diga tres medidas que se deben tener en cuenta de manera priorizada, para mantener la integridad biótica de nuestro organismo. Arguméntalas en cada caso.

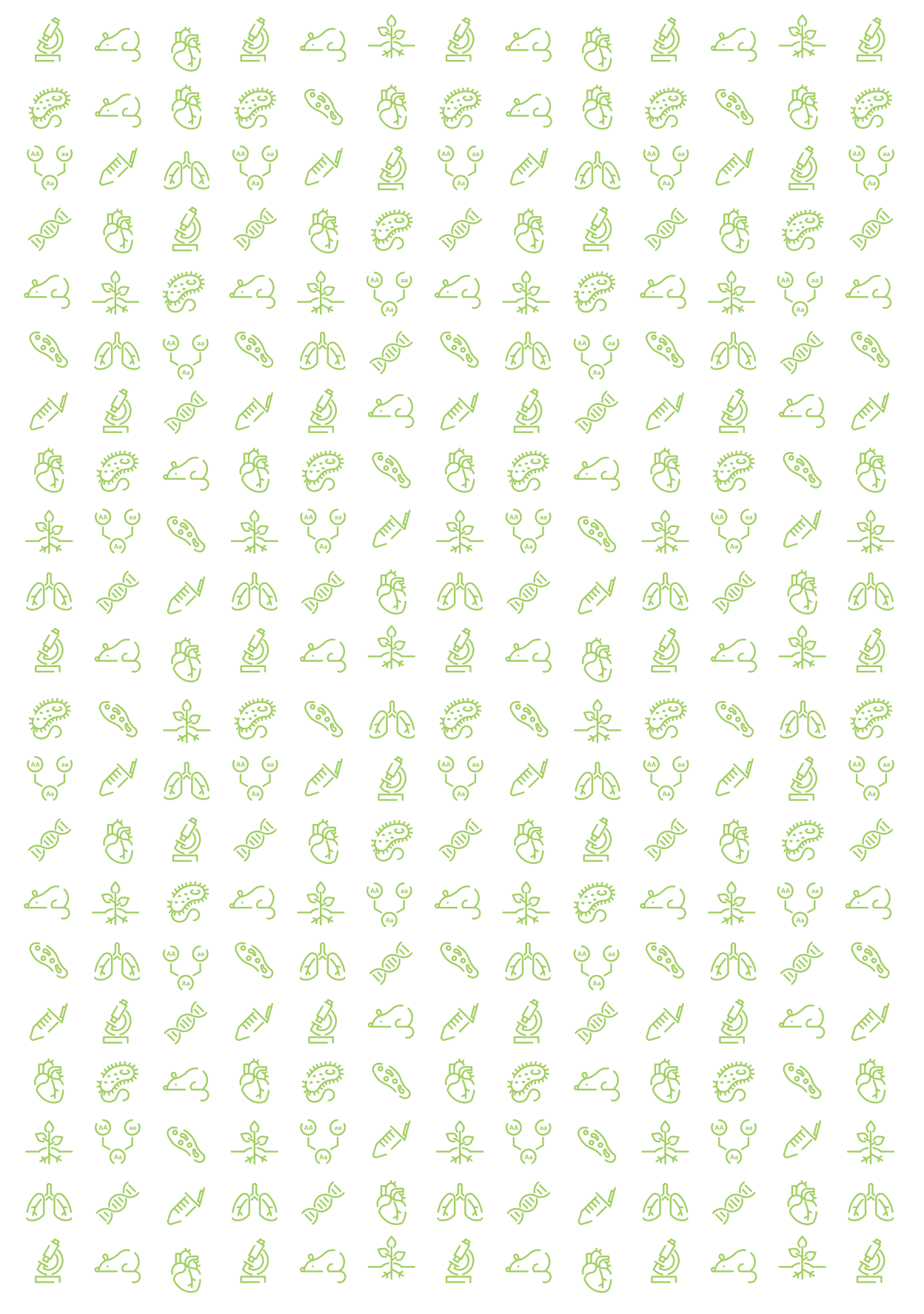
Desafíos

1. Ante la presencia de un depredador, un animalito del bosque lanza una carrera que le permite huir y esconderse en un refugio. Analiza en este ejemplo cómo se integran las diferentes funciones del organismo animal, que le permiten realizar esta respuesta adaptativa. Debes tener en cuenta las funciones de regulación y las vegetativas, y referirte a los diferentes niveles de organización involucrados.

2. Un individuo adicto al consumo de diferentes portadores de sustancias tóxicas (alcohol, cigarro o drogas), puede presentar graves trastornos en su integridad biótica que afecten su salud y sus relaciones sociales. Argumenta este planteamiento.

3. Selecciona una enfermedad común en la población y analiza cómo entre sus causas se evidencia pérdida de la integridad biótica del organismo. Ten en cuenta los tres aspectos que se integran en este concepto.

4. La integridad del organismo es necesaria en la conservación de la biodiversidad de especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Argumenta este planteamiento a partir de los conocimientos adquiridos hasta el momento en el preuniversitario. Ilústralo a través de un ejemplo.



GLOSARIO

Agricultura de conservación: sistema de cultivo que fomenta una mínima alteración mecánica del suelo, el mantenimiento de una cobertura permanente en estos, y la diversificación de los cultivos; esta realza la biodiversidad y los procesos bióticos naturales por encima o debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua, una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, y con ello la mejora y sostenibilidad de la producción vegetal.

Agricultura sostenible o sustentable: es aquella práctica que contribuye a mejorar la calidad ambiental, satisfacer las necesidades básicas de fibra y alimento humanos, es económicamente viable, y mejora la calidad de vida del productor y la sociedad.

Antígeno: sustancia propia o ajena al organismo, que desencadena la síntesis de anticuerpos y puede causar una respuesta inmunitaria.

ATP: nucleótido trifosfato de adenosina, molécula que participa en la transferencia energética que tiene lugar en el metabolismo celular.

Autorradiografía: técnica que utiliza isótopos radiactivos como marcadores que al ser añadidos a una célula o molécula, es posible rastrear su localización cuando sus emisiones radiactivas impresionan una placa fotográfica.

Autosomas: cromosomas somáticos, no sexuales, que forman parte del cariotipo.

Auxinas: fitohormonas que intervienen regulando el desarrollo y crecimiento del organismo vegetal, esencialmente, provocando la elongación de las células.

Autoinmunidad: respuesta inmunitaria del organismo contra alguno de sus propios componentes.

Autorregulación: función que permite al organismo utilizar la información recibida desde el interior o el exterior, en la modulación de su funcionamiento interno, y responder con el mantenimiento de la homeostasia y la adaptación a las cambiantes condiciones del medio ambiente.

Balance fitohormonal: interrelación entre las diferentes concentraciones de fitohormonas en un momento determinado del desarrollo de un vegetal.

Bipartición: división celular en la que la célula se escinde en dos partes y cada una origina a un individuo.

Cambio climático: transformaciones que se producen en los parámetros climáticos como resultado del calentamiento global.

Carboxilación: reacción entre una molécula orgánica y el dióxido de carbono, en la que el átomo de carbono se incorpora a dicha molécula.

Células excitables: células nerviosas y musculares que poseen la propiedad de excitabilidad.

Cefalización: proceso del desarrollo en el cual se alcanza el predominio de un ganglio en la región cefálica, que coordina el funcionamiento del resto.

Centralización: concentración de ganglios hacia el interior del cuerpo creando un esbozo del sistema nervioso central, ocurrido durante el desarrollo.

Cibernética: ciencia que estudia los sistemas de comunicación y de regulación automática de los seres vivos, y los aplica a sistemas electrónicos y mecánicos que se parecen a ellos.

Citoquinas: proteínas reguladoras secretadas por las células del sistema inmunitario, constituyendo señales que provocan determinadas reacciones inmunitarias entre otras funciones más generales en el cuerpo, como

el crecimiento, la reparación y la activación celular. Entre estas se destacan los interferones y las interleucinas.

Citocromos: proteína coloreada que contiene hierro, y participa en la fotosíntesis y en los procesos de respiración celular, propiciando la transferencia de electrones en ciertas reacciones redox durante el metabolismo.

Citoquininas: hormona vegetal (fitohormona) que promueve la división y la diferenciación celular. Su nombre proviene del término griego ***citokinesis***, que se refiere al proceso de división celular.

Dependencia: incapacidad de detenerse cuando se inicia el consumo de una droga, y necesidad de consumirla para poder desarrollar las actividades cotidianas.

Diploide: organismo que posee dos juegos de cromosomas homólogos en su cariotipo.

Dominancia apical: inhibición que ejerce la yema apical sobre el crecimiento de las axilares, mediante las auxinas.

Digestión: proceso de transformaciones mecánicas y químicas, en las que intervienen enzimas digestivas hidrolíticas, que degradan la materia orgánica compleja de los alimentos ingeridos, en moléculas más sencillas, permitiendo su transportación a través de las membranas.

Droga: todo fármaco o principio activo de un medicamento, elemento de origen biológico natural o producto obtenido de este por diversos métodos, o sustancia producida artificialmente, que produce efectos en el sistema nervioso central, modificando el estado de ánimo o produciendo placer.

Electroforesis en gel: técnica en la que se aplica un campo eléctrico para separar moléculas en base a su tamaño y a su carga.

Electroporación: técnica en la que se produce una perforación de la pared celular mediante la aplicación de energía eléctrica.

Enfermedad autoinmune: enfermedad provocada por una respuesta inmunitaria contra ciertas moléculas del propio cuerpo.

Enfermedad hereditaria: enfermedad resultante de la alteración del material hereditario (ADN), que se transmite a la descendencia de generación en generación, es decir, de padres a hijos.

Enfermedad congénita: enfermedad relacionada con el nacimiento, o defecto de nacimiento, producida por un trastorno durante el parto o el desarrollo embrionario.

Estructura: interrelaciones entre los componentes de un sistema, sus combinaciones y disposiciones en el espacio, la forma que adoptan, entre otros aspectos de su configuración espacial.

Excitabilidad: forma particular de la irritabilidad, que constituye la propiedad esencial de las células excitables (como las nerviosas y musculares), de detectar variaciones muy pequeñas de energía en el medio que las rodea, y responder con alteraciones de su potencial de membrana en reposo, y su metabolismo.

Fosforilación: reacción química en la cual se adiciona un grupo fosfato, de una molécula a otra.

Función: manifestación externa de las propiedades de cualquier objeto en un sistema dado de relaciones.

Funcionamiento: integración dinámica de los diferentes componentes, estructuras, propiedades, y funciones de un sistema biótico en un todo único, que responde de manera íntegra ante determinado estímulo o cambio que acontece en el medio ambiente.

Ganglionización: proceso del desarrollo en el cual las neuronas se agrupan formando ganglios con función integradora.

Gemación: forma de reproducción asexual en la que se origina una yema (conjunto de células), que crece y se puede desprender del organismo que la produce y originar un nuevo individuo independiente.

Heterocromosomas: cromosomas sexuales.

Hibridación: formación de híbridos, organismos heterocigóticos constituidos por combinaciones de alelos diferentes que determinan ciertos caracteres.

Hidrogenación: tipo de reacción química (redox) cuyo resultado final visible es la adición de dihidrógeno (H_2) a otro compuesto.

Hidrólisis: ruptura de la molécula de agua; desplazamiento del equilibrio químico del agua, producida al menos, por uno de los iones de una sal disuelta.

Hipersensibilidad: sensibilidad exagerada ante un antígeno determinado, lo que puede provocar reacciones alérgicas.

Homocigótico: combinación de genes alelos en los que ambos poseen igual característica (dominancia o recesividad).

Impulso nervioso: señal eléctrica que se trasmite por las neuronas, en la que se encuentra codificada una información sensitiva o motora.

Inmunidad: propiedad de los seres vivos que les permite reconocer aquellos sistemas o elementos ajenos a sí mismos y responder ante estos, neutralizándolos o eliminándolos.

Inmunoglobulinas (Ig) o anticuerpos: proteínas de defensa inmunitaria sintetizadas por linfocitos B, que al combinarse con determinados antígenos, activan procesos moleculares y los neutralizan.

Inmunosupresor: propiedad de algunas sustancias de inhibir la reacción inmunitaria, por lo que son utilizados en el tratamiento de enfermedades autoinmunes, en reacciones alérgicas graves, y en los trasplantes de órganos.

Integridad biótica: propiedad de los sistemas vivientes, dada por las relaciones, interacciones o nexos, que existen entre los objetos y fenómenos de la vida.

Isótopos radiactivos: átomos con mayor cantidad de protones en su núcleo, por lo que emiten radiactividad.

Ligasas: enzimas de síntesis que catalizan la reacción de unión de nucleótidos.

Linfocitos: tipo de glóbulo blanco de pequeño tamaño y núcleo redondeado, normalmente presente en la sangre y en los tejidos linfáticos, cuyas funciones están relacionadas con los procesos de defensa inmunitaria del organismo.

Macrófagos: tipo de glóbulos blancos de gran tamaño localizados en los tejidos, cuya función es ingerir y destruir (mediante fagocitosis) bacterias, células dañadas y eritrocitos gastados.

Medio interno: espacio interior de un organismo, con el que los componentes del sistema (orgánulos o células) establecen el intercambio de sustancias, energía e información.

Memoria: función del cerebro de codificar, almacenar y recuperar la información del pasado, que surge como resultado de las conexiones sinápticas repetitivas entre las neuronas, en forma de redes neuronales.

Metilación: adición de un grupo metilo a una biomolécula.

Modelo: representación (idealizada o materializada) de un objeto real, que se concibe durante la investigación para caracterizarlo, y sobre esa base darle solución a un problema planteado.

Modulador: componente del patrón de autorregulación que procesa la información y elabora la respuesta adaptativa.

Monohíbrido: tipo de híbrido resultante de un cruzamiento genético, en el cual se presenta una combinación heterocigótica de genes alelos, considerando un solo carácter. También se alude al tipo de cruzamiento en el cual se originan estos híbridos.

NAD+/ NADH: formas oxidada y reducida, respectivamente, del dinucleótido de nicotinamida y adenina, que es una coenzima que transfiere electrones.

NADP+/ NADPH: formas oxidada y reducida, respectivamente, del fosfato de dinucleótido de nicotinamida y adenina, que es una coenzima que actúa como agente de transferencia de electrones hidrógeno.

Neurotransmisores o neuromediadores: biomoléculas secretadas por vesículas presentes en el extremo del axón de una neurona, que a través de la sinapsis transmiten información nerviosa a la neurona consecutiva, al estimular ciertos receptores de esta.

Norma de reacción: característica del genotipo, de expresar diferentes fenotipos en dependencia de las condiciones ambientales.

Oxidación: proceso electroquímico por el cual un átomo o un ion pierde electrones, con el consiguiente aumento de su número de oxidación.

Patrón organizativo: configuración de las relaciones estables entre los componentes de un sistema, que se manifiesta como una regularidad durante el proceso de investigación científica.

Polimerasas: tipo de enzimas de síntesis que catalizan la unión de monómeros, formando polímeros como los ácidos nucleicos.

Propiedad: cualidad propia, esencial y característica de algo, que permite caracterizarlo y establecer semejanzas y diferencias.

Proceso: conjunto de fases secuenciales que tienen lugar en la dinámica de los seres vivos, cuya integración hace posible una función determinada.

Potencial de membrana en reposo: diferencia de potencial eléctrico, entre el exterior (con carga positiva) y el interior (con carga negativa) de la membrana citoplasmática, cuando la célula no ha sido estimulada.

Potencial de acción: cambio en el potencial de membrana de la neurona en reposo al detectar un estímulo, en el cual se invierten las cargas a ambos lados de la misma.

Psiquis: propiedad de la materia altamente organizada, que permite el reflejo de la realidad objetiva en forma de sensaciones, percepciones, representaciones, pensamientos y sentimientos, entre otros.

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR): método para amplificar ***in vitro*** secuencias específicas de ADN (hasta millones de veces en pocas horas), mediante reacciones cíclicas que incluyen la separación de las hebras, la hibridación de los cebadores y la síntesis de ADN. Estos ciclos se repiten de manera consecutiva, modificando únicamente la temperatura de la reacción.

Redox: acrónimo de reducción-oxidación; reacción en la que hay transferencia de electrones entre los reaccionantes, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

Reducción: proceso electroquímico por el cual un átomo o un ion gana electrones, provocando la disminución de su número de oxidación.

Regeneración: forma de reproducción asexual de algunos organismos en los que se desprende de forma accidental, una parte del organismo original y a partir de ahí se pueden formar nuevos seres vivos.

Retroalimentación negativa: cuando el ajuste que provoca la retroalimentación es de sentido contrario a la respuesta inicial.

Retroalimentación positiva: cuando la respuesta provocada por la retroalimentación es del mismo sentido de la respuesta inicial.

Salud: estado de bienestar o equilibrio físico, mental, social y medio ambiental.

Sonda genética: fragmento de tamaño variable (de pocos nucleótidos como 50 pb hasta 2 kb) de ADN o ARN, que se une específicamente por complementariedad de bases, a la secuencia que se encuentra en un medio experimental junto con cientos de fragmentos más, con lo que durante un ensayo diagnóstico se puede identificar la presencia de un gen determinado.

Sustancia: componente principal de los cuerpos, que se caracteriza por un conjunto de propiedades físicas o químicas estables y homogéneas, pudiendo ser simples o compuestas, según estén formadas por uno o varios tipos de átomos respectivamente.

Telerreceptores: clase de receptores, como los de la vista y el oído, que detectan variaciones energéticas a distancia.

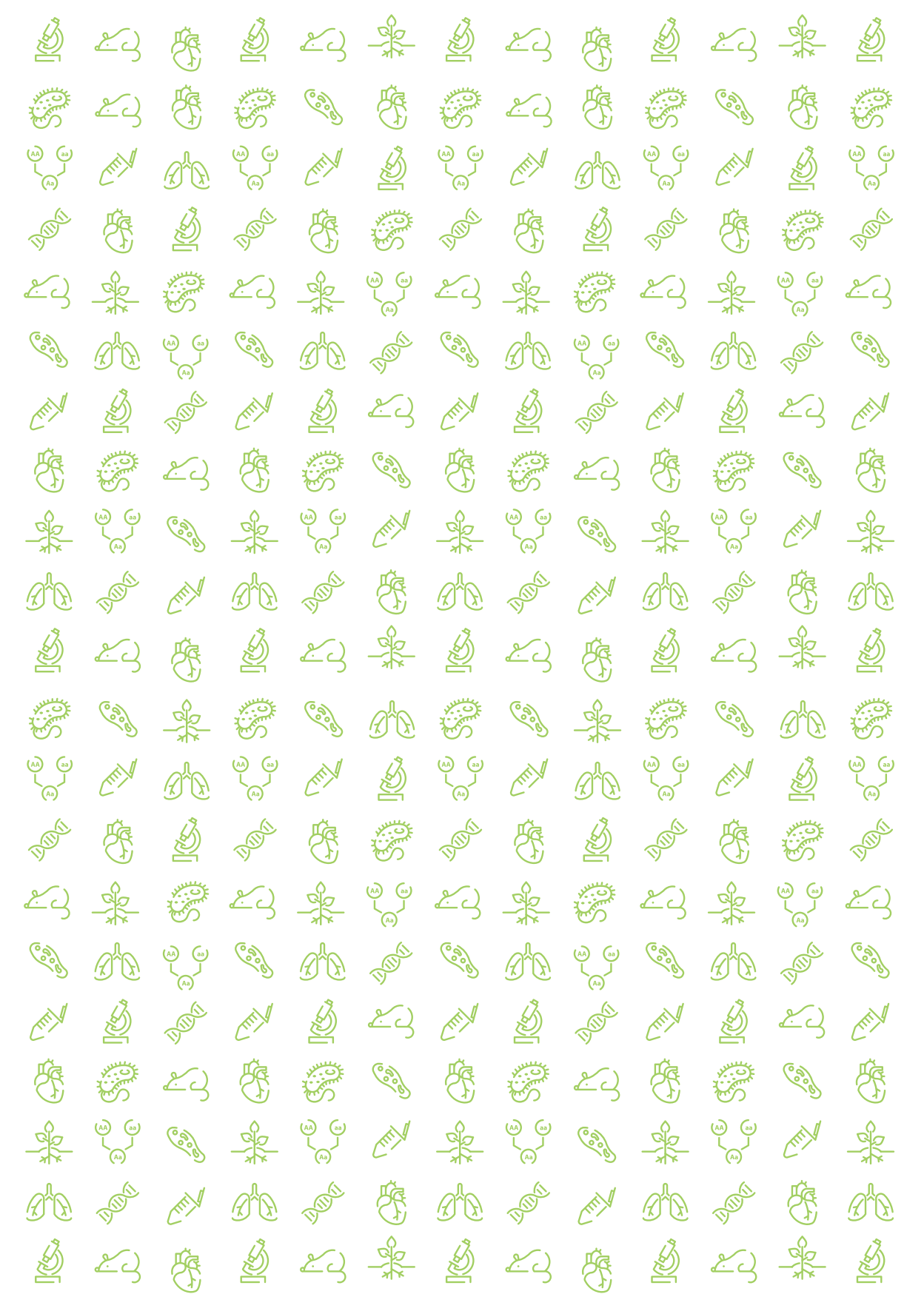
Tolerancia inmunitaria: falta de respuesta inmunitaria frente a un antígeno, inducido por la exposición previa a este.

Tropismos: fenómeno biológico de crecimiento o cambio direccional de una planta, como respuesta a un estímulo medioambiental.

Vacuna: preparado de antígeno que una vez dentro del organismo, provoca la síntesis de anticuerpos, y con ello una respuesta de defensa ante microorganismos patógenos.

Vector: agente biótico portador de otro.

Virulencia: capacidad de un agente biótico de provocar enfermedad o muerte.



BIBLIOGRAFÍA

Berovides Álvarez, V. y otros: ***Biología evolutiva***, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1995.

Bravo Matarazo, E.: "La ética del científico en Cuba", en ***Bioética desde una perspectiva cubana***, Publicaciones Acuario, Ed. Félix Valera, [s. a.].

Griffiths, A. J. F. y otros: ***Genética***, Ed. Mc Graw Hill Interamericana, México, [s. a.].

Jardinot Mustelier, L. R.: ***Integridad biótica: Una explicación holística de la vida en sus diferentes niveles de organización***, Ed. Científico Técnica, La Habana, 2019.

Jardinot Mustelier, L.R.: ***Biología Educativa en la Escuela Media. Teoría y Metodología para su Dirección Pedagógica***. Ed. Ediciones UO, Santiago de Cuba, 2022.

Jardinot Mustelier, L.R. y otros: ***Biología*** 4 10º grado. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 2023.

Jenkins, L.: ***Genética***, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 1982.

Jimenez Chillarón, J. C.: "Origen fetal de las enfermedades", ***Investigación y Ciencia***, no. 445, [s. n.], octubre, 2013.

Lantigua Cruz, A. y otros: ***Introducción a la genética médica***, Ed. Ciencias Médicas, La Habana, 2004.

Misteli, T.: "La vida interior del genoma", ***Investigación y Ciencia***, no. 415, [s. n.], abril, 2011.

Moore, R.: ***La vida y su estructura***, Ed. Labor S. A., Barcelona, 1963.

Pierce, B. A.: ***Genetics. A Conceptual Aproach***, 4ª edition, Ed. Freeman and Company, New York, 2012.

Porilla Fabregar, N., A. Otazo Sánchez y F. Coro Antich: ***Fisiología del medio interno***, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1986.

Skinner, M. K.: "Un nuevo tipo de herencia", ***Investigación y Ciencia***, no. 457, [s. n.], octubre, 2014.

Silvestre Oramas, M. y otros: ***Biología General*** 3. 12º grado, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1979.

Sinnot, E. W., L. C. Dunn y T. Dobzhansky: ***Principios de genética***, Ed. Omega, Barcelona, 1975.

Solomon, E. P., L. R. Berg Y Martin D. W.: ***Biología***, 9ª edición, Ed. Cengage Learning Editores, S. A. de C. V., México, 2013.

Strickberger, M. W.: ***Genética***, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1981.

Sturtevant A. H. Y T. H. Morgan.: ***Una historia de la genética*** (traducción al español de A history of genetics, 1965) (s.e.)

Zilberstein Toruncha, J. y otros: ***Biología*** 5. t 1. 12º grado, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1991.

EDITORIAL
PUEBLO Y EDUCACIÓN

9 789591 348135