



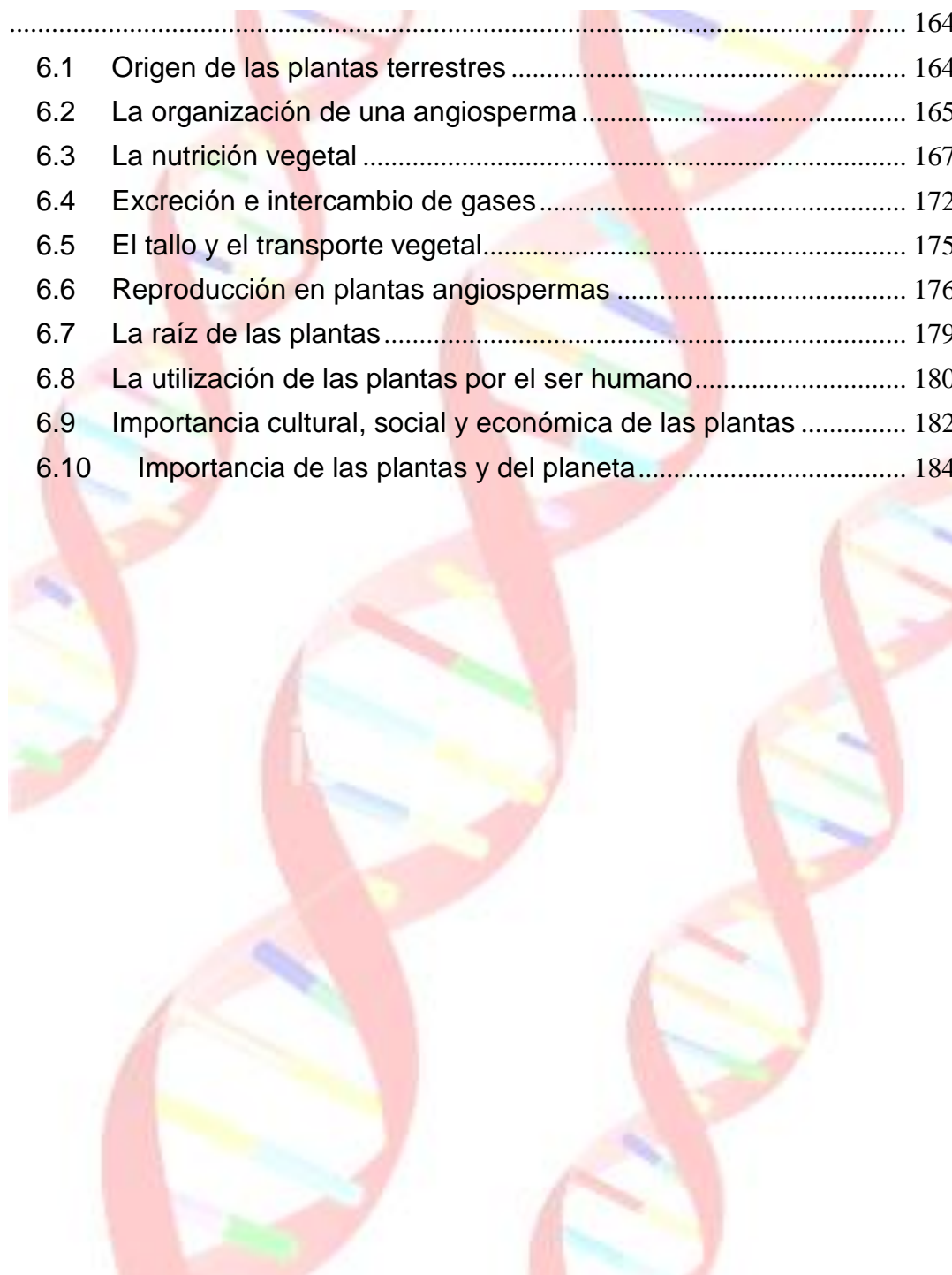
Biología 2

INDICE

BLOQUE 1	5
TIPOS DE REPRODUCCIÓN CELULAR Y DE LOS ORGANISMOS; PROCESOS QUE PERMITEN PERPETUAR LA VIDA.	5
1.1 La reproducción es un proceso común en todos los seres vivos. ...	5
1.2 El ADN, estructura fundamental de los cromosomas.....	6
1.3 Estructura del ADN.....	9
1.4 Replicación del ADN	12
1.5 El ADN, el ARN y la síntesis de proteínas.....	13
1.6 Las proteínas son esenciales para la célula	16
1.7 Los cromosomas: su estructura y su importancia.....	20
1.8 Reproducción celular y en organismos.....	22
1.9 Avances científicos-tecnológicos que han permitido mejorar la calidad de vida.....	23
1.10 La fecundación interna y externa de los organismos.....	24
1.11 Reproducción sexual, meiosis y gametogénesis.....	27
1.12 La mitosis y la reproducción asexual.....	31
1.13 Ventajas de la reproducción sexual y asexual	33
BLOQUE 2	35
PRINCIPIOS DE LA HERENCIA	35
2.1 Aportaciones de Mendel en el campo de la Genética	35
2.2 Primera Ley de Mendel sobre la segregación	39
2.3 Segunda Ley de Mendel sobre la recombinación independiente..	41
2.4 La retrocruza es un cruzamiento de prueba	44
2.5 Herencia postmendeliana.....	45
2.6 Teoría cromosómica de la herencia	47
2.7 Genes ligados	48
2.8 Mutaciones.....	50
2.9 Desórdenes genéticos en los seres vivos	53

BLOQUE 3.....	56
IMPLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA VIDA MODERNA.....	56
3.1 Biotecnología.....	56
3.2 Campos de aplicación.....	59
3.3 Bioética.....	69
BLOQUE 4.....	72
EVOLUCIÓN.....	72
4.1 La evolución y sus evidencias.....	72
4.2 Primeras ideas sobre la evolución.....	79
4.3 Teoría de Darwin-Wallace.....	81
4.4 La Genética y la evolución.....	83
4.5 Concepto de poza genética.....	87
4.6 Origen de las especies.....	97
BLOQUE 5.....	101
PROCESOS BIOLÓGICOS QUE SE LLEVAN A CABO EN SERES HUMANOS Y EN ORGANISMOS SEMEJANTES.....	101
5.1 La organización del ser humano.....	101
5.2 Los tejidos del ser humano.....	100
5.3 Sistema tegumentario y su función.....	104
5.4 Sistema muscular y su función.....	107
5.5 Sistema esquelético y sus funciones.....	110
5.6 Sistema digestivo y sus funciones.....	112
5.7 Sistema circulatorio o de transporte.....	116
5.8 Sistema respiratorio.....	121
5.9 Sistema excretor o urinario.....	126
5.10 Sistema nervioso.....	131
5.11 Sistema endocrino.....	139
5.12 Reproducción y desarrollo.....	145
5.13 La dinámica de control de los sistemas humanos.....	154
5.14 Homeostasis.....	157
5.15 Órganos o sistemas presentes en organismos de diferentes especies que tienen funciones semejantes al ser humano.....	159

BLOQUE 6.....	164
LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS PARA TODOS LOS SERES VIVOS	164
6.1 Origen de las plantas terrestres	164
6.2 La organización de una angiosperma	165
6.3 La nutrición vegetal	167
6.4 Excreción e intercambio de gases	172
6.5 El tallo y el transporte vegetal.....	175
6.6 Reproducción en plantas angiospermas	176
6.7 La raíz de las plantas.....	179
6.8 La utilización de las plantas por el ser humano.....	180
6.9 Importancia cultural, social y económica de las plantas	182
6.10 Importancia de las plantas y del planeta.....	184





BLOQUE 1

TIPOS DE REPRODUCCIÓN CELULAR Y DE LOS ORGANISMOS; PROCESOS QUE PERMITEN PERPETUAR LA VIDA.

UNIDAD DE COMPETENCIA

Reconoce la reproducción de los organismos como un mecanismo mediante el cual perpetúan los seres vivos, identificando a la reproducción celular asexual como la base para la conservación de las características del organismo, y a la reproducción celular sexual como la base para la conjugación de las características de la especie, considerando las implicaciones de las desviaciones que estos procesos pueden presentar como es el caso del cáncer.

1.1 La reproducción es un proceso común en todos los seres vivos.

¿Qué tipo de reproducción es más ventajosa, la asexual o la sexual?

La **reproducción** es el proceso biológico mediante el cual los seres vivos engendran y producen otros seres con sus mismas características biológicas; es decir, sus descendientes. Gracias a la reproducción y a la herencia, los organismos permanecen en el planeta y se perpetúan: mediante la reproducción a partir de uno o dos progenitores se multiplican, y con la herencia mantienen sus cualidades como especie.

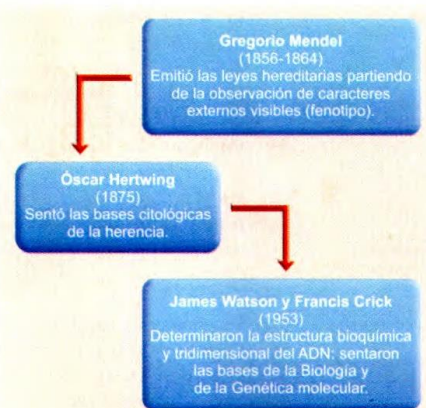
Para que la reproducción se lleve a cabo es necesario que el organismo sobreviva hasta alcanzar la madurez; de esa forma, produce seres

parecidos a su progenitor o progenitores. Existen dos formas de reproducción: **sexual** y **asexual**; pueden ser tan simples como una fisión de células, y otras tan complejas como la reproducción en plantas y animales superiores, que implica varios fenómenos: transferencia de material genético a los hijos, la **oogénesis**, la **espermatogénesis**, la **fecundación**, la **formación del cigoto**, la diferenciación y el desarrollo del organismo hasta su etapa adulta; sin embargo, cada tipo de reproducción tiene sus propias ventajas y desventajas.

1.2 El ADN, estructura fundamental de los cromosomas

Hacia 1953, **Watson** y **Crick** establecieron las bases moleculares de la transmisión hereditaria (genes, ADN), las cuales vendrían a conformar y explicar el fundamento bioquímico que necesitaban los conocimientos proporcionados por Mendel (a partir de la observación de caracteres fenotípicos visibles: color, altura, textura, etc.) y que son la base de la Biología molecular (**Esquema 1.1**).

La **Biología molecular** nació de la interacción lógica entre la Física, la Química y la Biología, cuando, en 1953, se descubrió la composición química del ADN y su estructura tridimensional. A partir de entonces ha recibido el auxilio profundo y permanente de disciplinas como la Fisiología, la Genética, la Microbiología y la Bioquímica; con esto se pudo abrir la posibilidad de estudiar la Biología de los organismos desde el punto de vista de su composición, acción, conformación de sus moléculas, etcétera.



Esquema 1.1 Evolución de la Genética y de la Biología molecular.

La Biología molecular es el estudio de los organismos, desde el punto de vista molecular, en cuanto a su composición, fisiología, herencia, etcétera.

Esta nueva visión de la Biología de los organismos ha permitido que, a la fecha, haya sido posible entender algunos aspectos importantes del origen de la vida y fenómenos como: la síntesis de proteínas, la fotosíntesis, el metabolismo, los mecanismos hereditarios, el impulso nervioso, etcétera.

Durante el siglo XIX la investigación de la estructura y función de la célula (**Citología**) y el estudio de la herencia (**Genética**) constituían dos ramas separadas; al comienzo del siglo XX, cuando se comprendió la gran

importancia de los experimentos de Mendel, ambas ciencias empezaron una fructífera colaboración.

Composición del ADN y del ARN

Los **ácidos nucleicos** son las macromoléculas que determinan el crecimiento y desarrollo de todas las formas de vida. Se clasifican en dos tipos: **ADN** (ácido desoxirribonucleico) y **ARN** (ácido ribonucleico). Fueron descubiertos a finales del siglo XIX por el bioquímico suizo **J. F. Miescher**, quien, al trabajar inicialmente con células de pus y después con esperma de salmón, encontró sustancias ácidas asociadas con las proteínas de los núcleos celulares. El material fue extraído con soluciones básicas y acidificado en pasos posteriores hasta obtener un precipitado fibroso, el cual analizó en su laboratorio, y encontró una composición de átomos de carbono, nitrógeno y fósforo completamente distintos a los carbohidratos, grasas y proteínas definidas en aquel entonces. Por ser sustancias ácidas, asociadas a los núcleos, recibieron el nombre de ácidos nucleicos.

Los ácidos nucleicos están constituidos por tres elementos:

- a) **Pentosa (azúcar de 5 carbonos)**. Para formar el ARN, el azúcar presente es la **ribosa**; de allí el nombre de **ácido ribonucleico**. Para el ADN es la 2-desoxirribosa; por eso recibe el nombre de **ácido desoxirribonucleico**. La diferencia implica un oxígeno menos en la desoxirribosa en la posición 2 (**Figura 1.1**).

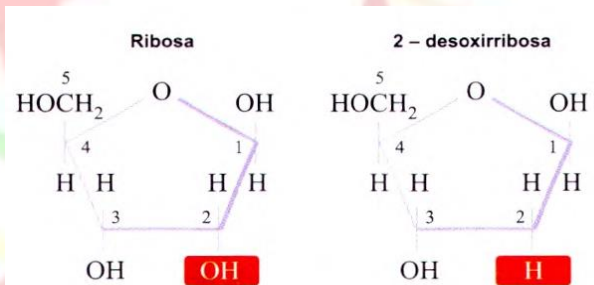


Figura 1.1 Estructura de la ribosa y la desoxirribosa.

- b) **Bases nitrogenadas**. En el ADN son bases débiles; dos de ellas, la **adenina** (A) y la **guanina** (G), son derivados de la purina. Las otras dos, la **citocina** (C) y la **timina** (T), son derivados de la **pirimidina**. Estas mismas bases se encuentran en el ARN, a excepción de la timina, que es sustituida por el uracilo (U). En la **Figura 1.2** se muestran todas ellas.

Los elementos constituyentes de estas moléculas fueron extraídos de fuentes muy distintas. La primera base nitrogenada aislada fue la **guanina**, a partir del excremento o guano de las aves, y de allí su nombre; la segunda se extrajo del páncreas de bovino y se llamó adenina; la tercera se obtuvo a partir de la glándula del timo de aves y se llamó **timina**; el **uracilo**, de la levadura y de algunas especies de trigo, y, finalmente,

alrededor del año 1900, se aisló la **citósina**. Las dos primeras bases guardan una relación muy estrecha con el ácido úrico y la urea, por lo cual se conocen como **bases púricas**; las tres últimas, con la **pirimidina**, por lo cual se conocen como **bases pirimídicas**.

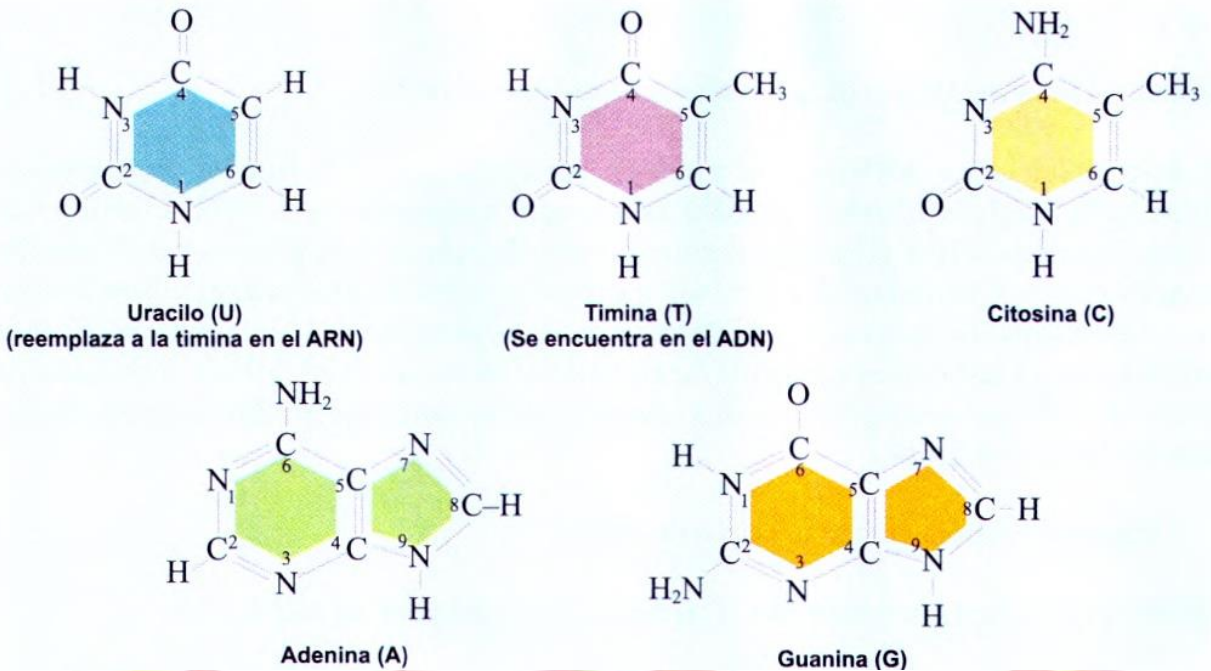


Figura 1.2 Bases nitrogenadas constituyentes del ADN y el ARN

- c) **Ácido fosfórico**. Se define como un éster fosfórico que une dos azúcares para formar la cadena del ADN o ARN (**Figura 1.3**).

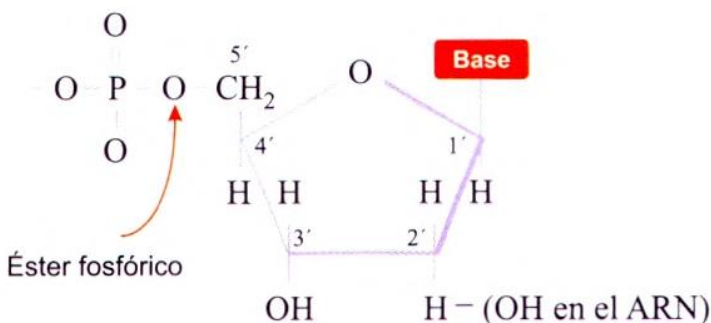


Figura 1.3 Ácido (éster) fosfórico.

Los nucleótidos, tanto en el ADN como en el ARN, se unen por puentes fosfodiéster para formar polinucleótidos. La base nitrogenada se une al azúcar con un enlace covalente, llamado n-glucosídico; y el fosfato con el azúcar, mediante un enlace

covalente de tipo fosfodiéster. Las bases nitrogenadas están unidas por puentes de hidrógeno.

Detalles sobre la estructura del ARN

El ácido ribonucleico (ARN) está formado por cadenas de **nucleótidos** unidos entre sí, en una disposición lineal. Se diferencia del ADN en los siguientes aspectos: en el ARN el azúcar es la ribosa. No existe la base pirimídica timina sino **uracilo**, que se complementa con la adenina; el ADN existe en los núcleos de las células eucarióticas; el ARN existe tanto en el núcleo como en el citoplasma. La función del ADN es la de ser el portador de la información genética, mientras que el ARN interviene como mediador en la ejecución de las órdenes codificadas del ADN. **El ADN posee una doble cadena (dicatenario), en tanto que el ARN tiene una cadena sencilla (monocatenario).**

Según su función, existen tres tipos de ARN:

ARNm (mensajero), que transcribe la secuencia de nucleótidos del ADN.

ARNt (de transferencia o transferente), que transporta los aminoácidos y los coloca en el orden de ARNm.

ARNr (ribosomal), unido a ciertas proteínas forma los ribosomas, organelos donde se lleva a cabo la síntesis de proteínas.

1.3 Estructura del ADN

Modelo de Watson y Crick

El **ADN** es un ácido nucleico de doble filamento; unidas en su estructura se hallan íntimamente asociadas entre sí dos cadenas de polinucleótidos, mediante enlaces de hidrógeno.

Para entender la importancia que guarda para la biología contemporánea el modelo postulado por **Watson** y **Crick** sobre la molécula de ADN, es necesario situarnos a principios de la década de los cincuenta del siglo XX y considerar todo lo conocido sobre los ácidos nucleicos hasta ese momento.

Inicialmente, varios trabajos habían demostrado que el ADN es el material genético y que la composición de sus bases nitrogenadas es distinta en las diferentes especies. Por ejemplo, se pudo determinar que en el ADN humano existe 31% de adenina, contra 25% en la bacteria *Escherichia coli*. Las proporciones de bases nitrogenadas permanecen iguales en todas las células de una misma especie, mientras que en las de especies diferentes tendrán porcentajes propios.

En principio, **Erwin Chargaff** y sus colaboradores encontraron ciertas «regularidades» acerca del contenido normal del ADN. Mediante cuidadosos estudios hallaron que el número de moléculas de la base adenina (A) es siempre igual al número de moléculas de la base timina (T), y que el número de moléculas de la base guanina (G) siempre es igual al número de moléculas de la base citosina (C). Por ejemplo, en el ADN humano, A y T conforman 30% del total de bases, y G y C constituyen 20%. Asimismo, dieron a conocer unas reglas, llamadas **Reglas de Chargaff**, las cuales se resumen a continuación:

1. La composición básica del ADN de un organismo es constante para todas las células somáticas de ese organismo, y también es característica para una especie dada.
2. Las composiciones de bases que se conocen varían en forma considerable de un organismo a otro. Esto se expresa claramente mediante la relación disimétrica, lo que significa que siempre se asocia A-T y C-G y ambos binomios se igualan a la unidad $(A + T) / (G + C)$. En otras palabras, la composición básica distinta entre los organismos se refleja en la variación de su relación **disimétrica**.
3. Los organismos, íntimamente relacionados, suelen tener composiciones semejantes y, por tanto, los valores de sus relaciones disimétricas son muy parecidos.
4. La cantidad de adenina del ADN de un organismo dado siempre es igual a la cantidad de timina ($A = T$), pues recordemos que son complementarias.
5. La cantidad de guanina de un cierto organismo en el ADN es siempre igual a la cantidad de citosina ($C = G$).
6. La cantidad total de bases púricas en el ADN es igual a la cantidad de bases pirimídicas ($A + G = T + C$).

Posteriormente, **Maurice Wilkins** y **Rosalin Franklin**, utilizando técnicas de difracción de rayos X para conocer mejor la estructura tridimensional del ADN, establecieron que éste posee una estructura muy ordenada, en forma similar a como se presentan las proteínas. No obstante, no pudieron observar los átomos individuales de la molécula de ADN.

James D. Watson y **Francis Crick** tuvieron, en 1953, una idea que, prácticamente, resolvió los problemas para explicar la replicación y la

estructura del ADN. La idea de Watson y Crick fue que la adenina puede formar dos enlaces de hidrógeno con la timina, y la guanina puede crear tres enlaces de hidrógeno con la citosina, como se muestra en la **Figura 1.5**.

Este emparejamiento específico de bases opuestas se llama **complementariedad**. De esta manera, Watson y Crick dedujeron que el emparejamiento de bases complementarias por la formación de enlaces de hidrógeno explicaría la observación de Chargaff mediante la cual se encuentra una igualdad entre adenina y timina, y también entre guanina y citosina.

Además, después de varios intentos, descubrieron que estos dos criterios los cumplía una molécula de ADN de dos hebras en la cual los esqueletos de las hebras están enrollados en una doble hélice (**Figura 1.6**).

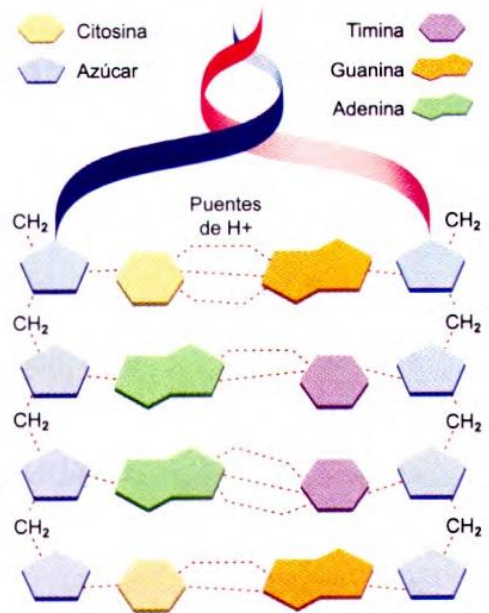


Figura 1.5 Emparejamiento específico de bases nitrogenadas.

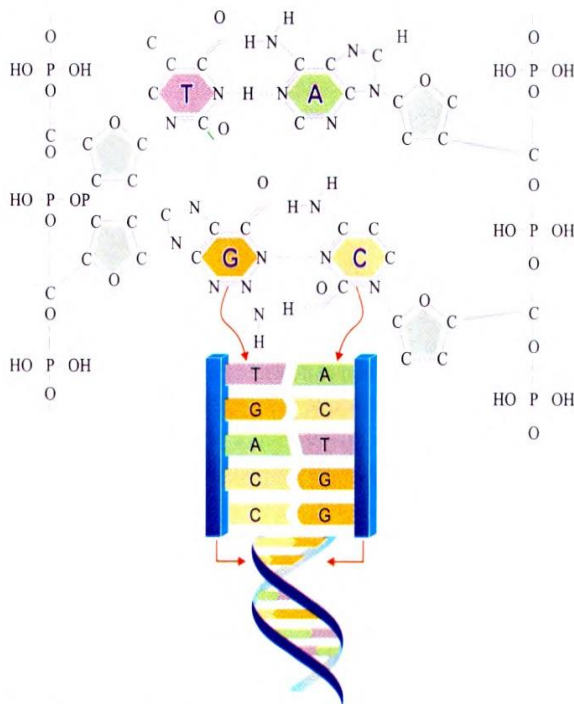


Figura 1.6 Modelo de doble hélice.

Las cadenas complementarias (hebras) del ADN tienen direcciones opuestas, como si se tratase de un doble sentido; es decir, se trata de hebras antiparalelas. Las unidades de azúcar fosfatado del nucleótido se encuentran en el exterior de la molécula, con los pares de bases nitrogenadas complementarias limpiamente ajustados en el interior (en forma de peldaños de una escalera). Los enlaces de hidrógeno entre los pares de bases mantienen unida la doble hélice. Las bases nitrogenadas conforman los peldaños de la doble hélice del ADN.

El modelo de la doble hélice del ADN es muy importante porque, primero, explica algunas propiedades físicas del ADN y, segundo, sugiere una forma de describirlo.

1.4 Replicación del ADN

Después de la mitosis o división celular, las células hijas deben tener su propio material genético; este material **proviene de la duplicación o replicación del ADN de las células progenitoras**.

El ADN como portador de información

Cuando una molécula de ADN se duplica, la escalera de la doble hélice se parte en el centro de cada peldaño y nuevos nucleótidos del tipo apropiado, provenientes del citoplasma, ocupan su lugar a lo largo de cada banda. Así, cada molécula nueva contiene la mitad de la molécula original.

Si las secuencias de las bases del filamento de ADN contienen la información hereditaria, la **biosíntesis** de nuevas moléculas de ADN debe tener lugar de tal forma que se preserve esta secuencia de bases y, así, se conserve la información para distribuirla a las células hijas.

Watson y Crick no tardaron en proponer un modelo para la replicación del ADN, el cual fue del tipo semiconservador. Para explicar la duplicación (replicación) del ADN se han propuesto tres mecanismos: **conservativo**, **semiconservativo** y **dispersivo**. En el primer mecanismo, el dúplex se reproduce como conjunto; uno de los duplicados hijos es el progenitor; el otro es completamente nuevo. En el segundo mecanismo, cada cadena sirve como plantilla para la producción de otra complementaria. En este modelo cada uno de los duplicados hijos está compuesto de dos partes: una cadena es progenitora, la otra es nueva. Fue ésta la hipótesis adelantada por Watson y Crick en 1953. Finalmente, en el mecanismo dispersivo no se conserva la identidad de las cadenas porque trozos de las cadenas progenitoras se dispersan entre los duplicados resultantes.

El **mecanismo de la duplicación** del ADN sugerido por Watson y Crick implica el desenrollamiento de las dos cadenas de polinucleótidos y la copia de dos nuevas cadenas complementarias por medio del mecanismo de moldeado (molde o plantilla como base).

Con todos los estudios de laboratorio hechos, se concluyó que la propuesta de Watson y Crick era la correcta, pues pensaron que durante la duplicación del ADN (la cual ocurre durante la interfase de la mitosis), **los**

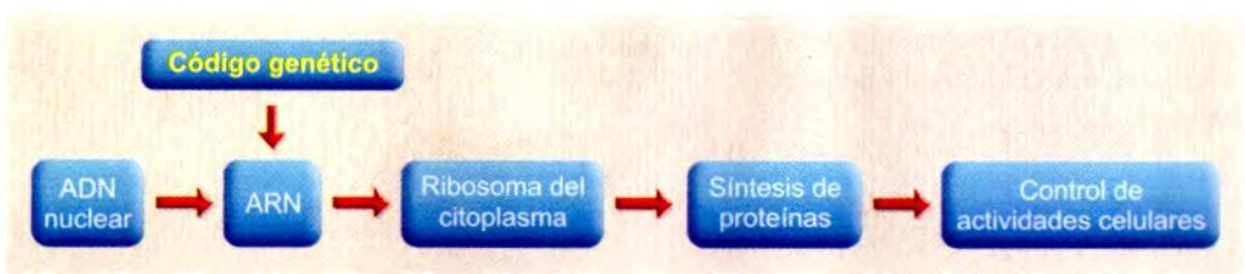
dos filamentos se desenrollan y cada uno actúa como molde para la formación de un nuevo filamento complementario. De esta forma se generan dos nuevos filamentos complementarios a los dos filamentos progenitores. Conforme empiezan a formarse las nuevas moléculas hijas, toman la configuración en espiral de la molécula progenitora.

1.5 El ADN, el ARN y la síntesis de proteínas

El **mensaje genético** se origina en los tripletes o codones del ADN nuclear; sin embargo, el ADN no sale del núcleo al citoplasma a repartir la información hereditaria que regula sus actividades y la de los otros componentes celulares.

Transcripción y traducción

Para iniciar el proceso de síntesis de proteínas debe ocurrir un fenómeno de **transcripción** o traspaso del mensaje genético contenido en el ADN nuclear, hacia el ARN. Así, el ARN podrá viajar a los **ribosomas**, quienes llevarán a cabo la **traducción** o **decodificación** del mensaje contenido en el código genético, para así proceder a la síntesis de una secuencia de aminoácidos correspondientes a un determinado polipéptido, lo cual lleva a la síntesis de proteínas (**Esquema 1.2**).



Esquema 1.2 Esquema general de traspaso del mensaje genético, hasta la síntesis de proteínas.

El ARN de una sola tira -que se copia y forma directamente a partir de una de las dos tiras del ADN- recibe el nombre de ARN mensajero (ARNm) pues, una vez formado, sale a través de los poros de la membrana nuclear hacia los ribosomas del retículo endoplásmico rugoso o del citoplasma. Es conveniente recordar el hecho de que la secuencia y unión de las bases nucleotídicas de los ácidos nucleicos obedece a un conjunto de afinidades entre ellos. Así se tiene que las posibles uniones entre las bases nucleotídicas sean las siguientes: A y U, T y A, G y C (**Figura 1.8**).

De esta forma, la transcripción del mensaje genético del ADN al ARNm ocurre respetando siempre el tipo de uniones complementarias antes mencionadas.

La información genética del ARNm **no es una copia exacta** del ADN, sino una **copia complementaria** del mismo.

Aparte del ARNm, se producen otras dos copias complementarias de ARN a partir del ADN: el **ARN ribosomal** (ARNr) y el ARN de transferencia (ARNt); ambos están contenidos en el ribosoma y, de una u otra forma, ayudan a que la síntesis de polipéptidos se lleve a cabo de manera ordenada y exacta. En especial, el ARNt actúa como adaptador para llevar y alinear los aminoácidos frente al ARNm.

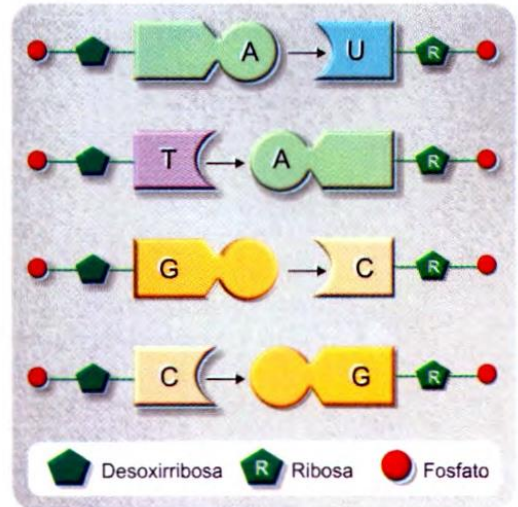


Figura 1.8 Uniones entre el nucleótido de ADN y el ARN. El ARN no tiene timina; tiene uracilo.

En concreto, el primer paso para la síntesis de un péptido (mismo que dará lugar a un **polipéptido** y después a una proteína) es la activación enzimática de un aminoácido del citoplasma y su traslado hacia una molécula de ARNt. Con esto se forma un complejo **aminoácido-ARNt** (aa-ARNt), el cual después se difunde hacia los ribosomas. Este complejo aminoácido-ARNt contiene un codón (tripleto), complementario de algún codón del ARN mensajero; por tal motivo, el tripleto del complejo aa-ARNt recibe el nombre de **anticodón**.

Una vez que el ARNm viaja del núcleo hacia el citoplasma, se une a los ribosomas y se coloca de tal manera que sus codones se acomodan adecuadamente con los anticodones del ARNt del ribosoma y ocurra el desciframiento del mensaje genético.

A medida que el ribosoma avanza sobre el ARNm descifrando el mensaje genético, se va produciendo el péptido correspondiente. Una vez terminada la lectura de una tira de ARNm, el ribosoma llega al extremo terminal del ARNm descifrado y se desprende de éste. Complementariamente, también se libera la cadena polipeptídica producida (**Figura 1.9**).

El ribosoma desprendido salta a una nueva tira del ARNm y empieza a descifrarla.

Finalmente, todos los péptidos y polipéptidos formados durante la síntesis proteica —tomando como materia prima a los aminoácidos del citoplasma— son enviados por diversas vías a cada uno de los componentes estructurales de la célula para formar parte de las proteínas de membranas, del citoplasma, de las mitocondrias, de las enzimas, etcétera.

Las principales etapas de este proceso son:

- ✚ En el **núcleo** ocurre la formación del ARNm a partir de una de las bandas que conforman el ADN.
- ✚ La molécula del **ARNm** formada lleva el mensaje genético codificado, y se mueve hacia el citoplasma a través de los poros de la membrana del núcleo.
- ✚ Una vez en el **citoplasma**, busca un ribosoma y se adhiere a él.
- ✚ El **ribosoma se mueve** a lo largo del ARNm, con lo cual los anticodones de ARNt (contenidos en el ribosoma) y los codones del ARNm se ponen en contacto y se inicia el proceso de decodificación o traducción del mensaje hereditario contenido en el ARNm; es decir, se inicia la **síntesis de proteínas**, utilizando como materia prima a los aminoácidos provenientes del citoplasma.
- ✚ Después de la síntesis, la **nueva molécula de proteína** se desprende y el ribosoma pasa a decodificar otra molécula del ARNm.

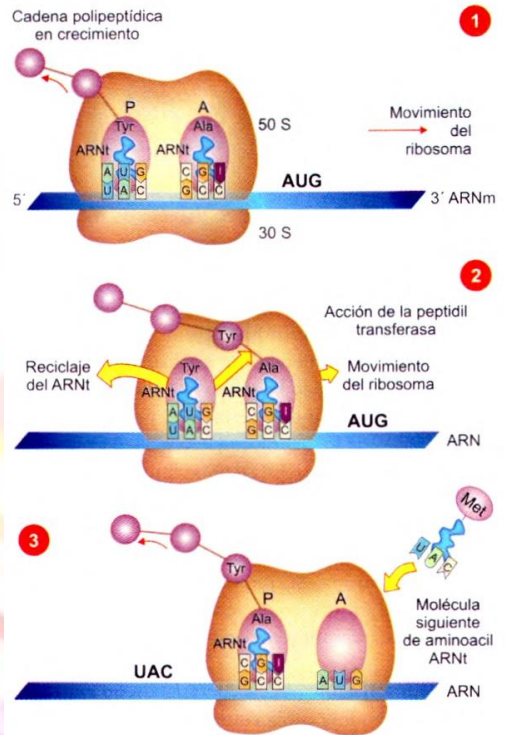


Figura 1.9 Desciframiento del mensaje genético.

En la **Figura 1.10** se esquematiza el proceso completo de la síntesis de proteínas, desde la transcripción del ADN al ARNm hasta la liberación de una cadena polipeptídica precursora de proteínas.

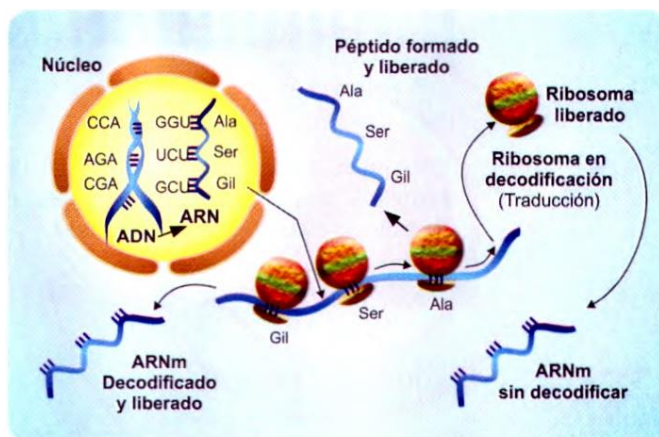


Figura 1.10 Así fabrica nuestro cuerpo las proteínas.

1.6 Las proteínas son esenciales para la célula

Las **proteínas** son los compuestos orgánicos más abundantes en la célula, pues son los componentes bioquímicos que más participan en la estructura y función celular.

Existen muchas clases de proteínas y todas ellas cumplen una función específica dentro de la célula, todas las enzimas y algunas hormonas son proteínas. Además, las membranas celulares y buena parte de los ribosomas, los cloroplastos, las mitocondrias, el citoplasma, entre otros, están compuestos por este tipo de moléculas biológicas.

Complementariamente, se tiene que, a nivel de los organismos multicelulares, las proteínas forman parte de músculos, la sangre, el pelo, el tejido, los órganos de sostén, los fluidos corporales, etc. Asimismo, desempeñan gran diversidad de funciones, pues actúan como catalizadores, moléculas estructurales, sistemas inmunológicos, reservas alimenticias, entre otras.

En resumen, la estructura y la función celular están íntimamente ligadas a las proteínas; es decir, **no puede haber vida sin ellas**

El código genético

Un código es «un conjunto de señales dispuestas, según un plan metódico y sistemático». Complementariamente, el **código genético** es el conjunto de señales o mensajes enviados por el ADN mediante procesos moleculares metódicos y sistemáticos que se traducen en caracteres de un organismo (cabello negro, ojos cafés, piel blanca, alto, delgado, calvo, etcétera).

Así es como, sin excepción, toda la información genética necesaria para

formar un conejo, una gallina, un gorila, un elefante, un árbol o un hombre con características debidas al **fenotipo** y **genotipo**, está codificada en el ADN de los núcleos de las células germinales (**óvulos** y **espermatozoides**)

Los patrones hereditarios (**el lenguaje de la vida**) que determinan todas las características de un organismo están compuestas por un lenguaje universal de sólo cuatro letras: A, G, T y C, que son las iniciales de las cuatro bases nitrogenadas llamadas **adenina**, **guanina**, **timina** y **citosa**. Estas bases son las que, a su vez, forman parte de los **nucleótidos** (*unión de una base nitrogenada, un azúcar y un grupo de fósforo*) que componen el ADN. La combinación y secuencia de estas cuatro letras conforma el código genético y decidirá las características fenotípicas de tal o cual organismo.

Hasta 1960, no había duda de que las cuatro bases nitrogenadas del ADN conformaban el lenguaje genético de los seres vivos. El problema era identificar la **unidad básica de codificación** o **codón** y cómo estaba conformada; es decir, faltaba saber cuáles y cuántas bases **nucleotídicas** conformaban los codones.

El código genético está definido a partir de ARNm y, por lo tanto, en lugar de timina se tiene uracilo en el anticodón (complemento del codón, que corresponde a un aminoácido del citoplasma).

Partiendo de simples deducciones matemáticas, es obvio que si hay **20 aminoácidos** que constituyen a las proteínas, se requiere más de una letra (base) para formar el código genético, pues **las cuatro letras de ADN** sólo podrían **codificar (estructurar) a otros cuatro aminoácidos** (faltarían 16 aminoácidos por codificar).

Aumentando el número de posibilidades para que sean dos letras las constituyentes del código genético, se tendría entonces que en **grupos de dos** las letras pueden producir sólo $4^2 = 16$ pares diferentes de letras. Por lo mismo, sólo podrían formarse 16 códigos para sintetizar otros tantos aminoácidos, con lo cual faltarían por codificar otros cuatro aminoácidos.

En cambio, si el código genético estuviera constituido por tres letras, habría posibilidad de formar $4^3 = 64$ grupos de tres bases diferentes (tripletes), los cuales, a su vez, podrían codificar 64 aminoácidos; cifra que, por mucho, supera a los 20 aminoácidos básicos que conforman a las proteínas. Esto, además, indica que cada aminoácido puede ser codificado por hasta seis tripletes distintos. **Un triplete también se define como un codón.**

Se puede deducir que **el código genético está conformado por tres bases nucleotídicas, que conforman el codón o unidad básica de la transmisión hereditaria.**

En 1961, **Francis Crick** determinó que tres bases consecutivas (codón) de una tira de ARN codifican a un solo aminoácido de una cadena polipeptídica. **El aminoácido que se une al codón lo conocemos como anticodón.**

Poco después, diversos experimentos efectuados por **Nirenberg y Mathaey** llevaron a la identificación de un triplete artificial a base de ácido poliuridílico (UUU). Cuando este triplete se adicionaba a los ribosomas, éstos producían únicamente polipéptidos que poseían fenilalanina, con lo cual se dedujo que el triplete UUU es el que codifica a la **fenilalanina** (**Figura 1.11**).

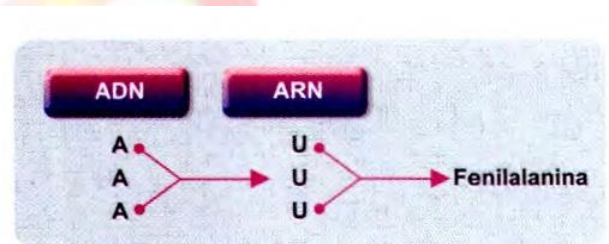


Figura 1.11 El código genético está formado por tres bases (triplete). En este caso el triplete para la fenilalanina es UUU.

Más aún, se pudo dilucidar que la **traducción** del mensaje ocurre a nivel del ribosoma, en presencia del ARN y en ausencia del ADN. **La información proviene del ADN y se traduce cuando el ARN entra en relación con el ribosoma.** Así pues, quedó claro que: **el codón UUU del ARN es la transcripción de un codón AAA, proveniente del ADN.**

Posteriormente, y empleando métodos similares, el mismo **Nirenberg y Severo Ochoa** descubrieron el codón para diversos aminoácidos. En 1964, tenían identificados 50 codones; en 1965, se habían descifrado los codones o tripletes de todos los aminoácidos; además, se pudo detectar que también existen **codones de iniciación** para comenzar la lectura de un mensaje genético, y **codones de terminación** para finalizarlo.

También se pudo confirmar la hipótesis matemática de que varios codones pueden codificar a un mismo aminoácido. Se detectó que, en total, había 61 codones que codificaban a los 20 aminoácidos y 3 codones más que servían como codones de terminación (**UAA, UAG, UGA**). Complementariamente, el **codón AUG** del ARN, que también especifica a la metionina, quedó identificado como el **principal** (y en ocasiones el único) codón de iniciación. En el **Cuadro 1.1** se puede ver el número de codones que hay para cada aminoácido. Por esta razón, es necesario

mencionar los descubrimientos que se enumeran en seguida:

- ✚ El código genético está conformado por tripletes (codones) de bases nucleotídicas.
- ✚ Posee un codón de inicio y tres terminaciones que delimitan cada mensaje genético.
- ✚ La mayoría de los 20 aminoácidos son especificados por más de un codón; sólo la **metionina** y el **triptofano** son especificados por un solo codón.
- ✚ Es universal, pues se aplica a todo tipo de organismo, desde los virus hasta el hombre. El mismo codón traduce al mismo aminoácido en todos los organismos; incluso, en todos ellos los codones de inicio y terminación son los mismos.
- ✚ La mutación en un nucleótido afecta solamente a un aminoácido.
- ✚ El orden de las bases es leído secuencialmente (no hay comas).
- ✚ Es degenerado y esto permite minimizar los efectos deletéreos (es decir, dañinos) de las mutaciones; por ejemplo, valina = GUU, GUC, GUA y GUG.
- ✚ Posee tripletes **sin sentido** que determinan la terminación de la cadena.
- ✚ No es ambiguo. No existe un triplete que codifique diferentes aminoácidos, pero sí varios tripletes que codifiquen un aminoácido específico.

Primera base del codón	Segunda base del codón				Tercera base del codón
	A	G	T	C	
A	fenilalanina	serina	tirosina	cisteína	A
	fenilalanina	serina	tirosina	cisteína	G
	leucina	serina	parada	parada	T
	leucina	serina	parada	triptofano	C
G	leucina	prolina	histidina	arginina	A
	leucina	prolina	histidina	arginina	G
	leucina	prolina	glutamina	arginina	T
	leucina	prolina	glutamina	arginina	C
T	isoleucina	treonina	asparagina	serina	A
	isoleucina	treonina	asparagina	serina	G
	isoleucina	treonina	lisina	arginina	T

C	metionina (inicio)	treonina	lisina	arginina	C
	valina	alanina	aspartato	glucina	A
	valina	alanina	aspartato	glucina	G
	valina	alanina	ácido glutámico	glucina	T
	valina	alanina	ácido glutámico	glucina	C

Cuadro 1.1 Secuencia de bases en los codones de cada aminoácido

1.7 Los cromosomas: su estructura y su importancia

La palabra **cromosoma** se deriva de dos vocablos griegos: *chroma*, que significa color, y *soma*, que quiere decir cuerpo. Este nombre fue propuesto originalmente porque algunos de los colorantes empleados para teñir preparaciones de animales o de plantas (para observar al microscopio) tienen semejanza con estas estructuras que aparecen muy coloreadas en la célula.

En ciertas etapas de la división celular, el ADN se condensa y se organiza en forma de cromosomas.

Igual que en el ADN, los cromosomas están ubicados en el núcleo de la célula. Su composición es a base de **cromatina**, la cual, a su vez, está formada por ADN y proteínas, principalmente.

Las especies tienen un número de cromosomas definidos y constante; tal es el caso del hombre que tiene 46 cromosomas; algunos gusanos sólo tienen dos, y algunos tipos de helechos pueden tener hasta 1200 estructuras cromosómicas. Ciertas especies pueden tener un número de cromosomas iguales, pero lo que marca la diferencia entre las especies es la información específica que hay en sus genes.

Cabe mencionar que, en general, los cromosomas se encuentran en pares en todas las células de los organismos. En el caso de las células somáticas, se mantiene el total de cromosomas de la especie, por lo que se denominan **diploides**. En cambio, el número reducido a la mitad de las células sexuales recibe el nombre de **número haploide**.



Ilustración 1.2 Cromosomas humanos.

El número diploide de cromosomas en los seres humanos es de 46 (23 pares). De éstos, 22 pares son cromosomas homólogos (iguales) o autosomas. El par 23 son cromosomas sexuales diferentes entre sí.

Biológicamente, es muy importante que las células sexuales masculinas y femeninas tengan el número de cromosomas reducido a la mitad, pues en la fecundación el número de cromosomas de la especie permanece constante. Por ejemplo, en el humano, el número de cromosomas de la especie es de 46 en las células somáticas y de 23 en las células sexuales. Cuando las células sexuales se unen durante la fecundación, el número de cromosomas se suma y el descendiente tendrá los 46 cromosomas característicos del ser humano.

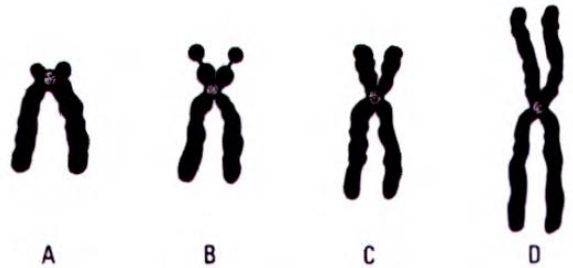
Hipotéticamente, si las células sexuales tuvieran 46 cromosomas cada una, entonces el óvulo fecundado o huevo tendría 92 cromosomas (46 del espermatozoide + 46 del óvulo), con lo cual se desarrollaría un individuo cuyo número cromosómico no sería el de un ser humano.

Cada cromosoma consta de dos estructuras unidas en pares llamadas **cromátidas**. Las cromátidas están unidas por medio de un centrómero. La ubicación del centrómero respecto a las cromátidas puede variar, y según su posición los cromosomas se clasifican en:

Cromosomas metacéntricos. La posición de su centrómero es a nivel central, por lo cual los brazos de las cromátidas hermanas son aproximadamente del mismo tamaño.

Cromosomas submetacéntricos. La posición de su centrómero es hacia la parte superior, haciendo que los brazos superiores al centrómero sean más pequeños que los de la parte inferior, que son más grandes.

Cromosomas acrocéntricos. El centrómero de este tipo de cromosomas está muy desplazado hacia los extremos del cromosoma, por lo cual unos brazos son mucho más largos que otros.



Cromosomas telocéntricos. Estos cromosomas tienen el centrómero completamente desplazado hacia uno de sus extremos, por lo cual sólo pueden observarse un par de brazos a manera de bastón.

Figura 1.12 Tipos de cromosomas: a. Acrocéntricos, b. Telocéntricos, c. Submetacéntricos y d. Metacéntricos.

En el ser humano los cromosomas son del tipo **metacéntricos**, **submetacéntricos** y **acrocéntricos**. Otras especies, como los ratones, tienen cromosomas telocéntricos.

La importancia básica de los cromosomas es que en ellos se encuentran todos los genes que se heredan de generación en generación, con lo cual se preservan las especies de la Tierra.

1.8 Reproducción celular y en organismos

Ciclo celular y cáncer

El **ciclo celular** es un patrón secuencial de crecimiento y división de la célula. Gracias a este ciclo regular y altamente preciso, las células hijas reciben el material genético de sus progenitoras.

En las primeras etapas del ciclo celular, la célula entra en un periodo de crecimiento denominado **interfase**, en el que desempeña sus actividades metabólicas. En esta fase también se lleva a cabo la duplicación de los cromosomas en preparación al proceso de la división celular o mitosis, que es el proceso de **división regular de las células**, de tal manera

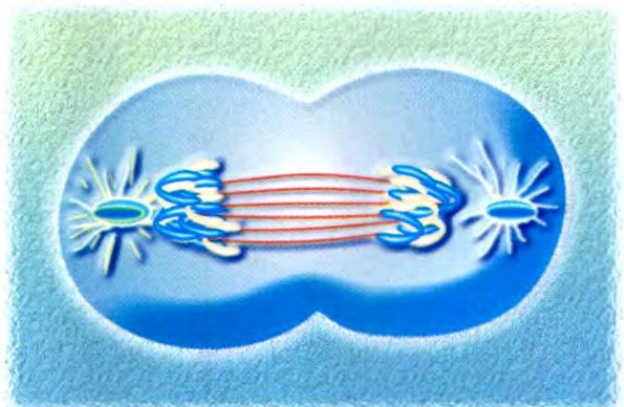


Figura 1.13 Células en división.

que las células hijas reciban exactamente el mismo tipo y número de cromosomas de la célula progenitora (**Figura 1.13**).

Aunque el ciclo celular es muy preciso, en ocasiones sufre trastornos en algunas partes del ADN o en la redistribución de los cromosomas. Estas alteraciones provocan anomalías morfológicas o fisiológicas que pueden desencadenar **cáncer**. Este es producto de mutaciones o cambios en los genes, lo cual provoca alteraciones en la producción de enzimas que controlan el ciclo celular. **Bajo estas condiciones las células crecen de forma desmedida e incontrolada, afectando el funcionamiento normal de tejidos y órganos.** El cáncer puede tener efectos menores o ser mortal. Algunos tipos de cáncer se tratan eficientemente y otros no.

Los tipos de cáncer más conocidos y peligrosos son: de **seno, próstata, pulmón y colon.**

El **carcinoma o cáncer de piel** es uno de los más comunes e inofensivos, sobre todo en personas de piel clara.

El cáncer puede aparecer en cualquier persona y a cualquier edad.

El ambiente también puede provocar el desarrollo del cáncer; así, el ciclo celular puede ser afectado por el humo del cigarro, las radiaciones provenientes del sol, de aparatos de rayos X o plantas nucleares, agentes contaminantes, entre otros.

Algunos virus infecciosos también están relacionados con la aparición de enfermedades cancerosas.

1.9 Avances científicos-tecnológicos que han permitido mejorar la calidad de vida.

A principios de 1900 se redescubrieron los trabajos de **Gregorio Mendel**, se establecieron las primeras leyes de la genética y ésta quedó instituida como ciencia, propiamente dicho. A partir de ahí, el avance científico y tecnológico moderno de la ciencia que explica los fenómenos de la herencia (la genética) ha sido progresivo y sólido.

Desde entonces, el ser humano ha tratado de perfeccionar métodos y técnicas para mejorar la salud y la calidad de vida de sus congéneres. Sin embargo, fue hasta los años 50 y 60 que, con el advenimiento de la **genética molecular** y posteriormente la **ingeniería genética**, la investigación básica y aplicada ha venido dando resultados sorprendentes en el área del tratamiento de enfermedades, producción de alimentos, tratamiento de desechos, la industria, etcétera.

Actualmente, algunos tipos de cáncer ya son curables o prevenibles mediante la aplicación de vacunas obtenidas biotecnológicamente.

La producción de insulina humana por medio de bacterias ya es una tecnología común y corriente en el mundo (**Ilustración 1.3**).



Ilustración 1.3 Soya, ejemplo de alimento transgénico.

Los cultivos transgénicos están en pleno desarrollo y crecimiento para suplir las deficiencias alimentarias del planeta.

Por otra parte, los **insecticidas de origen biológico** han permitido disminuir con éxito el consumo de pesticidas agroquímicos que tanto daño han hecho al ambiente y a la salud humana.

Así mismo la **Biología alimentaria** ha alcanzado niveles de desarrollo sorprendente en las formas de producir cerveza, yogur, quesos, edulcorantes, aminoácidos, enzimas, etcétera.

La lista de biotecnologías y productos es cada vez mas extensa y va dirigida a mejorar la calidad de vida de las personas en general

1.10 La fecundación interna y externa en los organismos



Ilustración 1.4 Los mamíferos, aves y reptiles tienen fecundación interna. Las ostras, caracoles y peces tienen fecundación externa.

Cuando ocurre la fecundación del óvulo por el espermatozoide, se recupera el número diploide del cigoto fecundado y de los organismos que se están reproduciendo.

La fecundación puede ser **interna** y ocurre cuando la fusión del óvulo y el espermatozoide sucede dentro del cuerpo. Los mamíferos, las aves y los reptiles tienen fecundación interna (**Ilustración 1.4**).

La fecundación **externa** se lleva a cabo fuera del cuerpo en casi todos los organismos acuáticos como ostras, caracoles y muchos peces. En este caso, los óvulos y los espermatozoides son liberados al agua y ahí se fecundan. El huevo formado se deposita en algún lugar del ambiente y se desarrolla (**Ilustración 1.4**).

Casi todos los animales que se reproducen sexualmente presentan **dimorfismo sexual**; es decir, hay un macho y una hembra cuyos órganos (testículos y ovarios) producen gametos masculinos y femeninos, respectivamente

También hay casos de **hermafroditismo**, donde un solo organismo posee órganos reproductores de ambos sexos; por ejemplo, hidras, esponjas y lombrices de tierra. Los **hermafroditas no se autofecundan**, sino que un ejemplar actúa de macho y otro de hembra.

En los animales terrestres y algunos acuáticos el óvulo es fecundado dentro del cuerpo de la hembra y ahí se desarrolla para luego ser expulsado; a estos organismos se les llama **vivíparos**, como la mayoría de los mamíferos.

Cuando el embrión se desarrolla dentro de un huevo que lo protege pero está fuera de la madre, recibe el nombre de **ovíparo**; por ejemplo, las aves

y muchos reptiles.

Algunos peces y reptiles, como los tiburones y algunas serpientes, generan embriones dentro de huevos con todas sus membranas. Estos huevos se desarrollan parcialmente dentro de la madre y luego son expulsados como formas embrionadas; una vez fuera de la madre y con el tiempo, los huevos eclosionan liberando al organismo completamente formado. Estos organismos reciben el nombre de **ovovíparos**.

En general, todos los animales multicelulares tienen un desarrollo embrionario con etapas semejantes; es decir, hay división celular, formación de **blástula** y **gastrulación**; además, durante el desarrollo embrionario, los diferentes tipos de animales pueden formar membranas embrionarias especializadas. Por ejemplo, en el embrión de las aves y los reptiles se forman cuatro membranas protectoras: saco vitelino, que es una extensión del tracto digestivo del embrión; amnios, que se crea alrededor del embrión formando un ambiente acuoso; alantoides, que sirven para coleccionar los desperdicios del tracto digestivo del embrión; corion, membrana más exterior que actúa en las labores de respiración del organismo en desarrollo, pues permite la difusión de oxígeno y CO² (**Figura 1.14**).

En la mayor parte de los reptiles y en las aves el desarrollo del embrión se hace de manera ovípara.

En los mamíferos también existen estas membranas, aunque, adicionalmente, en la gran mayoría se presenta una estructura especializada llamada **placenta** (*mamíferos placentarios*), que sirve para el intercambio de alimentos y sustancias de desecho entre el embrión y la madre.

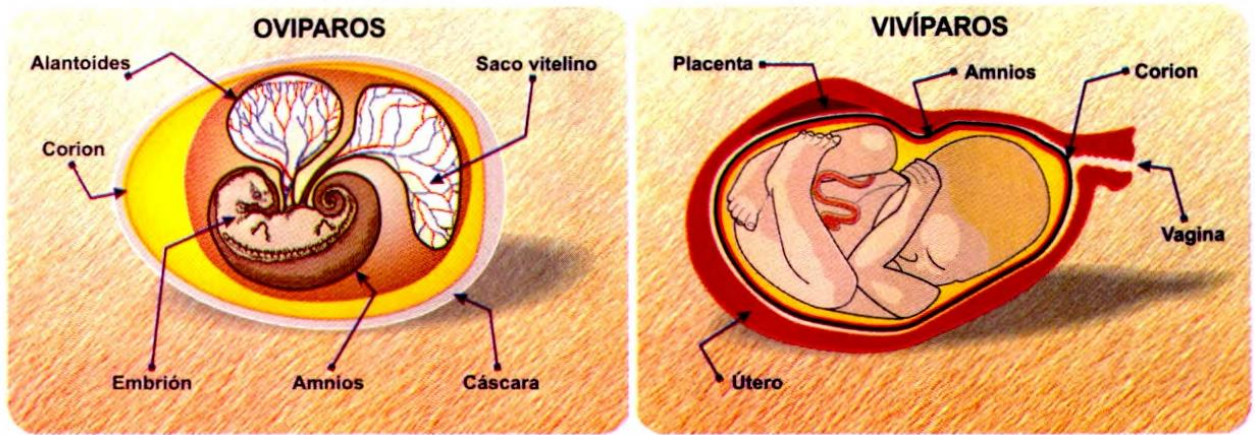


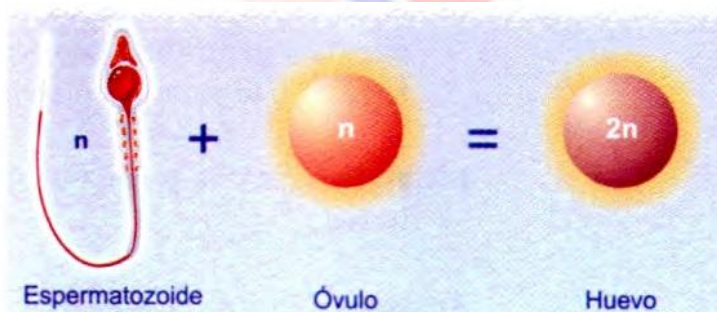
Figura 1.14 Membranas que cubren al embrión en organismos ovíparos y vivíparos.

1.11 Reproducción sexual, meiosis y gametogénesis

La reproducción sexual en los animales ocurre cuando dos progenitores se unen y contribuyen, cada uno, con una célula especializada (**óvulo** y **espermatozoide** en los animales; **óvulo** y **anterozoide** en los vegetales) para formar uno o varios descendientes. Cada padre otorga al descendiente su propia carga genética, de tal manera que los hijos no son exactamente iguales a uno de los padres, sino que tienen características heredadas de ambos.

Por ello pueden llegar a tener adaptaciones que les permiten mejores condiciones de supervivencia que a los padres.

Este tipo de reproducción implica la fusión de gametos masculinos y femeninos para formar un huevo. Durante la formación de los gametos, el número de cromosomas se reduce a la mitad en cada progenitor; así, todas las células sexuales masculinas o femeninas son **haploides (n)**; es decir, tienen la mitad de su número de cromosomas original. Este proceso de reducción de cromosomas ocurre durante la meiosis. Cuando el gameto



masculino **haploide** se une al gameto femenino **haploide** ocurre la fecundación y forman el huevo o cigoto que es **diploide (2n)**; es decir, tiene los dos pares de cromosomas unidos (uno por cada progenitor) (Figura 1.15).

Figura 1.15 Unión de los gametos haploides, formando un nuevo diploide.

Es muy importante que ocurra el proceso de la **meiosis** para reducir el número de cromosomas a la mitad pues, de lo contrario, aumentará al doble en cada nueva generación de organismos y habrá una formación desmedida de nuevas especies; como resultado no habría continuidad en los seres vivos.

Todas las células del cuerpo (células somáticas) tienen su número de cromosomas normal y específico; por ello se llaman células diploides o $2n$; en cambio, las células sexuales que ya pasaron por el proceso meiótico de la reducción de cromosomas a la mitad reciben el nombre de haploides o n .

Meiosis

La **meiosis** ocurre en las células que producen los **gametos**. Su función específica es producir células sexuales o gametos con la mitad de los cromosomas (**Ilustración 1.8**) que contienen las células somáticas de los padres.

La meiosis ocurre en dos periodos conocidos como meiosis I y meiosis II. La meiosis I empieza con células **diploides** ($2n$) que producen gametos; la meiosis II termina con cuatro células sexuales o gametos **haploides** (n). Así, los óvulos y espermatozoides son haploides y cuando se unen forman el cigoto o huevo con un número de **cromosomas** diploide ($2n$).

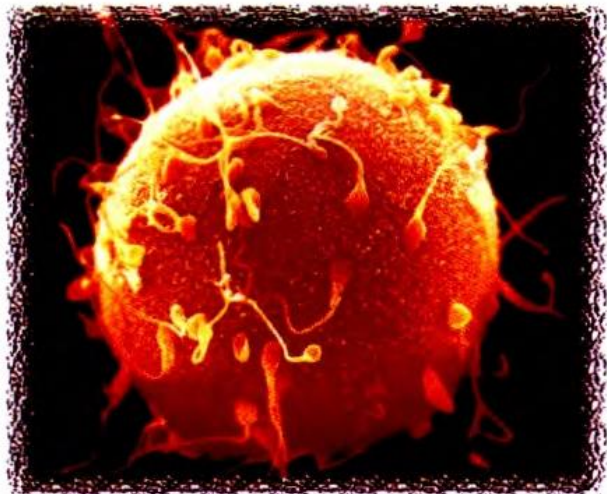


Ilustración 1.8 Antes de fecundarse las células sexuales tienen la mitad de los cromosomas.

Las fases de la meiosis 1 son las siguientes (**Figura 1.16**):

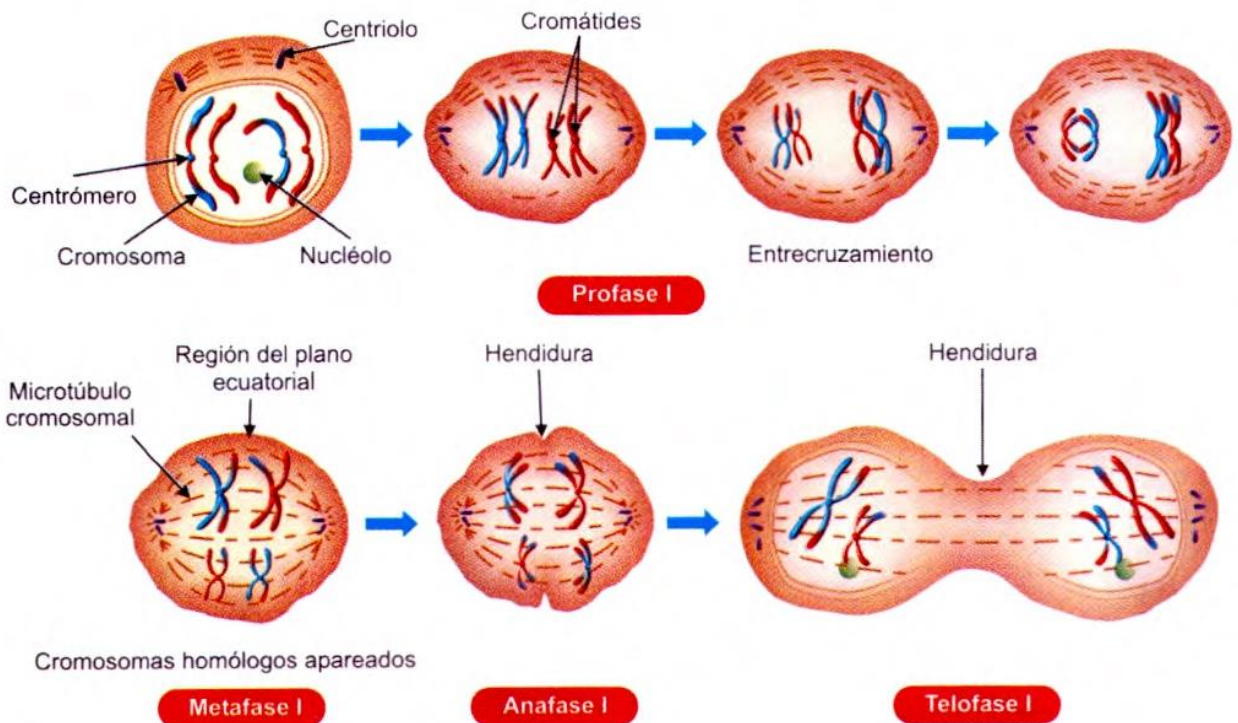


Figura 1.16 Etapas de la meiosis I.

Profase I. En esta primera fase se forma el huso y los cromosomas se condensan; se forma una tétrada a partir de las dos cromátides de cada parte de cromosomas homólogos, y estas tétradas intercambian material genético mediante un proceso de entrecruzamiento.

Metafase I. En esta etapa, los cromosomas homólogos se alinean en pares, en el ecuador del huso.

Anafase I. Cada célula hija recibe un solo cromosoma, una vez que éstos se separan y se mueven hacia puntos opuestos de la célula.

Telofase I. En esta última etapa el citoplasma se divide produciendo dos células hijas, el huso desaparece y los cromosomas se desarrollan. Como resultado de esta fase se producen dos células con la mitad de la información genética que la célula original, pero con un cromosoma doble, con dos cromátides.

Las fases de la meiosis II son (Figura 1.17).

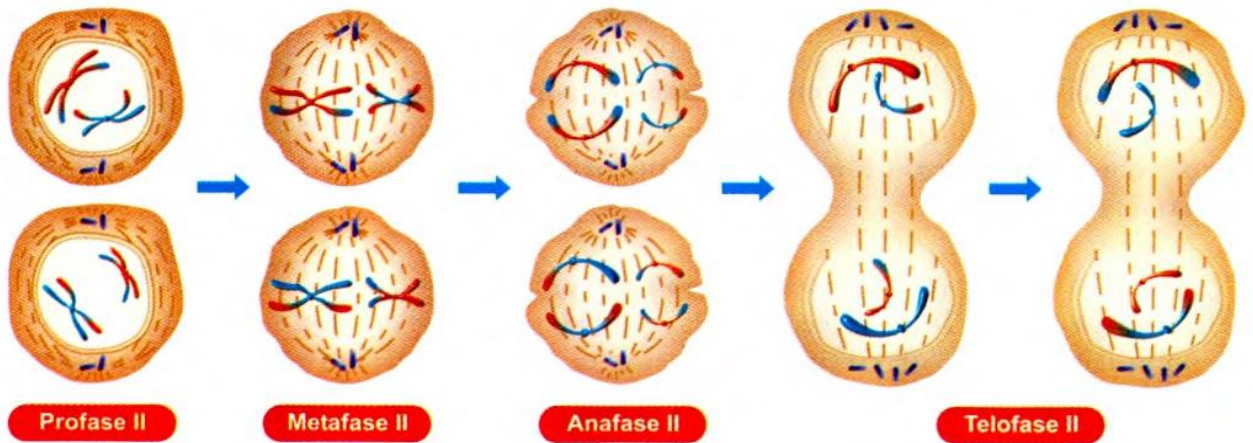


Figura 1.17 Etapas de la meiosis II.

Profase II. Se forma el huso entre las células nuevas.

Metafase II. Las cromátides se alinean en el ecuador de la célula.

Anafase II. Las cromátides se separan y se van hacia los polos opuestos de la célula.

Telofase II. La célula se divide después de que se forman los núcleos.

Como resultado de la meiosis II se forman **células haploides** (provenientes de una célula diploide) que contienen un cromosoma de cada par de cromosomas homólogos. **Estas células haploides se convertirán en gametos o células sexuales.**

La gametogénesis

La **gametogénesis** es el proceso de división celular para formar los gametos; específicamente durante la **ovogénesis**, ocurre la formación de óvulos, y durante la **espermatogénesis**, la formación de los espermatozoides; la **espermatogénesis** comienza cuando las células germinales primitivas llamadas espermatogonios

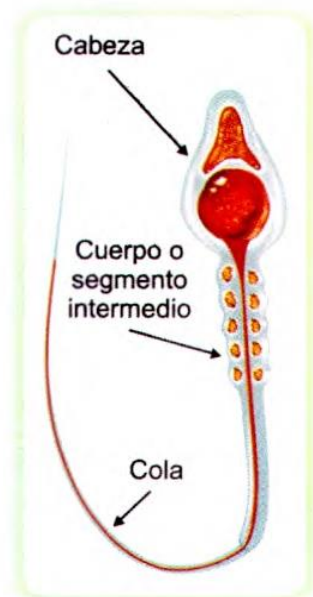


Figura 1.18 Esquema de un espermatozoide y sus partes constituyentes.

se convierten en **espermaticitos primarios**; éstos se dividen meióticamente en dos células iguales llamadas *espermaticitos secundarios*, los cuales sufren una segunda división meiótica para formar cuatro **espermátides** del mismo tamaño. La espermátide es un gameto maduro cuyo núcleo se contrae y forma la cabeza del espermatozoo; uno de los centriolos forma la cola y las mitocondrias se disponen formando la pieza intermedia que proporciona energía para los movimientos de la cola del mismo. (**Figura 1.18**).

Durante la **ovogénesis**, los oogonios de los ovarios se dividen meióticamente para formar varios oogonios adicionales, cuyo número de cromosomas es diploide ($2n$). Posteriormente, los oogonios se convierten en oocitos primarios, que pasan por una meiosis y luego forman oocitos secundarios, que son células grandes. En una segunda división meiotica el oocito secundario se transforma en oótide y finalmente, éste en un huevo maduro. En el proceso, de cuatro células que se vienen formando en la división celular, una madura al óvulo y tres desaparecen (**Figura 1.19**).

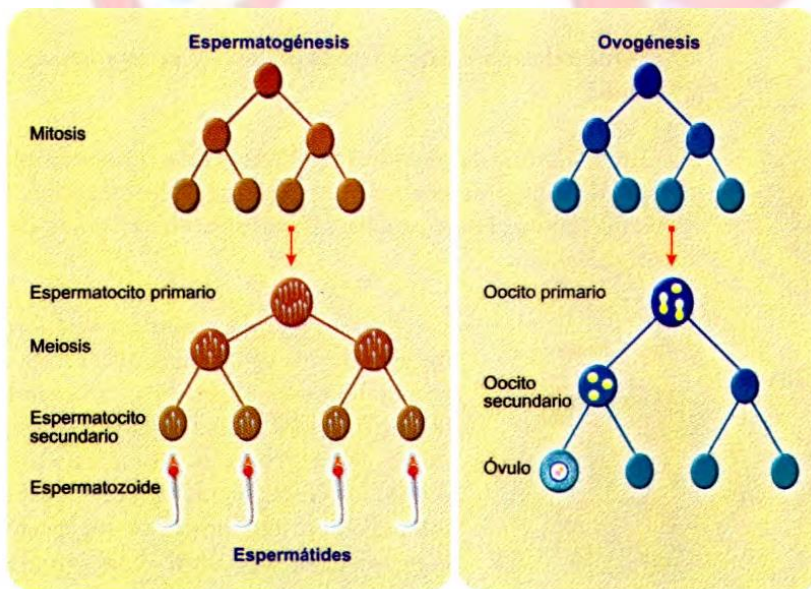


Figura 1.19 Espermatogénesis y ovogénesis.

1.12 La mitosis y la reproducción asexual

En esta forma de reproducción **un solo progenitor se multiplica** por división, fragmentación o gemación, lo que da origen a uno o más descendientes con las características hereditarias idénticas al progenitor.

Por ejemplo, la mitosis es una forma de división de una célula en la que, previa duplicación del material genético, cada célula hija obtenida recibe

una dotación completa de material genético (o cromosomas), idéntico al que poseía la célula progenitora. En el proceso interviene un solo individuo; no es necesaria la presencia de otro, como en el caso de la reproducción sexual. Algunos organismos que se dividen por mitosis son los protozoarios y las bacterias.

Durante la mitosis cada cromosoma de la célula progenitora se divide, a lo largo, en dos mitades; posteriormente, cada mitad se replica a sí misma formando dos nuevos juegos de cromosomas que, a su vez, formarán parte, cada uno, de las dos nuevas células hijas. Así, cada nueva célula tendrá un juego de cromosomas completo idéntico al de la célula progenitora.

Todo el proceso de división celular mediante mitosis provoca la división del núcleo del progenitor en dos núcleos hijos, uno por cada célula de su descendiente.

La división celular mitótica se lleva a cabo en cuatro fases: **profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**, que se describen a continuación, de manera resumida.

Profase. Se forman los cromosomas visibles a partir de la condensación de los filamentos de cromatina, desaparece el núcleo y los centríolos emigran a los lados opuestos de la célula, formándose el huso.

Metafase. Los cromosomas dobles se acomodan hacia el plano ecuatorial de la célula, empiezan a separarse longitudinalmente y se preparan para poner a las células hijas.

Anafase. Los cromosomas hijos se separan y cada grupo de cromosomas hijos se desplaza a los polos de la célula.

Telofase. Una vez en los polos cada grupo de cromosomas se alarga y forma los filamentos de cromatina. Posteriormente se forma una membrana alrededor de los núcleos hijos y finalmente sobreviene la división celular, con lo que quedan formadas las dos células hijas que permanecen en una etapa denominada Interfase, dispuestas a pasar por un nuevo proceso de mitosis cada una.

El término **mitosis** se refiere a la **división del núcleo**; la **citocinesis** implica la **división del citoplasma** para formar las células hijas, cada una con su respectivo núcleo. La mitosis (incluida la citocinesis) y la interfase son las etapas del ciclo celular.

Interfase + mitosis → ciclo celular

Antes de que la mitosis ocurra, los cromosomas se duplican y se fabrican organelos celulares que serán distribuidos entre las células hijas.

Al final de la mitosis se producen dos células hijas, nuevas, con cromosomas idénticos a los de la célula progenitora.

En general, la duración del ciclo celular es variable: va desde algunas horas hasta dos o tres días; sin embargo, la interfase es la etapa que toma más tiempo. En un ciclo celular de 22 horas, por ejemplo, la interfase dura 21 horas y la mitosis sólo una.

Así pues, la mitosis está directamente relacionada con la reproducción asexual.

En la **reproducción asexual**, los **descendientes tienen exactamente las mismas características que sus antecesores**. No hay variaciones que propicien la selección natural. Es una forma primitiva de reproducirse. De hecho, los primeros organismos vivos se reprodujeron asexualmente, ya que requerían de un sistema de propagación rápido, eficiente y que les permitiera expandirse por todo el planeta. No importaba tanto la biodiversidad, pues la competencia por el espacio y el alimento era relativamente escasa, sino reproducirse y propagarse, conservando las especies.

Hoy, la reproducción asexual está restringida a los organismos menos evolucionados, como las bacterias, algunos protozoarios, algunas plantas, etc., pero éstos en sí son la prueba viviente de la eficacia de la reproducción asexual, que ha podido prevalecer por más de 3500 millones de años, a pesar de la ventaja de la reproducción sexual que permite la aparición de nuevas características en los descendientes —producto de mutaciones o combinación de los genes paternos— para poder adaptarse a las condiciones cambiantes del ambiente.

1.13 Ventajas de la reproducción sexual y asexual

Al ocurrir la combinación del material genético de los padres pueden presentarse cambios somáticos y genéticos, producto de mutaciones en el material hereditario. Estos cambios pueden ser beneficiosos o perjudiciales. Cuando las condiciones del ambiente en que se desarrollan

los organismos cambian y les son adversas, éstos pasan por un proceso evolutivo de selección del más apto. El proceso de adaptación está íntimamente ligado con las mutaciones heredables y la selección natural; es decir, los organismos más aptos o más adaptados son los que sobreviven, se reproducen y permanecen en la naturaleza dispersando los genes favorables; esa sobrevivencia, con el tiempo, lleva a la formación de nuevas especies, mejor adaptadas; es la biodiversidad en acción.

La **reproducción sexual**, en un momento dado y por efecto de las mutaciones, lleva a la variabilidad genética que permite que los organismos se adapten a los ambientes siempre cambiantes del planeta.

Por el contrario, en la **reproducción asexual**, en la que el hijo desciende de un solo padre que le hereda su material genético, las posibilidades de variación genética son extremadamente bajas. Los errores en el material genético y las mutaciones en general son poco frecuentes y las especies permanecen casi inmutables. Estos organismos se adaptan menos a los cambios del medio ambiente y, por lo mismo, tienen muy **poca biodiversidad**; por ejemplo, las bacterias y otros organismos menores.

BLOQUE 2

PRINCIPIOS DE LA HERENCIA

UNIDAD DE COMPETENCIA

Describe las leyes que rigen la herencia de las características biológicas de los seres vivos, diferenciando las características genóticas que pueden presentar los seres vivos, y reconociendo que las mutaciones genéticas pueden provocar cambios adaptativos en una población.

2.1 Aportaciones de Mendel en el campo de la Genética

Hay evidencia histórica de que el hombre ha estudiado y analizado empíricamente los mecanismos de la herencia desde hace miles de años. Por ejemplo, 6000 años atrás, los babilonios registraron en piedra sus esfuerzos dirigidos a mejorar la calidad genética de sus caballos y de sus palmas productoras de dátiles. Posteriormente, los chinos utilizaron métodos de selección artificial para mejorar las semillas de arroz, su alimento básico.

En México, los pobladores que existieron 4000 o 5000 años a. C. ya consumían maíz cultivado (**Ilustración 2.2**) y otras variedades de aguacate, chile y calabazas. Es evidente que el inicio de la agricultura y su desarrollo estuvo acompañado por eventos genéticos naturales e inducidos que permitieron al hombre antiguo un mejor aprovechamiento de plantas y animales.

Con el paso del tiempo, fue cada vez más claro que existían leyes naturales que se encargaban de regir los hechos concernientes a la herencia y la variación, las cuales se aplicarían tanto en vegetales como en animales, incluido el hombre. Si los ratones se reproducían y



Ilustración 2.2 El maíz se domesticó en México aproximadamente 5000 años a.C.

daban ratones y las semillas de trigo daban trigo exclusivamente, era obvio que debería haber información genética en los seres vivos, heredada de padres a hijos y que permitía perpetuar la especie.

Los descubrimientos al respecto se fueron acumulando de tal manera que, entre 1500 - 1600 de nuestra era, ya se tenían establecidos los indicios de que existía la reproducción sexual, en la cual intervenían semen y óvulos. Faltaba establecer los mecanismos de traspaso y combinación de los caracteres hereditarios de los padres a sus hijos. El inicio de este conocimiento fue proporcionado por **Gregorio Mendel** (pionero de la Genética) (**Ilustración 2.3**), a partir de sus experimentos llevados a cabo entre 1856 y 1864, mismos que establecieron las bases del desarrollo de la Genética. Después, en 1875, **Oscar Hertwing** observó que un solo espermatozoide penetraba en un solo óvulo para formar un huevo; este hecho permitió establecer la base citológica de la herencia: una célula espermatozoide más una célula óvulo producen un huevo. Estos trabajos fueron retomados en 1900 para iniciar la Genética como ciencia, que se encarga de estudiar la herencia de los seres vivos; es decir, los mecanismos de transmisión de los caracteres hereditarios de padres a hijos.



Ilustración 2.3 Gregorio Mendel.

La herencia mendeliana

Los resultados de las investigaciones de Mendel han prevalecido a través de los años, de tal manera que actualmente se les conoce como las **Leyes de Mendel**. Éstas rigen y predicen muchos de los eventos hereditarios y de variación que ocurren durante la cruce de los organismos vegetales y animales.



Ilustración 2.4 Frutos de chícharos en sus vainas.

Para sus experimentos, Mendel escogió las plantas de chícharo debido a que tienen una serie de características bien definidas y muy propias, susceptibles de ser fácilmente observables después de las cruces y en periodos cortos (**Ilustración 2.4**). Dichas

características son las siguientes:

1. Son plantas anuales, es decir, su ciclo reproductivo es corto, de tan sólo un año o menos; por lo mismo, desde que se siembran no tardan más de un año en nacer, crecer, dar flor y producir frutos. Esta característica permitió que Mendel pudiera dar continuidad a sus experimentos y repetirlos.
2. Sus caracteres están bien definidos y bastante uniformados: color, estructura y textura del fruto, altura de la planta, posición de las flores.
3. Son resistentes y fáciles de cultivar y cruzarse, lo cual facilitó a Mendel la tarea del manejo de los cultivos.
4. Sus flores tienen partes masculinas y femeninas que ordinariamente **se autofecundan**. Además, **la fecundación o polinización cruzada de una planta a otra no ocurre de manera significativa, sino que se necesita la intervención del hombre**.

Durante sus experimentos, Mendel pudo evitar cruza no deseadas entre las plantas y, aún más, pudo hacer fecundaciones cruzadas inducidas y controladas entre dos plantas diferentes cuyas características deseaba estudiar.

5. Debido a que el chícharo se autofecunda, con los años, y de manera natural, forma líneas puras con caracteres bien definidos (alto, bajo, fruto verde o amarillo, fruto liso o rugoso, etc.), de tal forma que cualquier variación promovida por Mendel a través de una cruce inducida podía evidenciarse fácilmente en los descendientes.
6. Tienen un número abundante de descendientes.

Todas estas propiedades y caracteres de las plantas de chícharo permitieron a Mendel llevar a cabo con éxito sus investigaciones y experimentos. Antes de esto ya existía la **teoría de los caracteres adquiridos** que estaba reconocida como válida para explicar algunos fenómenos observados en diversos tipos de organismos (aunque es incorrecta).

El fundamento de esta teoría indicaba que, en el transcurso de su existencia, los organismos adquieren y heredan ciertas características necesarias para realizar sus funciones. Según esta teoría, la jirafa tenía el cuello largo porque desde pequeña tenía necesidad de alargar su cuello para ir alcanzando los retoños (cada vez más altos) de los árboles.

La teoría de los caracteres adquiridos no tenía en cuenta que la característica del cuello largo de estos animales se hereda naturalmente de padres a hijos y no es un carácter que se adquiera durante el crecimiento de la jirafa. La prueba está en que una jirafa alimentada con pasto o alfalfa, que no necesita estirar su cuello para alimentarse, también, invariablemente, tendrá un cuello largo, a medida que crece.

Con el tiempo, los postulados de Mendel cobraron fuerza y la teoría de los caracteres adquiridos perdió vigencia; en contraparte, los postulados mendelianos quedaron asentados como válidos hasta convertirse en las Leyes de Mendel, cuyos fundamentos se abarcan en la **Primera Ley de Mendel**, en la que se señalan los conceptos de la **segregación**, y en la **Segunda Ley**, que indica que cada par de genes de alelos, además de segregarse, se recombina o distribuye independientemente.

Un aspecto que es importante señalar es que estas leyes se aplican no sólo a los chícharos, sino a todas las plantas y animales que se reproducen sexualmente. Y más aún, conviene resaltar el hecho de que, aunque Mendel evaluó y analizó las características fenotípicas de las plantas, sus frutos y flores, **los que se heredan son los genes**, no los caracteres.

Es común utilizar el **cuadro de Punnett** para facilitar el trabajo de las posibles combinaciones entre los genes. En este cuadro, los gametos del progenitor masculino se ubican en la parte de arriba y los del femenino en la parte vertical izquierda. En el interior de cada compartimento del cuadro se simboliza a los cigotos resultantes de la cruce entre ambos progenitores.

Para representar cada uno de los caracteres de un organismo se utilizan letras mayúsculas (para los caracteres dominantes) y minúsculas (para los caracteres recesivos). Es común emplear la primera letra para simbolizar cualquier característica, sea dominante o recesiva. Así, por ejemplo, se emplea la **A** para el carácter dominante alto y **e** para el recesivo enano.

A **Carácter alto, dominante**

e **Carácter enano, recesivo**

También puede emplearse otro tipo de letras o iniciales, pero siempre serán mayúsculas para los dominantes y minúsculas para los recesivos. Como complemento a lo anterior, en el **Cuadro 2.3** se presentan los conceptos más usados en Genética.

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Carácter dominante	Carácter que se manifiesta en un organismo en condición homocigótica y heterocigótica.
Carácter recesivo	Carácter que sólo se puede expresar en condición heterocigótica.
Célula diploide	Es la que tiene los dos juegos de cromosomas o estado diploide (2n), como el caso de las células somáticas.
Célula haploide	Es la que tiene un solo juego de cromosomas (n), como en el caso de los gametos.
Cromosomas	Cuerpos nucleares a lo largo de los cuales están los genes. Cada especie tiene un número definido: por ejemplo, la especie humana tiene 46.
Cromosomas homólogos	Son un par de cromosomas con forma, tamaño y genes idénticos. Unos provienen de la madre y otros del padre.
Dihíbrido	Individuo heterocigótico con respecto a dos pares de alelos.
Fenotipo	Son las características exteriormente visibles de un organismo.
Gen	Fragmento de ADN con la información suficiente para determinar el desarrollo de una característica específica. También es posible que un gen controle la herencia de varias características, o bien, que varios genes controlen un carácter.
Genes alelos	Son pares de genes que se sitúan en la misma posición específica en cromosomas homólogos; estos alelos controlan el mismo carácter, aunque pueden diferir sobre esa información característica.
Genotipo	Son todos los genes contenidos en los cromosomas de un organismo
Heterocigótico	Organismo en el cual los genes alelos difieren para una determinada característica.
Homocigótico	Organismo cuyos genes son iguales para una determinada característica.
Monohíbrido	Individuo proveniente de dos progenitores homocigóticos que difieren en un solo par de alelos.

Cuadro 2.3 Conceptos más usados en esta unidad.

2.2 Primera Ley de Mendel sobre la segregación

Esta ley indica que *durante la cruce de monohíbridos (cruce en la que se toma en cuenta sólo una característica de cada progenitor), los miembros de cada par de genes alelos son capaces de segregarse o separarse y expresarse, dando lugar a la pureza de los gametos.* Cada característica de un organismo está codificada por un par de genes, **genes alelos**, situados en cada uno de los pares de cromosomas homólogos que tienen los organismos.

Por ejemplo, al unirse los gametos de los progenitores **AA** (alto) y **ee** (enano), se forma un óvulo fecundado o huevo (cigoto) **Ae**, que contendrá la información genética mezclada de cada uno de los gametos de los progenitores. A la primera cruce entre progenitores se le conoce como **F₁** (filial 1) y tiene como resultado la formación del cigoto **Ae** antes mencionado. Los organismos que se desarrollan a partir de huevos **Ae** serán todos altos, ya que aunque en él existen las características **A** y **e** **A** es el carácter dominante y **e** es el recesivo.

Progenitores

ALTO
A A

ENANO
e e

Meiosis

Gameto
A

Gameto
e

F₁

Cigoto

A e

Si, complementariamente, los organismos **Ae** de **F₁** se cruzan entre sí, el carácter recesivo enano **e** empieza a aparecer. Con esto, una parte de la descendencia es alta y la otra es enana:

F₁ x F₁

ALTO
A e

x

ALTO
A e

Segregación (meiosis)

A e

Gametos

A e

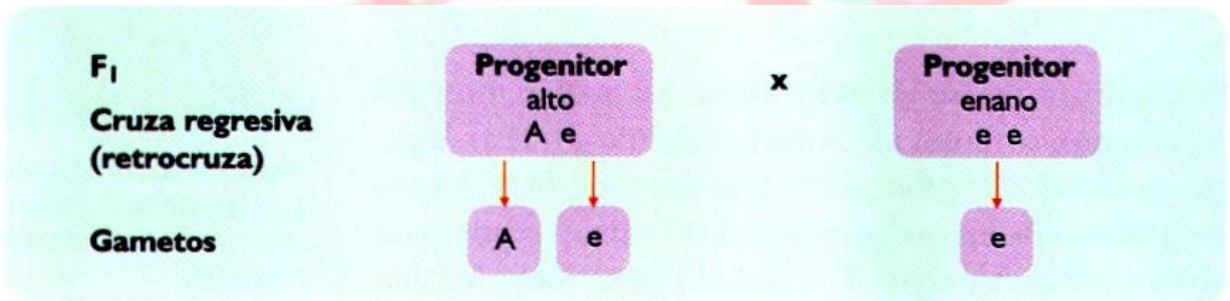
Gametos

Utilizando el cuadro de Punnett:

		A	e
F ₂	A	AA alto	Ae alto
	e	Ae alto	ee enano

El resultado es que se producirán tres cuartas partes de organismos altos (todos los organismos que tienen, al menos, un carácter **A** dominante) y una cuarta parte de organismos enanos, en la que coinciden dos genes **ee** recesivos. La proporción final es de 3:1, entre altos y enanos, respectivamente.

Cuando los organismos altos **Ae** se retrocruzan con organismos progenitores enanos **ee**, la mitad de la progenie es alta **Ae** y la otra mitad es enana **ee**; esto demuestra el principio de la separación o segregación de los genes, ya que a partir de pares de genes (alelos) **Ae** que se separan se generan organismos con genes **ee** enanos.



Utilizando el cuadro de Punnett:

La mitad serán altos pues son **Ae**, con el carácter **A** dominante, y la otra mitad serán enanos **ee**, pues en ellos sólo hay caracteres **e** enanos.

La segregación queda demostrada a partir de que se forman organismos **ee** provenientes de los genes **Ae** segregados y mezclados con los genes segregados de **ee** de los progenitores enanos.

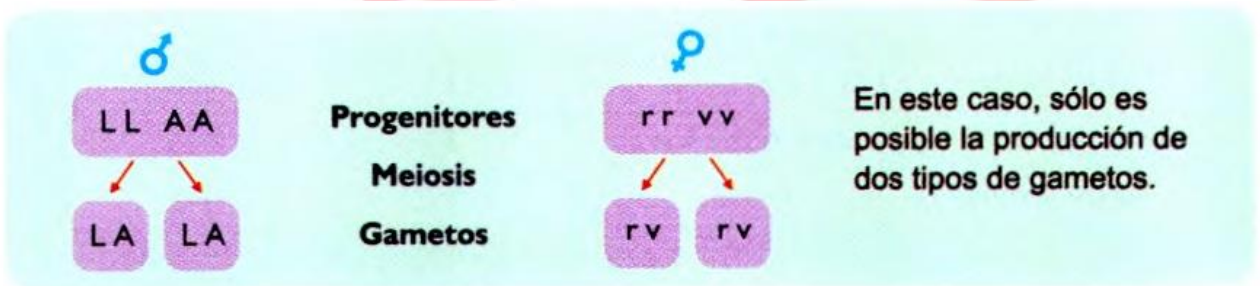
Analiza que si un **Ae** de **F₁** se retrocruza con un progenitor **AA** alto los hijos serían todos altos, pues no habría posibilidad de producir hijos **ee** enanos. Este hecho también demuestra la Primera Ley de Mendel respecto a la segregación de los gametos.

Es necesario recordar que cuando ambos genes son dominantes o recesivos (**NN** o **bb**, por ejemplo) reciben el nombre de **homocigóticos**; pero cuando contienen los dos genes distintos (**Nb**) se denominan **heterocigóticos**.

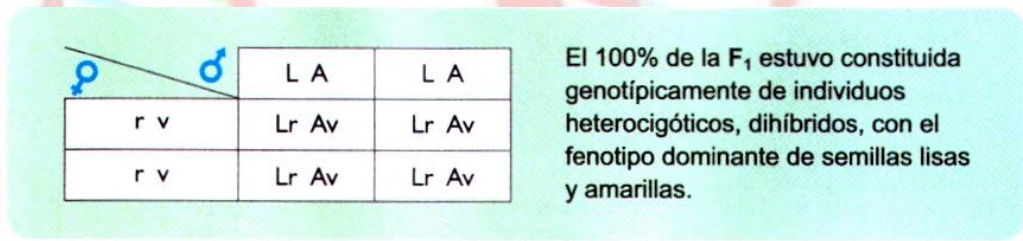
2.3 Segunda Ley de Mendel sobre la recombinación independiente

Esta ley indica, que *durante un cruzamiento dihíbrido donde intervienen dos pares de alelos que codifican dos características diferentes en cada uno de los progenitores, los genes miembros de un par de alelos no solamente se segregan, sino que también se comportan independientemente respecto al otro par.* En este comportamiento es posible combinar diferentes caracteres deseables de varios organismos y mantenerlos en un mismo individuo.

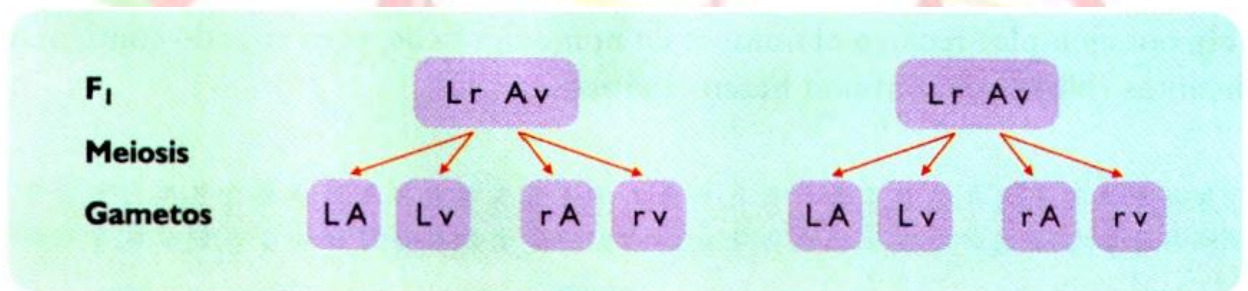
La **Segunda Ley de Mendel** puede evidenciarse mediante el análisis de un cruzamiento dihíbrido entre un grupo de plantas cuyas semillas tienen los caracteres dominantes de ser lisas y amarillas (LL, AA), con otro grupo cuyas características recesivas indican que las semillas son rugosas y verdes (rr, vv):



Si se realiza la fecundación, los gametos se combinan como sigue:



La F₁, a su vez, puede producir los siguientes gametos:



Se observa que se generan cuatro gametos distintos en cada una de estas plantas dihíbridas; de esta manera, hay 16 posibilidades distintas de recombinaciones.

Si distribuimos en un cuadro los posibles gametos en la F₂, ésta en sus cruzamientos producirá la progenie que se ilustra en el siguiente cuadro:

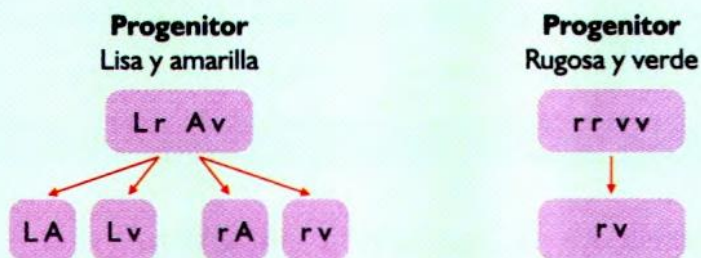
Los resultados obtenidos se aproximan a la proporción 9:3:3:1.

♀ \ ♂	LA	Lv	rA	rv
LA	LL AA	LL Av	Lr AA	Lr Av
Lv	LL Av	LL vv	Lr Av	Lr vv
rA	Lr AA	Lr Av	rr AA	rr Av
rv	Lr Av	Lr vv	rr Av	rr vv

Al final se obtienen las siguientes proporciones:

Fenotipos	Genotipos	Frecuencia genotípica	Relación fenotípica
Lisa y amarilla	LLAA LrAA LLAv LrAv	9	9/16
Lisa y verde	LLvv Lrvv	3	3/16
Rugosa y amarilla	rrAA rrAv	3	3/16
Rugosa y verde	rrvv	1	1/16

Al retrocruzar un dihíbrido con el progenitor recesivo se obtiene:



RESUMEN

Fenotipos	Genotipos	Frecuencia genotípica	Relación fenotípica
Lisa y amarilla	LrAv	1	1/4
Lisa y verde	Lrvv	1	1/4
Rugosa y amarilla	rrAv	1	1/4
Rugosa y verde	rrvv	1	1/4

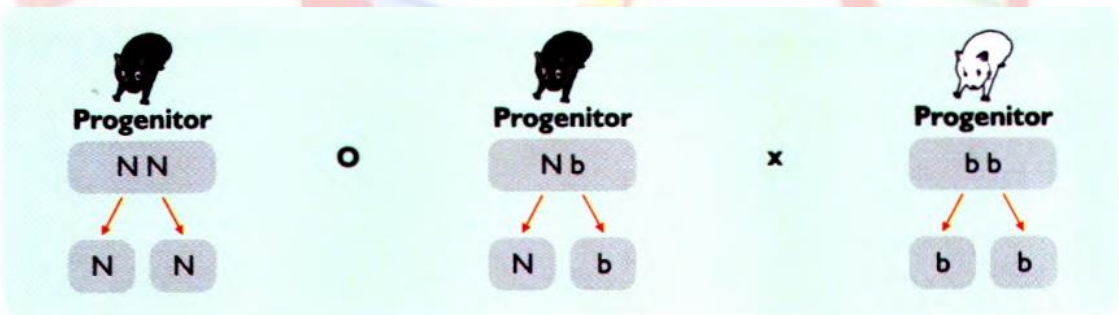


Como se puede observar, independientemente de que los pares de genes de cada progenitor se segregan, cada uno, además, puede recombinarse por sí solo. Así, cada una de las cuatro características de los progenitores puede actuar aisladamente y luego recombinarse. Al final, mediante un análisis adecuado, todas y cada una de las características pueden «manipularse» y dirigirse a un organismo dado. Este hecho queda demostrado en la retrocruza del dihíbrido con el progenitor recesivo para obtener relaciones fenotípicas de 1:1:1:1 para cada carácter.

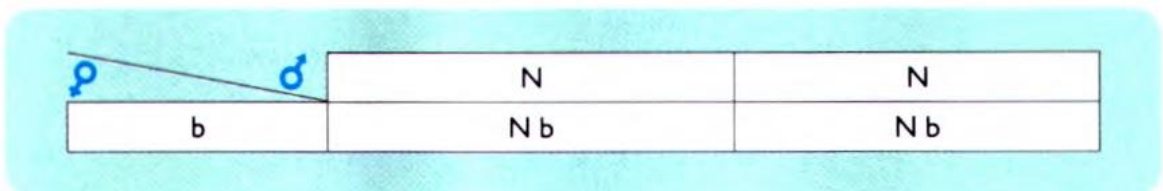
2.4 La retrocruza es un cruzamiento de prueba

En Genética, el cruzamiento de prueba se utiliza para dilucidar si un organismo es heterocigótico. Como procedimiento para realizarlo se ha de cruzar el individuo que va a **determinarse** en su genotipo con otro del que se tiene conocimiento que es **homocigótico recesivo** para el carácter al que se está haciendo referencia. Como resultado de esta cruce, cada descendiente deberá recibir un gen recesivo dominante de su progenitor recesivo homocigótico; si uno de los individuos de esta descendencia recibe también de su otro progenitor un alelo recesivo, éste será también fenotípicamente recesivo, por lo cual el progenitor desconocido será heterocigótico.

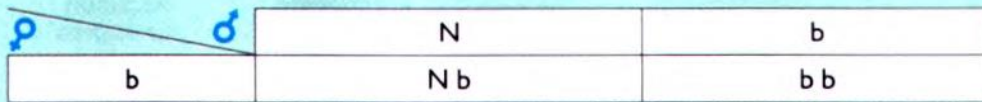
Si se tiene un cobayo negro (N), del cual no sabemos su genotipo, y se cruza con una hembra de pelo blanco (b), carácter recesivo, y en la progenie resulta una blanca, el cobayo negro que se determina es heterocigótico. Esto lo podemos representar así:



Toda la descendencia será negra si el macho es homocigótico.



Aparece el carácter recesivo si el macho es heterocigótico.



♀	♂	N	n
n	n	Nn	nn

2.5 Herencia postmendeliana

Los trabajos científicos llevados a cabo por Gregorio Mendel fueron extraordinarios y sirvieron de base para el desarrollo de la Genética como ciencia.

Aunque Mendel no conocía la estructura molecular del ADN ni sabía de la existencia de los genes, sí pudo detectar su presencia y efectos; denominó «factores» a los genes y supo que se heredan al azar, que algunos se expresan y otros no, que se segregan y recombinan y que se presentan en pares, entre otras cosas.

Sus trabajos fueron tan exactos y descriptivos que aún pueden ser recreados y repetidos, obteniéndose los mismos resultados; por eso, sus enunciados resultantes se convirtieron en leyes de la genética.

Después de los trabajos de Mendel, la ciencia de la Genética empezó a tener un auge importante, de tal manera que **en 1953 se tuvo conocimiento de la estructura molecular del ADN y los genes. Así, ya se pudieron dilucidar algunos fenómenos acerca de la codificación y decodificación de los mensajes hereditarios, la síntesis de proteínas, el código genético, la dominancia y recesividad, la herencia ligada al sexo, etc.; es decir, nació la Genética molecular.**

Con la Genética molecular postmendeliana se estudiaron y descubrieron nuevos aspectos de la herencia. Se abrió, también, todo un nuevo campo de estudio en el que se pudo observar que **había eventos que ocurrían al margen de las Leyes de Mendel.** Por ejemplo, la herencia ligada al sexo. En estos eventos, los resultados de la interacción de los genes no corresponden a los procesos de segregación y recombinación de Mendel sino al hecho de que sean características asociadas al sexo de los organismos estudiados; por ejemplo, si se estudian las características no dependen de la dominancia o la recesividad de los genes, sino del sexo, que es predeterminado por los cromosomas sexuales del organismo.

La herencia postmendeliana está marcada por el **conocimiento de la estructura y función de los genes, el desarrollo de la Genética molecular y el avance posterior de la Ingeniería genética**, que se dio en la década de 1970.

Dominancia incompleta o intermedia

Este patrón de herencia no se explica con las Leyes de Mendel. En este caso las características que se heredan no siguen un patrón de dominancia y recesividad. Ninguno de los genes progenitores (alelos) es completamente dominante; su dominancia es incompleta. En resumen, ningún gen del par de alelos se manifiesta totalmente, sino que lo hace de manera parcial.

Al cruzar una planta de azalea que produce flores de color rojo (RR) con otra que produce flores blancas (BB), se obtendrán plantas con flores de color rosa. Lo que ocurre es que ni el rojo ni el blanco se expresan de manera completa, sino que aparece un color rosado intermedio. Es decir, apareció un tercer fenotipo de color rosa.

Codominancia

En otros casos la cruce de individuos provoca codominancia, en la que se expresan los dos alelos involucrados, dando lugar a organismos en los que las características se expresan simultáneamente y de manera independiente.

Existen gallinas o gallos cuyo plumaje se caracteriza por ser «pinto»; es decir, tienen plumas blancas y negras, entremezcladas. Estas aves se producen a partir de la cruce de un gallo negro y una gallina blanca, ambos animales homocigóticos. El resultado es que los dos alelos se expresan por igual; el animal resultante no es negro ni blanco, sino «pinto». No hay dominancia ni recesividad; hay codominancia.

En caso de que el ave resultante de la cruce hubiera sido de color gris, el evento genético se habría tratado de una dominancia incompleta, descrita anteriormente.

Alelos múltiples

Así como frecuentemente se relaciona una característica hereditaria a un solo par de alelos en una población, es común que una característica sea controlada por más de un par de alelos (2 alelos). A este evento genético

se le llama alelos múltiples. También recibe el nombre de herencia poligénica. Esto explica por qué existen varios colores de ojos en la población humana, o diversas texturas y colores en el pelaje de los conejos. Si sólo hubiera un par de alelos para el color de ojos, todos los humanos tendríamos un solo color de los mismos; pero no, la diversidad de colores es amplia, debido a que los genes que controlan el color de ojos son múltiples.

2.6 Teoría cromosómica de la herencia

Mendel desconocía la existencia de los cromosomas y fue hasta aproximadamente 35 años después de publicar sus trabajos que aumentaron los conocimientos de la célula; se descubrieron la fecundación, la mitosis y la meiosis. Durante la detección de estos dos últimos fenómenos biológicos fueron observados los cromosomas. **Theodor Boveri** y **Walter S. Sutton**, individualmente, establecieron la relación entre los cromosomas y la herencia. Sutton estableció la **Teoría cromosómica de la herencia**, la cual indica que los cromosomas contienen las diferencias genéticas y que hay semejanza en el comportamiento de los cromosomas y la segregación de caracteres.

Bajo esta idea, propuso que **los genes están localizados en los cromosomas**; que hay un alelo de cada par de genes localizado en cada uno de los pares de cromosomas; los cromosomas son los que se segregan durante la gametogénesis; y los cromosomas del óvulo y el espermatozoide son los que se segregan al azar. Todas estas ideas conformaron la Teoría cromosómica de la herencia propuesta por William Sutton, a principios de 1900.



Thomas Hunt Morgan (1866-1945) (Ilustración 2.8) aportó pruebas que confirmaron la Teoría cromosómica de la herencia, haciendo sus estudios en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*.

En esta mosca se realizaron varios experimentos y, entre otras cosas, se descubrió la manera en que se disponen los genes en los cromosomas; así fue posible determinar que los cromosomas son filamentos de genes. En esta especie de insecto existen cuatro pares de cromosomas en el núcleo de sus células.

Ilustración 2.8 Thomas Hunt Morgan

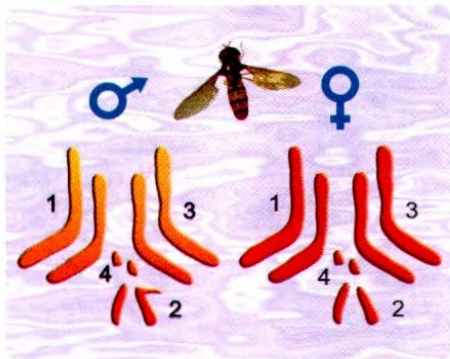


Figura 2.2 Cromosomas homólogos de la mosca *Drosophila melanogaster*.

Observa la **Figura 2.2**, donde se muestran los cuatro pares de cromosomas homólogos de la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*.

Morgan descubrió que durante el proceso de la meiosis son los cromosomas los que se segregan uno de otro, de una manera independiente, en el proceso de formación de los gametos; posteriormente, durante el proceso de la fecundación, estas estructuras se recombinarán.

2.7 Genes ligados

En cada célula del cuerpo, en la especie humana, existen 46 cromosomas dispuestos en pares (23), y en ellos se ha calculado la existencia de 30 000 genes. Como es lógico suponer, muchos genes se presentan juntos en el mismo cromosoma; de esta forma, no es posible que se separen durante la meiosis y habrán de ser heredados juntos, como grupo; entonces, los genes alojados en un mismo cromosoma se encuentran **ligados**.

Dentro del grupo de científicos que lideraba Morgan, se pudo determinar que la Ley de Mendel sobre la segregación independiente no siempre se cumple. Pudieron ver, durante sus trabajos con *Drosophila*, que algunos caracteres se heredan juntos y no de manera independiente; es decir, los genes de un mismo cromosoma que no se segregan independientemente están ligados y así se heredan. Durante la gametogénesis emigran en paquete, con el mismo cromosoma.

Herencia ligada al sexo

Como ya se mencionó, no todas las características son heredables conforme a las Leyes de Mendel; tales casos son los del determinismo y la herencia ligada al sexo.

Hemos mencionado que cada especie tiene un número característico de cromosomas; éstos, por su función, pueden ser **autosomas**, que se encargan de la transmisión de las características somáticas, y **heterocromosomas** o cromosomas sexuales, que son los que determinan el sexo (son los cromosomas X y Y).

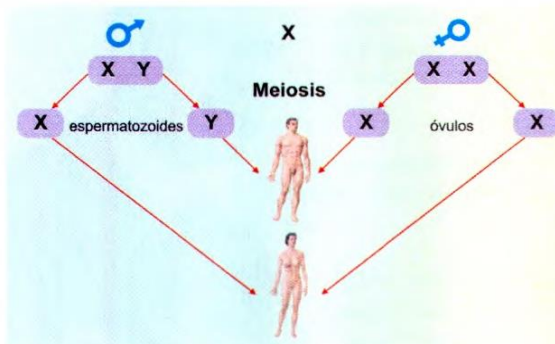


Figura 2.3 Determinación del sexo.

En el hombre hay 22 pares de cromosomas autosomas y el otro par, XY es el sexual. En la mujer hay 22 pares de autosomas y el par sexual es XX. De esta forma, tenemos que en el proceso de formación de los gametos, durante la meiosis, se reduce a la mitad el número de cromosomas propio de la

especie. Así, en los testículos se originan dos tipos de espermatozoides, unos con el cromosoma X y otros con el cromosoma Y; en la mujer se forman óvulos X solamente.

Si un espermatozoide «X» fertiliza al ovulo «X», se formara una mujer (XX) con todas las características que esto implica. Si el espermatozoide «Y» fertiliza al óvulo «X», se engendrará un varón (XY) con el paquete de genes que determinarán las características sexuales del varón (**Figura 2.3**). Por lo tanto, **el hombre es quien determina el sexo de los hijos**. Este modelo de determinación del sexo es válido para aquellos organismos que se reproducen sexualmente, incluido el hombre.

Existen muchas características ligadas a los cromosomas sexuales; se sabe de más de setenta. Dentro de ellos se tiene al **daltonismo** y la **hemofilia**. Ambos padecimientos son resultado de genes anormales recesivos ubicados en el cromosoma X.

En la mujer (XX) los cromosomas X son homólogos, de tal forma que si el gen para el daltonismo, o en su caso para la hemofilia, está en uno de estos cromosomas X, en el otro cromosoma X se encuentra el gen que determina la característica normal que es dominante; así, esta persona no presentará el padecimiento, pero sí será portadora del mismo. En el hombre, los cromosomas sexuales (XY) no son homólogos y no portan los mismos genes, razón por la cual si en su cromosoma «X» existe un gen determinante para una característica anormal, así sea éste recesivo, la anomalía no se presentará ya que no existe en el cromosoma «Y» el alelo dominante correspondiente.

En la **Figura 2.4** se representa la cruce de un hombre hemofílico (hXY) con una mujer normal (XX), y en la **Figura 2.5** se representa la transmisión de hemofilia a partir de una mujer portadora.

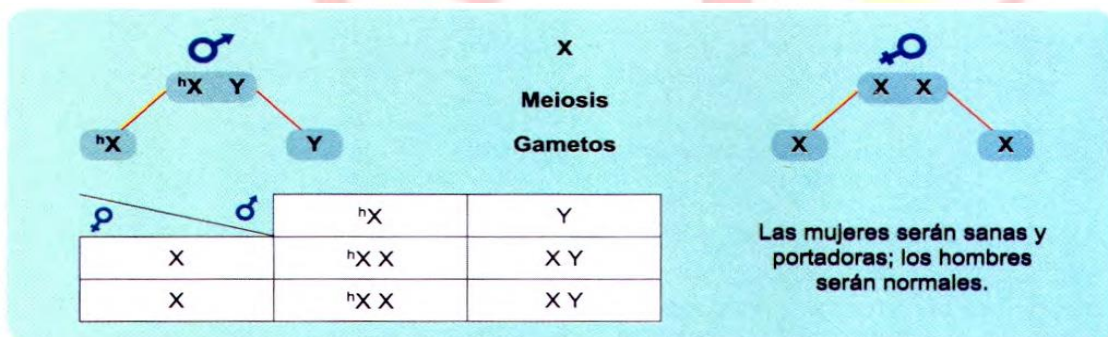


Figura 2.4 Se representa la cruce de un hombre con hemofilia (hXY) con una mujer normal (XX).

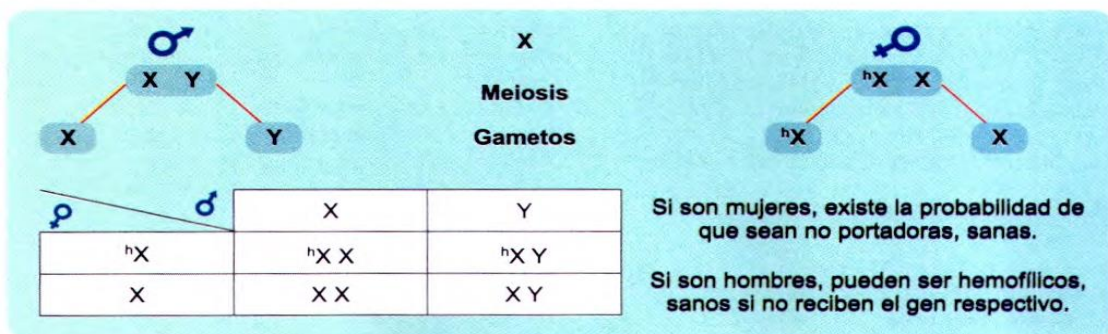


Figura 2.5 Transmisión de la hemofilia a partir de una mujer portadora (hXX).

Por otra parte, es bien sabido que los hombres pueden padecer calvicie, hipertriosis en los oídos, tener barba, bigote y la voz ronca; tienen pene, testículos y todas aquellas características primarias y secundarias propias del ser humano y que están asociadas al cromosoma «Y». En cambio, las mujeres normalmente no tienen barba, no padecen calvicie ni hipertriosis, no poseen pene, tienen sus glándulas mamarias desarrolladas, tienen vagina, etc. Todas son características propias del sexo femenino ligadas al cromosoma «X».

En ambos casos las características asociadas al sexo no pueden ser evaluadas por la genética mendeliana.

2.8 Mutaciones

Por lo general, tanto la elaboración del mensaje codificado como su lectura a nivel de los ribosomas suelen ser bastante exactos. Sin embargo, en

ocasiones (muy raras veces) puede ocurrir una variación en el mensaje; dichas variaciones reciben el nombre de **mutación**.

El origen de una mutación puede presentarse cuando, por accidente, la disposición natural de las bases del ADN y el ARNm resulta alterada. También una mutación se puede originar por la deficiencia de algún determinado tipo de nucleótido o por causas externas, como la influencia de rayos X, drogas, luz ultravioleta, radiaciones, compuestos químicos, etcétera (**Cuadro 2.4**).

Agente mutagénico	Efecto sobre el ADN y el organismo
Rayos X	Rompen la molécula de ADN, con lo cual éste pierde alguno de sus segmentos. El efecto en el organismo se manifiesta como graves daños en la piel, mucosas, células de la sangre y gametos.
Radiación ultravioleta	Rompe la molécula de ADN y provoca la pérdida de segmentos de éste. Puede provocar cáncer de la piel y alteraciones a los gametos.
Temperatura	Rompe las moléculas de ADN propiciando el aumento de las tasas de mutación. Los efectos sobre el organismo son diversos.
Agentes teratogénicos	Alteran la secuencia de ADN y propician ceguera, sordera, anomalías del corazón, retraso mental, etcétera.
Compuestos químicos (agente naranja, nitrosaminas, captanos, thiotepa, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), estreptonigrin, DDT, organoclorados, etcétera)	Alteran la secuencia de ADN a nivel de las bases y de los cromosomas. En general, son tóxicos, teratogénicos, causan aberraciones cromosómicas y provocan cáncer.

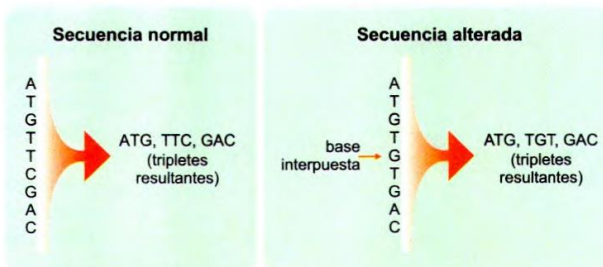
Cuadro 2.4 principales agentes mutagénicos

Durante una mutación, los componentes moleculares del ADN comúnmente se ven alterados por la reacción de algunos componentes químicos con las bases que conforman el ADN. Al ocurrir dicha reacción, automáticamente se cambia la naturaleza del ADN y se altera su información genética natural.

Otra forma de alteración genética o mutación ocurre cuando al ADN se incorpora un compuesto químico similar o análogo, lo cual da lugar a errores durante el proceso de duplicación del ADN o transcripción al ARN.

La mutación genética más común es aquella en la cual aparecen errores en el apareamiento de bases durante la duplicación del ADN. Este cambio en el orden de las bases puede llegar a ser reproducido durante varias generaciones; o bien, puede desaparecer en el transcurso de una o dos generaciones.

Un ejemplo de error en el apareamiento de las bases sería la alteración de una secuencia de bases ATG, TTC y GAC (cuyos tripletes son ATG, TTC y GAC) debido a la interposición de una G entre TT, lo cual nos daría una secuencia de tripletes diferentes: ATG, TGT y CGA (Esquema 2.1).



Esquema 2.1 Ejemplo de un error en el apareamiento.

También puede haber mutaciones a nivel cromosómico, las cuales pueden ser por delección, duplicación, inversión y traslocación, como se verá más adelante.

La mutación afecta la vida celular

Como se mencionó anteriormente, las proteínas son los principales componentes estructurales y fisiológicos de la célula, pues forman parte de hormonas, membranas, ribosomas, citoplasma, etc. Además, son el componente primordial de las enzimas. Así pues, cuando ocurre una mutación por efecto de la interposición de una base o por la reacción química de una base con un agente químico extraño, ocurrirá que la secuencia normal de bases del ADN se verá alterada y, por lo mismo, durante el proceso de transcripción y traducción del mensaje genético se producirán proteínas diferentes a las programadas. Con esto, es muy probable que la estructura y la función de la célula se vean alteradas en sus actividades fisiológicas normales.

Alteraciones cromosómicas



Ilustración 2.9 Los cromosomas se presentan en pares.

Se define al **cariotipo** como el conjunto de cromosomas de una especie, mientras que a su representación en diagrama se le denomina **ideograma**, cuyo ordenamiento de los cromosomas consiste en colocarlos en pares y acomodarlos por tamaño, de mayor a menor.

Actualmente existen técnicas estandarizadas para fotografiar a los cromosomas; sin embargo, en 1966 todavía resultaba imposible identificar cada par de manera adecuada y precisa (**Ilustración 2.9**).

Para elaborar el ordenamiento o ideograma del ser humano, se separan e identifican los 23 pares de cromosomas; 22 de ellos son denominados autosomas y corresponden a siete grupos nombrados con las letras A, B, C, D, E, F y G (con un tamaño determinado); el par de cromosomas sexuales (genosomas) se coloca al final.

Gracias al ordenamiento de los autosomas en pares se puede incorporar el termino **cromosomas homólogos**, llamados así por estar dispuestos en pares o parejas de cromosomas con características similares, sobre todo en longitud y posición del centrómero; mientras que en el par sexual del varón (en el que ambos cromosomas son diferentes) se denominan **cromosomas heterólogos**.

El cariotipo ayuda a determinar la constitución cromosómica de un individuo. Los cromosomas se clasifican según sus bandas, posición del centrómero, su longitud, y por la presencia de protuberancias.

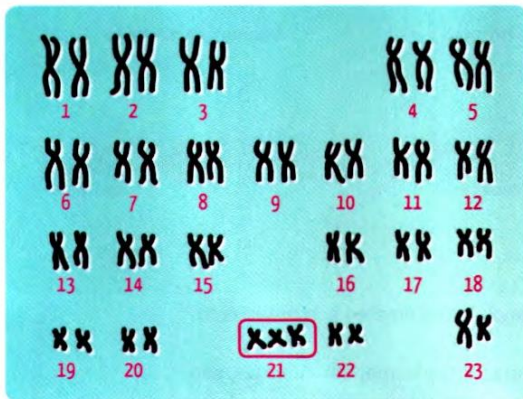


Figura 2.6 Cariotipo humano, con trisomía 21.

A veces, un cariotipo puede detectar anomalías en los cromosomas; puede haber ausencia de un cromosoma o la presencia de un cromosoma de más que, en conjunto, reciben el nombre de **aneuploidias**. También puede presentar anomalías en los propios cromosomas.

Cuando el cariotipo reporta un cromosoma menos, el individuo afectado se denomina **monosómico**

(un cromosoma en lugar del par). Cuando hay un cromosoma de más, el individuo recibe el nombre de **trisómico** (tres cromosomas en lugar del par); es decir, una **poliploidia** (Figura 2.6).

Los cariotipos son muy útiles en la detección de algunas enfermedades de origen genético y en la identificación de especies con fines taxonómicos o biológicos.

2.9 Desórdenes genéticos en los seres vivos

A pesar de las grandes dificultades que implica el estudio de la genética humana, las investigaciones en especies como bacterias, hongos, moscas y ratones han podido resolver algunas dudas sobre la transmisión de las características hereditarias.

Así, hoy se conoce cada vez más sobre los defectos de nacimiento llamados **congénitos**; es decir, **problemas que se presentan desde el nacimiento de la persona y que pueden ser hereditarios o no.**

Algunas anomalías congénitas son hereditarias, mientras que otras son producidas por factores ambientales que afectan el proceso de desarrollo.

Las anomalías en los cromosomas se clasifican en dos categorías: alteraciones en el número (**numéricas**) y en la estructura de los cromosomas (**estructurales**).

Alteraciones numéricas

Síndrome de Klinefelter.

Ocurre en varones, con una frecuencia de uno en 500 nacimientos; las personas que lo sufren presentan 47 cromosomas, teniendo en el par sexual tres en lugar de dos; es decir, XXY. Los individuos con este síndrome tienen genitales externos masculinos, pero los testículos son pequeños y nunca producen espermatozoides; tienen poco vello en el cuerpo y sus pechos se agrandan; en ocasiones tienen retraso mental. Este síndrome es más frecuente en varones nacidos de mujeres de edad avanzada.

Síndrome de Turner.

Se presenta con una frecuencia de uno en 3500 nacimientos; las personas tienen 45 cromosomas, es decir, existe ausencia de uno de los cromosomas sexuales. La apariencia de individuos con este síndrome es femenina; sin embargo, los pechos y los ovarios están poco desarrollados; son mujeres que no tienen menstruación ni ovulan; tienen el cuello grueso, son de estatura baja; sólo 2% de embriones femeninos llegan a nacer, mientras que 98% son abortados espontáneamente.

Síndrome de Down.

Es una de las enfermedades más comunes cuyo número de cromosomas es de 47 y en donde el cromosoma sobrante se localiza en el lugar que le corresponde al par 21, formando una trisomía. Las personas que lo padecen se caracterizan por retraso físico y mental y reducción del tiempo de vida; los enfermos no pueden valerse por sí



Ilustración 2.10 Niña afectada por síndrome de Down (trisomía 21).

mismos. Se presenta con frecuencia en hijos de mujeres mayores (Ilustración 2.10).

Alteraciones estructurales

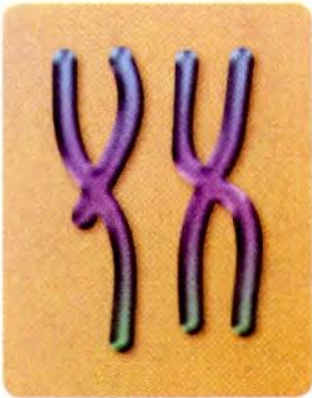


Figura 2.7 Cromosoma con pérdida parcial.

Delección. Pérdida de una parte de un cromosoma. Ejemplo: **síndrome de Cri du chat** o **síndrome del maullido de gato**; en este caso el cromosoma número cinco pierde su brazo corto. Los niños con esta enfermedad presentan su cabeza más pequeña de lo normal, su llanto es similar a un gato que maúlla, presenta retraso físico y mental; a menudo presentan anomalías cardíacas. Otro ejemplo de delección es el **síndrome del cromosoma Filadelfia**, causado por la pérdida del brazo largo del cromosoma 22; esta delección se asocia con niños que tienen leucemias crónicas (**Figura 2.7**).

Traslocación. Parte de un cromosoma que se une a otro. En general, son intercambios de porciones de cromosomas que migran a otros sitios y se acomodan donde no correspondían originalmente.

De manera constante, entre los individuos de cada especie aparecen variaciones genéticas o mutaciones que se heredan a los hijos. Estas mutaciones permiten que las generaciones futuras, en el transcurso de cientos, miles o millones de años, se adapten y puedan permanecer en el planeta. Al irse adaptando, los organismos van cambiando; las poblaciones hacen lo mismo. Este proceso evolutivo es lo que explica la formación de las especies y es el que mantiene la diversidad biológica del planeta. Las mutaciones pueden afectar negativamente a algunos individuos de las poblaciones, pero benefician la evolución de las mismas. Sin mutaciones no hay cambios, y sin éstos no habría evolución de las especies.

BLOQUE 3

IMPLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA VIDA MODERNA

UNIDAD DE COMPETENCIA

Reconoce las aportaciones de la Biotecnología desde la antigüedad hasta la época moderna, destacando sus aplicaciones e influencia en la sociedad.

3.1 Biotecnología

Definición e historia

La **Biotecnología** puede ser definida como toda aquella actividad en la que se emplean organismos vivos o compuestos obtenidos a partir de ellos, para elaborar productos utilizables por el hombre. Dentro de la definición, también se considera a otras actividades nuevas desarrolladas por la **Genética moderna** como la **Ingeniería genética**, los cultivos de células y tejidos, el uso de anticuerpos o vacunas, la producción de microorganismos acuáticos, etcétera.

En el transcurso de su evolución, desde que el ser humano se volvió sedentario, creó pequeños poblados y luego ciudades, y tuvo la necesidad de producir y conservar alimentos para alimentar a los cada vez crecientes grupos humanos asentados en diferentes partes del planeta. Así, entre otras muchas actividades, el hombre desarrollo técnicas para mejorar los cultivos, la crianza de animales y la elaboración de alimentos.

Hace 10 000 años, aproximadamente, los humanos descubrieron la agricultura, luego la ganadería, la rotación de cultivos, etcétera.

Los quesos fueron detectados a partir de la leche fermentada que los hombres del Neolítico probaron accidentalmente, desde los principios de la domesticación de bovinos y caprinos (hace 10 000 años).

La cerveza se produjo por primera vez hace 8000 años, y el pan, hace 6000 ó 7000 años (los sumerios descubrieron la cerveza, los egipcios el

pan).

En China, hace 6000 años aproximadamente, se desarrolló la producción de vinagre, vino y yogurt.

En nuestro país, la tortilla se desarrolló hace 1500 años, y en épocas prehispánicas, también el pulque a partir de la fermentación del líquido aguamiel extraído de los magueyes.

Son muchos y muy variados los ejemplos históricos y prehistóricos acerca del uso de la biotecnología empírica para conservar y modificar los productos agrícolas y animales para beneficio del hombre. De hecho, estos descubrimientos son la base actual de la industria agroalimentaria del planeta.



Ilustración 3.2 Edward Jenner.

Sin embargo, el desarrollo científico y tecnológico de la Biotecnología ocurrió más recientemente con el descubrimiento del proceso de fermentación por **Luis Pasteur**, en el año de 1857.

En el área de la medicina, en 1798 **Edward Jenner (Ilustración 3.2)** inició la experimentación de la **vacunación** para combatir la viruela humana a partir de inoculaciones a humanos con viruela bovina.

En el área industrial, en 1917 se empezó a producir **acetona** a partir de una fermentación bacteriana en almidón de maíz y utilizando *Clostridium acetobutylicum*.

En 1928 **Alexander Fleming** descubrió el **antibiótico**, penicilina producido por el moho *Penicillium*.

Hacia los años de 1934-1939 se desarrollaron las técnicas de cultivos vegetales; en 1960 se desarrolló el proceso para producir **insulina** humana utilizando bacterias; en 1978 se fundó una empresa dedicada a comercializar a gran escala el producto obtenido de este procedimiento biotecnológico.

En 1980, por primera vez se utilizaron comercialmente microorganismos desarrollados para biodegradar petróleo contaminante.

En 1986 se aprobó el uso primigenio de una vacuna contra el virus de la hepatitis B, obtenido biotecnológicamente unos años atrás. En 1982 se desarrollaron los primeros animales transgénicos. En 1985 una compañía europea impulsó y desarrolló las plantas transgénicas pioneras resistentes al ataque de insectos.

En las décadas subsecuentes, el desarrollo de la Biotecnología en las distintas áreas del quehacer humano despegó, no se ha detenido y se presenta como una de las áreas de mayor crecimiento tecnológico del futuro.

Los organismos transgénicos

La **Ingeniería genética** es un procedimiento mediante el cual el hombre puede alterar el ADN de un organismo. Cuando dicho organismo sufre la modificación de su material genético recibe el nombre de **Organismo Genéticamente Modificado (OGM)**. También se le llama **Tecnología del ADN** recombinante; dicho término se refiere al nuevo ADN que se fabrica mediante la unión de fragmentos de ADN que provienen de organismos diferentes; debido a ello, a los organismos resultantes se les conoce como **Organismos Transgénicos (OT)**.

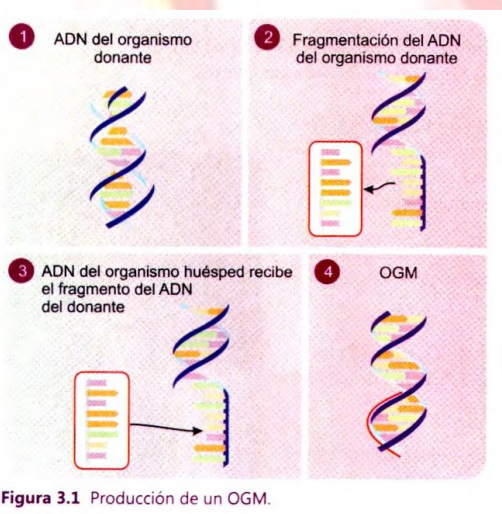


Figura 3.1 Producción de un OGM.

Para llevar a cabo la transferencia de genes de un organismo a otro se deben cumplir los siguientes pasos básicos (**Figura 3.1**):

1. El ADN que será enviado a otro organismo se fragmenta, utilizando enzimas específicas que cortan el ADN en puntos específicos.
2. Los fragmentos de ADN obtenidos y que serán enviados a las células del organismo huésped, y que a su vez serán modificados genéticamente, son transferidos a las células nuevas mediante vectores mecánicos (micropipetas, por ejemplo) o biológicos (virus, por ejemplo).
3. Unión de los fragmentos del ADN recombinante (genes) con el ADN de la célula huésped, que será el organismo modificado genéticamente o transgénico.

Al final, el organismo transgénico integrará los genes que recibió a su propia fisiología y estructura hereditaria funcional. De ellos recibirá las características que le fueron insertadas con los genes nuevos.

Un ejemplo del uso de la Ingeniería genética es la manipulación que se ha hecho a partir de poner el gen humano que controla la producción de insulina en el ADN de bacterias. Esta acción provoca que las bacterias produzcan insulina que luego es purificada y utilizada para tratar a enfermos de diabetes. La diabetes es un padecimiento del ser humano provocado por la insuficiencia de producción de insulina, que controla los niveles de glucosa en la sangre.

3.2 Campos de aplicación

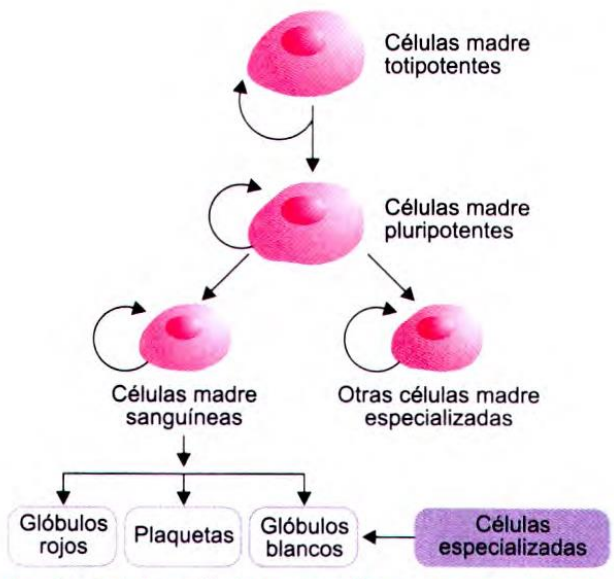
Medicina

Son múltiples y diversos los casos que muestran el avance de la **Biología médica**. El primer caso conocido fue el de la **producción bacteriana de insulina humana**, a partir de que se insertaron genes humanos al ADN de bacterias *Escherichia coli*; posteriormente se fueron reportando otros desarrollos, dentro de los cuales destacan los siguientes:

- + Bacterias transgénicas que contienen un gen humano que controla la producción de fenilalanina, aminoácido edulcorante. Este aminoácido es indispensable para el proceso de fabricación del *nutra sweet*, edulcorante (que endulza) artificial utilizado frecuentemente en los refrescos y otros productos dietéticos.
- + Bacterias transgénicas que producen hormona humana del crecimiento para tratar el enanismo.
- + Producción bacteriana de **interferón** para uso en diversas terapias génicas contra el cáncer.
- + Desarrollo de una vacuna recombinante mediante la introducción de una fracción del virus que produce hepatitis B en otro organismo: la levadura. De esta manera, la levadura puede producir una proteína antigénica que promueve la respuesta inmunitaria en el ser humano, protegiéndolo contra esta enfermedad.
- + Una vez que se descubrió que los animales pueden expresar a los genes humanos, éstos pueden ser modificados genéticamente insertándoles genes provenientes del hombre para estudiarse como

modelos de desarrollo de la diabetes, alzheimer, enfermedades del corazón, cáncer, etcétera

- ✚ Productos bactericidas nuevos obtenidos a partir de estudiar el genoma de bacterias. Una vez detectados los genes vulnerables de estos organismos, son atacados con el producto químico diseñado para ello. En el año 2000 entró al mercado Zyvox, un antibiótico nuevo producido mediante este concepto biotecnológico.
- ✚ El cultivo de bacteriófagos (virus mata-bacterias) es un método antiguo que empieza a reutilizarse, siendo reforzado con conocimientos biotecnológicos nuevos.



Cuadro 3.1 Procedimiento específico para producir células madre.

✚ Aunque es todavía incipiente el método de sustituir un gen humano defectuoso por uno nuevo, sano, las posibilidades se vislumbran muy positivas. En estos casos el gen normal se introduce a las células humanas mediante un adenovirus modificado. Los avances en esta materia son lentos debido a los riesgos que implica el hecho de intervenir directamente en el ADN de las personas.

✚ Un proceso biotecnológico de aplicación nueva es la implantación de células madre,

que están en la médula ósea y en la piel, dando origen a células especializadas de la sangre y la piel. Así, los experimentos médicos actuales consisten en que las células madre puedan ser transplantadas y reemplazar células y tejidos dañados a fin de devolverles su función. Así, se podrán curar enfermedades como el mal de Parkinson, quemaduras, lesiones medulares, diabetes, artritis reumatoide, etcétera (**Cuadro 3.1**).

Biorremediación

La **biorremediación** es el uso de organismos o sus productos para tratar problemas ambientales.

Ejemplos de este procedimiento biotecnológico son las plantas de tratamiento

de aguas residuales que utilizan bacterias, hongos, protozoarios, algas, plantas, etc., para procesar aguas de desecho provenientes de centros urbanos o de industrias. En estas plantas de tratamiento, la materia orgánica es degradada por los micro y macroorganismos, y el agua tratada resultante contiene una concentración sustancialmente menor de contaminantes, con lo cual se beneficia al ambiente y a los seres vivos en general, incluido el ser humano.

Otro ejemplo es el uso de **pseudomonas**, el microorganismo desarrollado en 1970-1980 para biodegradar el petróleo contaminante proveniente de los derrames accidentales y provocados. El petróleo es una fuente orgánica de carbono que aprovechan bien las bacterias, que bajo condiciones especiales de concentración de nutrientes pueden degradarlo. En el proceso de la biorremediación se controlan los nutrientes necesarios para las bacterias, que son el fósforo y el nitrógeno; también se controla el pH entre 6 y 8; la temperatura debe permanecer entre 15°C y 45°C; la humedad y el oxígeno deben estar en condiciones óptimas según el cultivo utilizado para la remediación.

Otra aplicación de la biorremediación es para la concentración de metales pesados por medio de organismos. El proceso es difícil, pero ambientalmente muy amigable con el entorno. Así, se pueden extraer del ambiente cadmio, arsénico, plomo y mercurio, por ejemplo; los metales concentrados en las bacterias pueden ser recuperados y reutilizados en los procesos industriales que los originaron.

Producción de hormonas y antibióticos

Mediante Biotecnología se pueden producir promotores del crecimiento que tienen un efecto específico para mejorar el crecimiento animal, eficientar la conversión alimenticia, etc.; todo ello para producir más carne, leche, huevos y de mejor calidad alimenticia y comercial. Ejemplo de ello es la producción de hormonas **esteroidales** y **hormonas del crecimiento**.

Los **anabólicos** son hormonas artificiales derivadas de esteroides (testosterona) que favorecen la retención de nitrógeno, la formación de glóbulos rojos y la acumulación de calcio y fósforo, factores que permiten el aumento de peso de manera considerable.

En 1948 se realizaron los primeros experimentos en que se usaron hormonas para promover el crecimiento animal: los animales tratados con las **hormonas sintéticas**, denominadas **estibestrol** y **testosterona**, aumentaron entre 10 y 15% de peso por día, más que los animales que no recibieron las hormonas, aunque estuvieran castrados para promover su

engorda.

La hormona del crecimiento también ha sido utilizada para hacer crecer a los animales y aumentar la producción lechera. Esta hormona también es empleada en seres humanos con problemas de enanismo.

La hormona del crecimiento se produce insertando los genes animales que codifican la producción de esta hormona al ADN de microorganismos, que son los encargados de producir masivamente la hormona.

Un **aspecto negativo** del uso de hormonas en la producción animal es que estos compuestos pueden afectar la salud de los animales y de los humanos que consumen los productos obtenidos a partir de los animales tratados.

Un aspecto particular muy importante es la producción biotecnológica de antibióticos para atacar enfermedades producidas por bacterias y hongos. Ejemplos de ello son la **penicilina** y **cefalosporinas** que inhiben la síntesis de la pared celular de las bacterias, destruyéndolas; también está la **eritromicina**, que inhibe la síntesis proteica de las bacterias.

La Biotecnología y la ciencia forense

Mediante el análisis de los grados de semejanzas y diferencias entre las bases púricas y pirimídicas que conforman el ADN de los organismos de las mismas especies o de especies diferentes, incluido el hombre, se pueden establecer grados de parentesco, desórdenes genéticos, incidencia de enfermedades infecciosas, etc. Todo ello tiene gran valía en los procesos para tratar o prevenir enfermedades de tipo genético o infecciosas, además de servir de soporte para dirimir disputas originadas por diferencia de criterio humano en cuanto a paternidad o alguna otra relación familiar.

La Biotecnología, incluso, también tiene aplicación en la medicina forense y la arqueología forense, cuando es aplicada para resolver crímenes o establecer la filogenia de algún fósil o resto humano reciente o antiguo. Ya son bien conocidos los casos en que un asesino fue atrapado porque dejó restos de sus fluidos o piel (conteniendo ADN), en la escena del crimen. Esto se logra debido a que el ADN de cada ser humano es diferente; es la huella digital genética de cada persona.

La Biotecnología y los trastornos hereditarios

Analizando la **secuencia genética** o **genoma** del ser humano, así como el número y composición de los cromosomas, es posible detectar algunos trastornos hereditarios que pueden ser prevenidos o combatidos.

Algunos trastornos hereditarios son heredados por un padre o por los dos: el enanismo es heredado por uno de los padres; enfermedades del metabolismo, provocadas por consanguinidad entre ambos padres; la hemofilia es heredada por las madres, etcétera.

En otros casos, por eventos azarosos ocurren anomalías en los cromosomas, lo cual se manifiesta de diferentes maneras. Un ejemplo es el **síndrome de Down**, que afecta a las personas que tienen un cromosoma de más (trisomía) en el par cromosómico número 21.

Muchos de los trastornos de origen genético pueden evitarse cuando son detectados a tiempo, antes de que los seres humanos inicien sus actividades de procreación. Así, pueden prescindir de tener hijos que seguramente padecerían algún tipo de enfermedad hereditaria. Su mejor opción si desean tener vástagos sería la adopción.

El genoma humano y las terapias génicas

A partir del año 2003 el **genoma del ser humano** fue decodificado. Después de esta fecha se supo que toda la información genética del hombre está representada en más o menos 30 000 genes que constituyen su ADN.

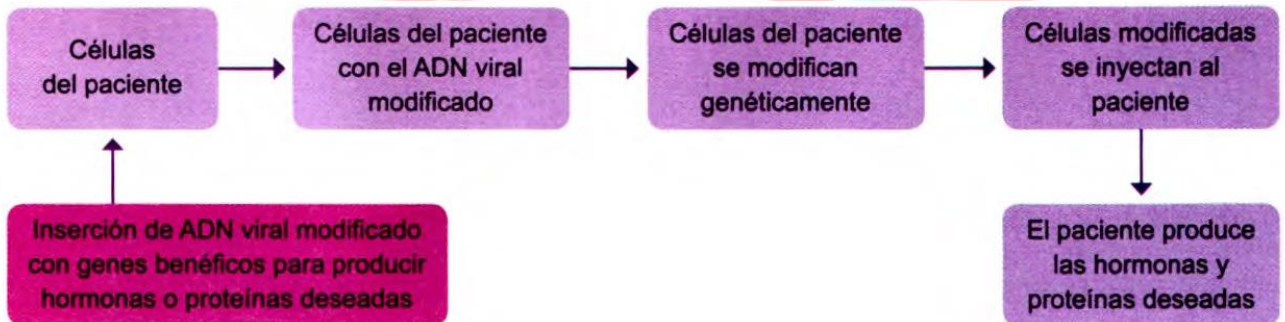
Una vez que se terminó la secuenciación del ADN del ser humano, ¿cuál es el paso siguiente? Es obvio que muchas de las investigaciones se volcaron hacia los métodos que podrían desarrollarse para modificar la secuencia del genoma humano a fin de erradicar las enfermedades que históricamente lo han afectado y diezmado.

Así, se han descubierto nuevas tecnologías y biotecnologías y se han fortalecido otras preexistentes, como es el caso de la terapia génica.

La **terapia génica** consiste en introducir material genético en una célula para eliminar un proceso patológico; con ello se corrige un defecto genético, se le añade una nueva función o se elimina una función concreta.

Un ejemplo es la aplicación de virus oncolíticos que sólo se pueden replicar en células tumorales y destruirlas. No se pueden replicar en células sanas.

A continuación se presenta un esquema acerca del procedimiento de Ingeniería genética para que un ser humano tratado produzca proteínas u hormonas que, debido a alguna alteración genética, no puede producir de manera natural y normal.



Industria

En el ramo de la industria, los avances biotecnológicos se están dando de manera significativa: se ha logrado producir plantas y productos vegetales que resisten mayores periodos de almacenamiento; semillas que producen más cantidad de aceite comestible; algodón que sirve para producir hilados y tejidos de mayor calidad; bacterias y levaduras fermentantes para generar mejores quesos, yogurt y bebidas alcohólicas; bacterias degradadoras de aceites usados, basura, plástico, etc.

Las industrias que más han crecido en los últimos años son aquellas relacionadas con la:

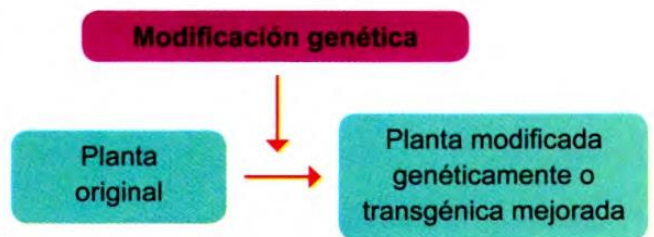
- ✚ Producción de plaguicidas y herbicidas.
- ✚ Transformación de residuos peligrosos y no peligrosos, como el petróleo y la basura.
- ✚ Farmacéutica.
- ✚ Producción de semillas mejoradas para el consumo humano y animal.
- ✚ Alimentaria: quesos, cervezas, alcoholes, yogurt, edulcorantes dietéticos, etcétera.
- ✚ Producción de aminoácidos para consumo animal y humano.

- ✚ Generación de alcohol, biodiésel, metano y otros «biocombustibles» a partir del cultivo intensivo de microorganismos.
- ✚ Biotatálisis para producir enzimas muy utilizadas en la industria: proteasas, celulasas, amilasas, lipasas, catalasas.
- ✚ Obtención de polímeros biodegradables (para producir jabones biodegradables, por ejemplo) provenientes de plantas y animales.

En fin, el futuro de la Biotecnología industrial está a la vuelta. Actualmente se encuentra en etapa de desarrollo industrial un gran número de procesos que ya fueron realizados en el laboratorio. El escalamiento es difícil pero sólido y sostenido. No en vano la industria biotecnológica es una de las que más ha recibido inversión bursátil. Los hombres de negocios están apostando su dinero al futuro de esta industria. Todo indica que van a ganar.

Agricultura

La **Biotecnología agrícola** es una ciencia que estudia la modificación de las características genéticas de los cultivos para producir plantas mejoradas, resistentes a insectos y enfermedades; con ello se obtienen productos de mejor calidad que generan más beneficios económicos para los agricultores (**Esquema 3.1**).



Esquema 3.1 Etapas de formación de una planta transgénica.

Un ejemplo es el procedimiento biotecnológico mediante el cual se lleva a cabo la transferencia de genes codificadores de proteínas provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, hasta plantas; con este procedimiento los cultivos se vuelven resistentes a insectos ya que producen una exotoxina que provoca la destrucción del tracto digestivo de los insectos. Las proteínas tóxicas que se generan en las plantas modificadas y protegidas genéticamente no son tóxicas para otros organismos.

En la actualidad ya se cultivan masivamente transgénicos resistentes a insectos; algunos de ellos son la papa, el maíz, diversas leguminosas (como la soya y el frijol), el algodón, entre otros.

Mediante la Biotecnología agrícola también se pueden obtener plantas que puedan sobrevivir en suelos salinos y secos, o que sean ricas en minerales y vitaminas. También las hay que producen frutos que resisten más el almacenamiento, conservan mejor el sabor, son más grandes y tienen mejor presentación.

La Biotecnología agrícola es una de las áreas del conocimiento y del desarrollo tecnológico que más ha crecido. Además, se ha demostrado que los productos agrícolas obtenidos a partir de los vegetales modificados genéticamente son inocuos, requieren menos fertilizantes y plaguicidas y son más resistentes y de mejor calidad.

En general, la agricultura se ha visto beneficiada de manera importante por la biotecnología debido a que con ellas el uso de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas tiende a disminuir, lo cual a su vez tenderá a mejorar la calidad del ambiente y a reducir la afectación de la dinámica natural de los ecosistemas.

Por otra parte, la tendencia de las técnicas agrícolas apunta hacia la precisión y la innovación. En el futuro, las plantas serán las fábricas naturales para producir vitaminas, aminoácidos, enzimas, proteínas, vacunas, azúcares, etc. También, serán una de las fuentes de energía renovable importantes para el hombre debido al desarrollo de cultivos energéticos de alto rendimiento. Conforme las reservas de petróleo disminuyan, los vegetales transgénicos se convertirán en una opción esencial.

Ganadería

Los avances en esta área han sido menores; aun así su potencial de desarrollo ha sido enorme. Hasta ahora las investigaciones están enfocadas hacia el incremento de la producción de leche con características alimentarias mayores y con proteínas humanas con aplicaciones médicas (vacunas, anticoagulantes, antialérgicos, etcétera).

La **Biotecnología animal**, concretamente la dirigida hacia la ganadería trata de todas aquellas tecnologías utilizadas para mejorar la producción y mantener la salud de los animales, a fin de lograr un mejor aprovechamiento de éstos para beneficio de las personas.

Aunque sus avances no han sido tan importantes como en la Biotecnología vegetal, se tienen numerosos casos que indican el gran potencial de desarrollo de esta área.

Producción de animales transgénicos mediante vectores virales

Estos vectores se emplean para insertar genes en el ADN de los animales que son modificados genéticamente. Así se han producido vacas transgénicas que producen más leche mejorada y con proteínas funcionales.

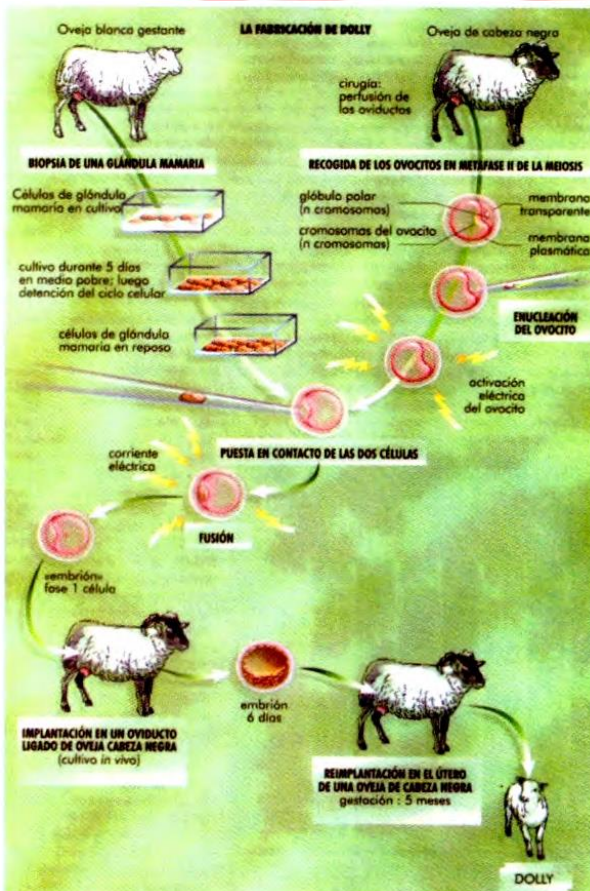


Ilustración 3.10 Proceso específico para la clonación de Dolly.

Una tecnología mejor conocida es la **clonación** de animales, que está a punto de ser empleada a nivel comercial. Con ello se obtendrán animales de granja de mayor calidad y mejores características comerciales (**Ilustración 3.10**). Asimismo la clonación permitirá reproducir ejemplares diseñados para obtener vacunas, anticoagulantes, antialérgicos, etc.; además, con este procedimiento también se contribuirá a la restauración de especies silvestres en peligro de extinción o amenazadas.

Aparte, también se tiene reportada la producción de cerdos transgénicos, a los cuales se les adicionó un gen de espinaca que produce enzimas (desaturasa) capaces de generar ácido linoleico insaturado, esencial para la dieta de los mamíferos. Normalmente ellos no producen este ácido, sino que deben ingerirlo en su dieta.

En la India, se tienen reportes de una carpa modificada que produce más hormona del crecimiento, con lo cual crece hasta siete veces más rápido que la carpa normal.

En Argentina se reportó la existencia de vacas transgénicas que producen leche que contiene hormona del crecimiento, para tratar el enanismo humano.

Por otra parte, hay insectos modificados que producen tela de araña igual que la natural, la cual se utilizará en la fabricación de tejidos resistentes para diversos fines como la elaboración de cables, prendas de vestir, microconductores o chalecos antibalas.

Producción de biocombustibles

El concepto **biocombustible** implica diversos métodos y técnicas diseñadas para utilizar organismos capaces de producir combustibles, de manera directa o indirecta.

Una opción es la producción de **biomasa** (leña, rastrojos, excrementos, etc.), que es empleada directamente como combustible. Algunos árboles de crecimiento rápido como el eucalipto, pino, bracatinga y algunas acacias son ejemplos de ello, pues se producen para obtener leña.

Por otra parte, es bien conocido el gran desarrollo actual de producción de alcohol a partir de la fermentación de los azúcares que se generan en el maíz, la yuca, la caña de azúcar, la remolacha, la malanga y otros vegetales. En algunos países como Brasil, la producción de **etanol** a partir de biomasa es muy importante y se usa como complemento carburante para motores de combustión interna.

Los **bidigestores** para obtener metano a partir de excretas animales y humanas, también son bien conocidos. En estos dispositivos se cultivan bacterias anaerobias que degradan la materia orgánica de los desechos y entre otros gases producen metano enriquecido, lo cual permite que los gases resultantes de la fermentación (**biogás**) puedan ser utilizados en

hornillas, motores y lámparas.

Un último ejemplo de organismos productores de combustibles son las **microalgas** que en cultivo intensivo y producto de la fotosíntesis que llevan a cabo, producen oxígeno (**Esquema 3.2**), que recolectado y refinado, puede servir de combustible para equipos apropiados.



Esquema 3.2 Fórmula de la fotosíntesis.

3.3 Bioética

Desde que se inició la producción y el uso de los organismos transgénicos, también aparecieron grupos de personas que se opusieron a ellos. Los temores eran diversos: que se podría contaminar al ser humano con genes indeseables; que se generarían organismos patógenos nuevos; que el hombre no debería alterar el curso de la naturaleza; que se modificaría drásticamente el curso de la evolución, entre otros muchos argumentos aún no sustentados (Ilustración 3.11).

El hecho es que el uso de cultivos vegetales y animales transgénicos ya está muy extendido y afortunadamente los temores que se han planteado no se han hecho realidad. Ya van más de 10 años de consumo continuo de diversos granos producidos biotecnológicamente; en la actualidad hay más de 400 millones de hectáreas plantadas con especies mejoradas genéticamente y no se han reportado accidentes genéticos. Por el contrario, los resultados han demostrado que los organismos genéticamente modificados son prácticamente equivalentes a los no modificados. También es un hecho que el uso de los transgénicos está mejorando la calidad y rendimiento de las cosechas; además, está disminuyendo el uso de plaguicidas y herbicidas (para bien del ambiente y de los seres vivos).

Todo parece indicar que la producción y utilización de transgénicos continuará y que en los próximos años habrá plantas más resistentes al calor, al frío y a las sequías, que producirán más y nuevos alimentos que, urgentemente, necesita la población humana. **La Biotecnología hará que los cultivos vegetales, la ganadería, la acuicultura, la apicultura y otras actividades productivas primarias tengan nuevas modalidades de producción.**

No hay duda de que habrá mejores cosechas, mejor ganado, un ambiente más sano y cura contra diversas enfermedades de origen genético o provocadas por organismos patógenos. Los sistemas productivos serán más eficientes, rentables, sostenibles y serán la base del progreso y bienestar de la humanidad.

Sin embargo, aún quedan algunos hechos e interrogantes por resolver.

1. Algunas empresas biotecnológicas están patentando los genes humanos, animales y vegetales que vienen descubriendo para aprovechar comercialmente cualquier forma de utilización de los mismos.
2. Las empresas biotecnológicas más poderosas tienden a monopolizar comercialmente la producción y el uso de los transgénicos, además de crear dependencia tecnológica hacia los consumidores de semillas modificadas.
3. Se patenta y se restringe el uso de semillas transgénicas ratificándose la dependencia tecnológica debido a la secrecía científica.
4. Se ha venido patentando buena parte del genoma humano descifrado. ¿Es esto correcto?
5. Las grandes y abundantes cosechas transgénicas, baratas, harán que los precios de los granos producidos de manera tradicional se desplomen, generando más pobreza en el sector campesino de los países pobres.
6. Aún no se conoce bien cómo se activa el flujo genético de los organismos transgénicos en el medio natural. ¿Cuál es su efecto sobre otras especies, su biología, su comportamiento, fisiología, ecología, etcétera?
7. ¿Qué pasará con los peces y otros animales transgénicos que se fuguen de los cultivos e interactúen con los demás organismos silvestres?
8. Es evidente que al haber mayor disponibilidad de alimentos y energía para la población humana y menos enfermedades que la diezmen, ésta tenderá a aumentar en número. ¿Qué pasará con la

dinámica de nuestra población? Al final tal vez haya más contaminación, más deforestación, hacinamiento, pobreza, degradación ambiental, marginación, etcétera.

9. Será necesario crear nuevas leyes, normas, reglamentos, etc., para controlar el uso de los transgénicos.

En fin, nos encontramos ante una revolución tecnológica que está cambiando nuestros sistemas productivos y todo lo que ello conlleva. Esta sacudida socioeconómica nos está llevando hacia horizontes nuevos con resultados buenos y malos, a los cuales habremos de adaptarnos.

El descubrimiento de la agricultura (hace 10 000 años, aproximadamente) y la ganadería trajeron consigo el sedentarismo humano y con ello el apropiamiento de la tierra, el crecimiento poblacional, la creación de ciudades y servicios, el intercambio comercial, las relaciones laborales, la aparición de pestes, la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el agotamiento de suelos, erosión, la contaminación, la creación y acumulación de capitales y poder, etcétera. ¿Por qué habríamos de pensar que la Biotecnología no generaría efectos parecidos? El uso de los transgénicos no podrá ser detenido. Habrá éxitos y fracasos, los cuales serán ponderados y publicitados para resaltar sus bondades o perjuicios. ¿Qué pasará al final? La historia lo dirá.

Ante tal situación, ¿qué debemos hacer los mexicanos? Éstas son algunas opciones:

Opción A. Actuar y engancharse en la revolución biotecnológica. Así compartiremos los beneficios del desarrollo disminuyendo la dependencia tecnológica.

Al actuar debemos hacerlo con una política nacional agresiva, selectiva, bien planeada, irrevocable y contundente para desarrollar y solventar algunos de los problemas que aquejan al país: falta de alimentos, contaminación, deforestación, problemas de salud, productividad agrícola baja, producción agropecuaria dependiente de otros países, agotamiento de los recursos naturales. Es obvio que también deberemos enfrentar y resolver los problemas de toda índole que se generarán en el proceso.

Opción B. No actuar, dejando que otros países lo hagan para ver qué sucede y qué éxitos y fracasos tienen. Mejor compremos productos que ya hayan sido demostrados como buenos y adquiramos tecnología. La historia del desarrollo científico y tecnológico de nuestro país está plagada de ejemplos donde no hemos actuado; esto nos ha traído como consecuencia

la dependencia técnica, científica, alimentaria, económica, energética, etc.

Esta opción nos deja fuera del desarrollo económico y social, quedándonos como espectadores y consumidores de los avances de los sistemas productivos. Es la diferencia entre los países desarrollados y los países pobres o en vías de desarrollo.

BLOQUE 4

EVOLUCIÓN

UNIDAD DE COMPETENCIA

Distingue las principales evidencias de la evolución biológica, relacionando la selección natural y artificial con la biodiversidad de las especies en nuestro planeta. Asimismo describe las principales causas de la variabilidad genética y del cambio evolutivo, valorando los mecanismos biológicos que permiten la adaptación de los organismos a los cambios ambientales.

4.1 La evolución y sus evidencias

Hacia el año 1800 se tenía la idea de que los organismos son inmutables a lo largo de su historia; es decir, que las especies son fijas (fijismo) y que en el transcurso del tiempo aparecen y desaparecen sin cambiar. Este concepto no aceptaba la continuidad evolutiva de los seres vivos y el hecho de que todos los que habitan actualmente en la Tierra provienen de organismos antecesores.

En la actualidad se acepta universalmente la idea de la **evolución orgánica**, en la que un antecesor común fue el origen de todas las especies que existen y han existido en nuestro planeta.

El término **evolución** hace alusión al fenómeno mediante el cual algo se desenvuelve, desarrolla y cambia; es la transformación y el cambio ordenado y gradual de un estado a otro a lo largo del tiempo.

La evolución se da en la parte inorgánica y orgánica (biológica) del planeta.

La **evolución inorgánica** incluye los cambios que se van dando en el suelo, la topografía, en los compuestos químicos, en la atmósfera, etc., y la **evolución orgánica** ocurre en los seres vivos.

Así, el origen y la evolución de nuestro planeta es un ejemplo claro de evolución inorgánica. Hace 4500 millones de años varios protoplanetas que se movían en el espacio se unieron, se fusionaron y dieron lugar a lo que ahora es el planeta Tierra. En un principio, el planeta no tenía agua, vegetales, animales, ni ningún tipo de organismo vivo. Era una masa caliente de materia que se fue enfriando y fragmentando. Posteriormente, el agua y otros gases provenientes del interior de la Tierra formaron la atmósfera. Después, el agua condensada formó los ríos, lagos, mares y océanos, y de esta manera, todo quedó listo para que aparecieran los primeros organismos vivos. En general, así fueron las etapas de la formación y evolución de la Tierra.

Incluso ahora es fácil detectar la evolución inorgánica cuando vemos la erupción de un volcán y cuando observamos los procesos erosivos provocados por el agua, el viento y las actividades humanas.

La **evolución orgánica o biológica**, que es más compleja, es la expresión de los cambios anatómicos, morfológicos, bioquímicos, fisiológicos, etológicos, etc., que ocurren en todas las poblaciones del mundo a lo largo de grandes periodos. Es importante señalar que se da sólo en poblaciones y no en individuos aislados.

Por lo mismo, la **evolución biológica** se define, con más exactitud, como el cambio en la diversidad y la adaptación de las poblaciones de organismos al ambiente.

En general, la evolución favorece a los individuos, a quienes la variación les confiere algunas ventajas en relación con los demás miembros de su población o con otras especies.

Como ya se mencionó, la evolución se da en las partes inorgánica y orgánica del planeta, en un proceso permanente de transformaciones graduales de un estado a otro con el transcurso del tiempo.

El concepto evolutivo actual implica que el Universo, las galaxias, los sistemas solares, nuestro planeta y todos los seres vivos han evolucionado constantemente desde que fueron formados (el Universo, hace 10 a 15 mil millones de años; el sol, hace 5 mil millones de años; la Tierra, hace alrededor de 4 500 millones de años, y los primeros organismos vivos hace 3 800 millones de años). Esta evolución del medio vivo y no vivo se ha

dado en procesos azarosos no programados con antelación, pero que responden a fenómenos naturales que concuerdan con leyes de la física, química, energía, etcétera.

Los fósiles: evidencias de la evolución

Desde su origen, los seres vivos y el planeta han venido cambiando y lo seguirán haciendo.

Los **fósiles** son una prueba directa de la evolución de los seres vivos. Son estudiados por la paleontología a fin de interpretarlos, clasificarlos y obtener información diversa acerca de cómo vivieron los organismos en épocas pasadas.

La palabra **fósil** hace referencia a huesos, dientes, conchas, tejidos, señales, huellas, etc., de organismos animales y vegetales muertos que han prevalecido a lo largo de miles y millones de años.

En el siglo XVII, y un poco antes, se tenía la idea de que los fósiles eran restos de organismos que habían sido arrastrados por las aguas cuando el diluvio (señalado en el Antiguo Testamento) llenó las **oquedades** del mundo. Posteriormente, **Charles Lyell** señaló que la faz de la Tierra había sido y estaba siendo conformada por fuerzas naturales, no por el diluvio. En el siglo XIX, el francés **Lamarck** teorizó que los fósiles eran restos de plantas y animales extintos.

En 1796 y 1815, **George Cuvier** y **W. Smith**, de Francia e Inglaterra, respectivamente, hicieron excavaciones y descripciones bastante detalladas de fósiles, que permitieron sentar las bases de la paleontología moderna.

Fue **Darwin** quien observó primero la relación evolutiva entre las especies fósiles y los organismos vivientes. Detectó que los organismos actuales eran descendientes de los organismos fósiles que había estudiado. No fue sino hasta mediados del siglo XX que diversos autores como **G. G. Simpson**, **E. H. Colbert**, **T. Dobzhansky**, **A. S. Romer**, **E. Mayr** y otros, llevaron a cabo estudios más detallados y científicos de los fósiles para conocer su estructura, relaciones, épocas en que vivieron, etc., y determinaron las grandes líneas de desarrollo evolutivo de los seres vivos a partir del origen de la vida en nuestro planeta.

Estudiando el esqueleto de los vertebrados, o partes de él, es posible conocer la postura y el movimiento utilizados por el animal, así como los músculos de que se valía. Los restos fosilizados de un huevo de ave o de

reptil «hablan» mucho sobre el desarrollo embrionario de estos animales, así como sus formas de reproducción y de vida. Una huella de dinosaurio puede ser fuente informativa confiable para saber su peso, forma de locomoción, dirección en que viajaba, hábitat, etc. Además, la ubicación y localización de los fósiles nos pueden dar una idea bastante exacta de la edad geológica de los seres vivos que se conservaron bajo esta forma, al estudiar la secuencia cronológica en las capas de roca, sedimentos, tierra u otros tipos de materiales geológicos.

Una forma de fosilización es la **petrificación** o **fosilización directa** en que las partes duras y algunas blandas de los organismos son sustituidas por minerales a base de sílice, carbonato de calcio y otros. Ejemplos de fósiles petrificados son los **esqueletos de mamuts** y **dinosaurios** que constantemente son desenterrados en diversas partes del mundo (**Ilustración 4.2**). También son muy conocidos los caracoles petrificados, tan abundantes en todo el planeta.



Ilustración 4.2 Dinosaurio petrificado.

Otra vía de fosilización son los **moldes** y **vaciados** que se formaron cuando se endurecieron los materiales alrededor del organismo muerto y enterrado. O bien, cuando se formaba el molde y el organismo se desintegraba, el hueco llenado por minerales formaba vaciados o copias de las estructuras u organismos originales. Los moldes de hojas, tallos y esqueletos son ejemplos de este tipo de fosilización (**Ilustración 4.3**).

También puede ocurrir la fosilización por medio de la **inclusión de los organismos en resinas** que forman el muy conocido **ámbar**. Son bastante conocidos los insectos fosilizados en fragmentos de ámbar, muy comunes en el estado de Chiapas (**Ilustración 4.4**). Otra forma de conservación fósil es por medio del entierro en cenizas, breas o asfalto.

Finalmente, aunque las huellas no corresponden a restos de organismos, también son consideradas fósiles, pues fueron elaboradas por seres vivos. Ejemplos de huellas son las pisadas, túneles de gusanos y madrigueras (**Ilustración 4.5**).



Ilustración 4.3 Fósil de la hoja de una planta, formado por medio de un molde.



Ilustración 4.4 Insectos fosilizados en ámbar.



Ilustración 4.5 Huella del *Australopithecus afarensis* dejada en una capa de ceniza en África, hace 3.6 millones de años.

Etapas embrionarias de antepasados comunes, como evidencias de la evolución.

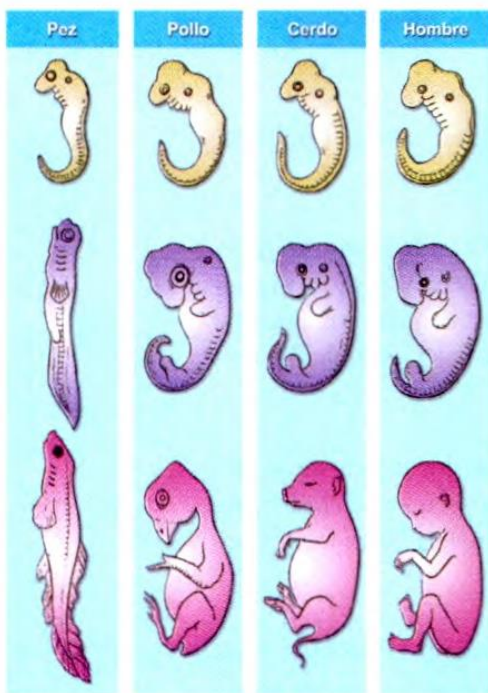


Figura 4.1 Etapas del desarrollo embrionario en pez, pollo, cerdo y hombre.

La expresión «La ontogenia es la recapitulación de la filogenia» se refiere a que las especies animales, en su crecimiento embrionario, repiten el desarrollo evolutivo de sus antecesores. Es así, como las etapas embrionarias primigenias de los vertebrados son extremadamente parecidas y no es fácil encontrar diferencias morfológicas entre los embriones de humanos, cerdos, pollos, ranas y peces (**Figura 4.1**).

Como se puede observar en la figura anterior, las primeras etapas de los embriones de cada una de las especies ilustradas son extremadamente parecidas: en los embriones se presenta un tubo nervioso dorsal, el notocordio, hendiduras branquiales y cola. Con el tiempo cada embrión se desarrolla y

los fetos resultantes se diferencian poco a poco hasta obtener las características propias de cada especie.

Para ejemplificar cómo las especies en su desarrollo embrionario repiten el desarrollo evolutivo de sus antecesores, diremos que el ser humano, en su etapa embrionaria parece un pez con hendiduras branquiales, cola, corazón con una aurícula y un ventrículo y un riñón propio de un pez. Posteriormente, el embrión se desarrolla más y va adquiriendo la forma de un reptil sin hendiduras branquiales, con vértebras fundidas, un nuevo riñón diferente al de los peces y el corazón desarrolla una aurícula con dos

cavidades. Finalmente, el embrión parece ya un mamífero con el corazón conteniendo 4 cavidades, sin notocordio, con columna vertebral, riñón especializado, etc., hasta parecer un mamífero simiesco y posteriormente un ser humano completo típico. Es la filogenia recapitulada del hombre.

Anatomía comparada de especies afines, otra evidencia evolutiva

Cuando se compara la estructura de los diferentes grupos animales afines, se puede observar la similitud en la disposición de sus órganos fundamentales, que son homólogos y que además son similares en estructura, ubicación, aporte sanguíneo e inervación. Un ejemplo muy conocido es el caso de la homología entre la aleta delantera de una orca, una extremidad superior humana y el ala de un murciélago; tienen casi el mismo número de huesos y sus nervios y vasos sanguíneos son similares. En general, el sistema óseo, circulatorio y excretor de los vertebrados es similar.

Las **estructuras homólogas** son similares, pero tienen una función diferente para volar, remar o nadar, tomar objetos, etc.; son el resultado de cambios evolutivos de adaptación de cada especie a su medio. Las estructuras homólogas de especies o grupos taxonómicos diferentes indican un antecesor común.

Análisis bioquímicos y genéticos como pruebas evolutivas

Otra forma de determinar el **emparentamiento evolutivo** de organismos, es utilizando pruebas químicas como las reacciones antígeno-anticuerpo para determinar la similitud entre las proteínas del plasma de dos o más especies. Al unir el plasma sanguíneo de dos especies diferentes se provoca una precipitación evidente, producto de la reacción de antígenos y anticuerpos. Entre menos precipitación ocurra, hay mayor cercanía evolutiva entre las especies ensayadas y viceversa. Esas pruebas han demostrado que las proteínas sanguíneas de los mamíferos son muy semejantes. También han confirmado que el hombre está emparentado con los grandes monos.

Una molécula que es estudiada con frecuencia para determinar las relaciones evolutivas de las especies, es el ADN; para empezar, un aspecto sumamente importante es que todos los seres vivos, desde una bacteria hasta el ser humano, tienen ADN que regula sus procesos hereditarios; esta universalidad del ADN sugiere, desde luego, relaciones evolutivas entre todos los seres vivos.

Analizando más a detalle, el ADN contiene bases **púricas** y **pirimídicas**, cuya secuencia varía de una especie a otra. Entre más afinidad exista en las secuencias de las bases del ADN de dos especies, más emparentadas estarán.

Ahora bien, tomando en cuenta el grado de similitud entre secuencias de aminoácidos o de nucleótidos del ADN de varias especies, se tiene que el citocromo C de los humanos está compuesto por 104 aminoácidos, el del chimpancé también contiene 104, el del caballo 11 y el del atún 21. A mayor similitud en el número de aminoácidos, existirá parentesco. Sabemos con certeza que el chimpancé está muy emparentado al hombre y menos relacionado evolutivamente al atún y al caballo.

Asimismo, al analizar las secuencias exactas de los aminoácidos se tiene que entre el chimpancé y el humano la variación es de un solo aminoácido diferente, lo cual confirma la cercanía evolutiva entre las dos especies.

Por otra parte, se ha observado que los cromosomas de las especies humanas y de los grandes primates (gorila, chimpancé y orangután) son muy parecidos en cuanto a tamaño, posición del centrómero y bandas. La diferencia significativa es que el ser humano tiene 23 pares de cromosomas y los primates 24 (Ilustración 4.6).



Ilustración 4.6 Los primates al igual que el hombre presentan semejanza en los cromosomas.

Pruebas biogeográficas de la evolución

Cuando se estudia la **distribución de las especies**, se llega a la conclusión de que éstas han evolucionado adaptándose a los diferentes **ecosistemas, hábitat y nichos ecológicos del planeta**. Otro aspecto importante del estudio de la **Biogeografía** es que se ha llegado al consenso de que cuando más aisladas y separadas estén dos áreas biogeográficas, más diferentes serán las especies que las ocupan.

Debido al vulcanismo, la deriva continental y la tectónica de placas, que son fenómenos que desde hace miles de millones de años han venido transformando a nuestro planeta, muchas de las especies que han aparecido y desaparecido en la tierra han sufrido aislamiento geográficos y de todo tipo, lo que ha propiciado su evolución.

Por ejemplo, la planta *Glossopteris* fue muy común en India, Australia, Borneo, África y en la Antártica. Estas regiones (países y continentes) actualmente están muy separadas entre sí, pero anteriormente estaban unidos en el gran supercontinente llamado Gondwana. Cuando Gondwana se separó, también se separaron las poblaciones de *Glossopteris*, mientras que evolucionó de manera independiente en cada región mencionada.

Después de estudiar los pinzones en las Islas Galápagos, Darwin llegó a la conclusión de que todos los pinzones de dichas islas provenían de una sola especie llegada del continente americano (Sudamérica). Esta especie, al llegar a cada isla, fue adaptándose a los diferentes recursos alimenticios existentes y a las diversas condiciones ambientales y ecológicas de las Islas. Así, actualmente en las islas Galápagos viven 13 especies, todas ellas provenientes del ancestro común continental. Aunque son especies diferentes, todas son muy parecidas en cuanto a tamaño, forma, color y canto.

4.2 Primeras ideas sobre la evolución



Ilustración 4.7 George Louis Leclerc.

Aristóteles tenía la idea de que los componentes bióticos de la naturaleza tienden a modificarse desde lo más simple hasta lo complejo. De esa época en adelante, el concepto de evolución se fue conformando poco a poco de tal manera que, cuando **Charles Darwin** y **Alfred Russell Wallace** concibieron, de manera independiente, la teoría de la evolución y formación de especies, ya se tenían algunos conceptos sólidos y claros sobre el tema, que tanto uno como otro incluyó en sus postulados.

Antes de que ellos emitieran sus conclusiones respecto al origen y la evolución de las especies, **George Louis Leclerc**, conde de Buffon (1707-1788) (**Ilustración 4.7**), fue el primer naturalista de los tiempos modernos que recopiló, analizó y sintetizó una serie de ideas e hipótesis acerca del origen de los organismos y su evolución; emitió con

suma claridad la idea de que las especies cambian con el transcurso del tiempo. En su momento, discernió que todas las partes y funciones del mundo están vinculadas y concibió la idea de que las especies se modifican de vez en cuando, pero retienen ciertos caracteres de sus antecesores. Sus ideas influyeron sobre los científicos, investigadores y naturalistas que posteriormente ayudaron a conformar la teoría de la evolución: **Erasmus Darwin** (abuelo de Charles Darwin), **Lamarck**, **Geoffrey St. Hilaire** y **Cuvier** (padre de la Paleontología). **Leclerc** escribió una extensa obra de 40 volúmenes (tardó 55 años en escribirlos) a la que denominó *Historia natural*.



Ilustración 4.8 Erasmus Darwin.

Erasmus Darwin (1731-1802) (Ilustración 4.8) examinó las ideas de Leclerc y en su obra denominada *Zoonomía: Las leyes de la vida orgánica*, deduce que todos los animales de sangre caliente, incluido el hombre, tienen un origen orgánico similar. Afirmaba que las modificaciones de las especies se deben a influencias provenientes del medio ambiente en que viven y que dichos cambios se transmiten a la descendencia; esta idea desembocó en lo que posteriormente se llamó herencia de los caracteres adquiridos, propuesta por Lamarck.

La evolución según Lamarck



Ilustración 4.9 J. B. de Monet Lamarck.

Jean Baptiste de Monet Lamarck (1744-1829) (Ilustración 4.9) introdujo la idea de que los seres vivos deben ser estudiados de manera integral, pues entre ellos existe una cierta relación y continuidad. De hecho, para definir sus ideas en un solo concepto acuñó la palabra **biología**. Las conclusiones de sus diversos trabajos en el campo de la botánica y de la zoología lo llevaron a creer firmemente que existe una sucesión natural entre los organismos del planeta. Además, pensaba que los seres vivos:

✚ Varían por la acción de influencias externas.

- ✚ Tienen la capacidad de adaptarse al medio ambiente gracias a cambios progresivos.
- ✚ Al modificarse, tienen un impulso que los dirige hacia la perfección.
- ✚ Están expuestos a la herencia de los caracteres adquiridos (idea errónea propuesta por Erasmus Darwin), provocada por la **Ley de uso y desuso**.
- ✚ Proviene de un proceso de generación espontánea (hipótesis errónea muy antigua).

Bajo este esquema conceptual, Lamarck pensaba que la jirafa provenía de un animal parecido a un venado que se adaptó al alimentarse de las hojas de los árboles debido a la poca hierba que había en el suelo. Esto habría provocado que el animal alargase su cuello para alcanzar las hojas altas y en el transcurso de generaciones el cuello se habría alargado tanto que dicho carácter se convirtió en una característica más de la organización anatómica del animal, hasta convertirse en lo que hoy llamamos jirafa. Es decir, creía firmemente en la ley del uso y falta de uso y en la herencia de los caracteres adquiridos. El concepto indicaba que en los organismos aparecen nuevos órganos como respuesta a las necesidades de adaptación y que éstos son heredados a los hijos, su idea no era correcta para periodos de tiempo corto, pero si para periodos largos.

Como se puede apreciar, **Lamarck** tiene el crédito de haber reunido toda una serie de ideas propias y de sus colegas para emitir la primera teoría coherente de la evolución en 1809. Ahora sabemos que las creencias relativas al impulso hacia la perfección, a los caracteres adquiridos heredables y a la generación espontánea son falsas. Sin embargo, dejó bien claro y establecido que los organismos cambian o evolucionan gradualmente debido a fenómenos adaptativos. Andaba muy cerca de las ideas que finalmente emitieron **Darwin** y **Wallace** respecto a la evolución y que, poco a poco, fueron aceptadas como verdaderas.

4.3 Teoría de Darwin-Wallace

En su momento, Wallace y Darwin, cada uno por su parte, leyeron *El ensayo sobre la población*, escrito por **T R. Malthus** (1766-1834) (**Ilustración 4.10**), publicado por primera vez en 1798, en el cual señala que las



Ilustración 4.10 T. R. Malthus.

poblaciones crecen en progresión geométrica (2, 4, 8, 16, 32); mientras que los medios de subsistencia se generan o producen en progresión aritmética (1, 2, 3, 4, 5) (**Figura 4.2**). Bajo este precepto, era obvio que en algún momento se debería llegar al estado en que el incremento de la



Figura 4.2 Representación de las ideas de Malthus.

población necesariamente se vería limitada por la falta de recursos para subsistir. Malthus indicaba que para reducir el vicio y la miseria del hombre, habría que emprender mecanismos para regular el crecimiento de la población. Estos conceptos malthusianos generaron la idea de la selección natural, tanto en Wallace como en Darwin.

En 1858, **Wallace** escribió su ensayo denominado *Sobre la tendencia de las variedades*, en el que expuso sus ideas sobre el origen de las especies y se lo envió a Darwin para su revisión y comentarios. Cuando Darwin leyó el ensayo escribió en su diario: «El Sr. Wallace, que actualmente está estudiando la historia natural del archipiélago Malayo, ha llegado casi exactamente a las mismas conclusiones generales (que las mías). Este hecho lo obligo a que rápidamente publicara las ideas de su teoría.

Así pues, aunque con frecuencia la teoría de la evolución está muy ligada al nombre de Darwin, Wallace fue el otro gran participante en el desarrollo de la misma. Simplemente, ambos desarrollaron la misma teoría de la evolución biológica por selección en lugares y en momentos diferentes.

De esta forma, la **teoría Darwin-Wallace** sobre la selección natural para explicar cómo ocurre el origen de las especies y la evolución quedó constituida de la manera siguiente:

1. Todo organismo es diferente a otro debido a que está expuesto a un fenómeno de variación gradual y continua, de tal manera que todos los organismos tipológicamente iguales tienen un antepasado común.
2. Todas las especies de organismos tienden a aumentar en razón geométrica. Sin embargo, en cada generación el número de individuos de una especie permanece casi constante. Esto se debe

a que los organismos están expuestos a una lucha por obtener sus alimentos y sobrevivir, por lo que, bajo condiciones naturales, una parte de la descendencia muere en cada generación como producto de esa lucha. En general, nacen más individuos que los que pueden sobrevivir ante las condiciones del medio y ante la competencia por el espacio y el alimento.

3. En la lucha por la existencia, el alimento y el espacio, sobreviven los más aptos, que son aquellos grupos de organismos que tuvieron variaciones que los facultan más para sobrevivir en un ambiente determinado. En este momento, los menos aptos son eliminados.
4. Las variaciones favorables que hacen que los más aptos sobrevivan se heredarán a las siguientes generaciones.
5. Si continúa habiendo variaciones y la selección natural se sigue dando a lo largo de los años en una población, los descendientes podrán llegar a ser completamente distintos a sus antecesores, hasta formar una especie diferente. Éste es el principio básico de la especiación o de formación de especies.
6. En ocasiones, una población sufre variaciones **inocuas** y, por lo mismo, no será afectada grandemente por la selección natural.

Una vez estructurada, la teoría del origen de las especies por selección natural fue ampliamente aceptada en el mundo científico, aunque no faltaron los detractores. Pero quedó reconocida como el concepto que pudo explicar el fenómeno evolutivo.

4.4 La Genética y la evolución

La teoría sintética de la evolución (neodarwinismo)

Cuando Darwin y Wallace desarrollaron sus teorías sobre la evolución de las especies, no tenían idea de los mecanismos de la genética, ni sabían cómo se transmiten los caracteres hereditarios de los progenitores a sus descendientes.

Con el desarrollo de la **Genética mendeliana** y de la **Genética de poblaciones**, los conceptos conocidos como «factores», «caracteres dominantes», «caracteres latentes», «pangénesis», «pangenes», utilizados en la época de Darwin, tomaron otra dimensión y fueron sustituidos por términos que se aplicaron con más acierto a la realidad de los fenómenos hereditarios y evolutivos, concretamente a la formación de nuevas

especies. Así, se empezaron a usar los términos gen, cromosoma, mutación, alelo dominante, recesivo, ADN, taxón, aislamiento alopátrico y simpátrico, polimorfismo, etcétera.

Desde 1930, el conjunto de conocimientos condensados en la teoría de Darwin-Wallace sobre la selección natural y la confluencia de la Genética, la **Sistemática** y la Paleontología derivaron en una nueva teoría darwiniana revisada, mejorada y enriquecida que se denomina **teoría sintética de la evolución** o **teoría neodarwinista**.

Un evento más, el Congreso sobre genética, celebrado en Princeton en enero de 1947, sirvió para concertar ideas y corrientes de opinión en torno a la teoría sintética de la evolución o teoría neodarwinista, que actualmente se acepta como válida en el campo de la evolución biológica. **Mayr**, uno de los organizadores del Congreso de Princeton, explicó que «la nueva teoría sintética de la evolución» amplió la teoría de Darwin a la luz de la teoría cromosómica de la herencia, la Genética de poblaciones, la idea biológica de especie y otras nociones de Biología y Paleontología». Además, indicaba que la nueva síntesis se caracterizó por rechazar de manera definitiva a la herencia de los caracteres adquiridos y por hacer énfasis en la evolución gradual y el reconocimiento de la importancia decisiva de la selección natural en el proceso evolutivo. La selección favorece la variabilidad, aleatoria principalmente; y en una segunda etapa, aumenta la frecuencia de genes que provocan la variación, aumenta la eficacia biológica y ocurren las **radiaciones adaptativas**, con lo cual se determina la dirección del proceso evolutivo.

La **teoría sintética de la evolución** se soporta y fundamenta en la **teoría de Darwin-Wallace**, en los **preceptos genéticos**, en la **Sistemática** y en la **Paleontología**. En resumen, esta teoría indica lo siguiente:

1. En las poblaciones ocurren variaciones genotípicas graduales y continuas.
2. Los organismos semejantes tienen un antepasado común.
3. Las poblaciones aumentan en razón geométrica; sin embargo, en cada generación, el número de organismos de cada especie permanece casi constante. Esto se debe a que los organismos están sometidos a la selección natural y sobrevive el más apto.
4. Las variaciones favorables que hacen que el organismo más apto sobreviva se heredarán a las siguientes generaciones de acuerdo con las leyes de Mendel.

5. La evolución se da por pequeñas mutaciones y recombinaciones y por el ordenamiento de las variaciones a través de la selección natural. Las variaciones son el resultado de los cambios en la composición genética de las poblaciones, en las cuales la selección natural preserva los genes mejor adaptados. Los genes más aptos se expanden progresivamente en la población.
6. En la evolución hay acumulación gradual de pequeñas mutaciones en el seno de las poblaciones a las cuales invaden. Si la variación y la selección natural persisten, los descendientes de una población pueden llegar a formar especies diferentes a partir de los parientes ancestrales. La historia evolutiva de la vida se refleja en los fósiles, los cuales revelan el proceso evolutivo a base de mutaciones y selección.
7. Se rechaza de manera definitiva la herencia de los caracteres adquiridos.

Población + Variación + Selección = Especiación

Un comentario final es que no se puede aplicar un mismo patrón de especiación para todos los organismos. Algunos mecanismos de formación de nuevas especies son más factibles para ciertos organismos, pero menos probables para otros. Por ejemplo, la especiación por poliploidía es frecuente en vegetales, pero muy poco probable en animales. Asimismo, la especiación simpátrica es casi imposible en las aves que tienen gran movilidad aérea, pero es muy factible en parásitos de hospederos estrictos.

Objeciones a la teoría sintética

Una vez que se llegó al concepto globalizado de la teoría sintética, siguió habiendo científicos que la rechazaron y cuestionaron, a pesar de que la mayoría de los evolucionistas de todo el mundo la aceptaron de manera definitiva.

Dentro de las preguntas y objeciones que le hicieron a la teoría sintética se tiene:

1. ¿El ritmo de evolución de los genes regulados y los genes estructurales, es igual?
2. ¿Qué tipo de especiación es la que más se adapta a los procesos

evolutivos? ¿La especiación es gradual o brusca?

3. ¿Qué pasa con la especiación por **poliploidía**, en que ocurre la duplicación brusca del cúmulo genético? En este caso, la evolución no es gradual, sino brusca.
4. La especiación simpátrica no va de acuerdo con la teoría sintética, pues ocurre rápidamente debido a un aislamiento geográfico de las poblaciones en relación con su medio natural, lo cual provoca divergencia genética.
5. ¿Cómo puede la selección natural mantener el control de varios alelos correspondientes a un mismo gen?
6. ¿Cuánto participa el azar en relación con la selección natural en la teoría sintética?
7. ¿Qué pasa con la especiación de una etapa en que se logra una especie nueva a partir de dos especies progenitoras distintas? Este hecho para nada se apega a la variación gradual de la teoría sintética.
8. Niles Eldredge y Stephen Jay Gould, en 1970, estimaron que la evolución gradual no es correcta. Indicaron que una especie puede pasar millones de años en estabilidad o **estasis**, lo cual indica ausencia de evolución para, posteriormente, de manera brusca, ser reemplazada por otra que presenta un cambio significativo en sus genes. A este tipo de especiación, Eldredge y Gould la denominaron evolución por equilibrios intermitentes, o de puntos, o punteada, e implica que las poblaciones no presentan cambios graduales para formar especies nuevas. En este caso, la variación se va acumulando y en determinado momento la especie nueva se forma abruptamente sin haber producido otras intermedias.

Marcel Blanc (1981), en su artículo denominado «La Teoría de la evolución hoy», señala que la corriente evolucionista de R. Lewontin, H. Carson, G. Bush, M. J. D. White, S. J. Gould y N. Eldredge, entre otros, tiene una visión menos mecanizada de la naturaleza, da mayor importancia al azar y tiende a mantener la integridad de los organismos. Asimismo, minimiza el papel director de la selección natural y acepta a la especiación brusca a saltos.

Los fenómenos biológicos no pueden ser abordados con un solo método, ni pueden ser explicados e interpretados bajo una única perspectiva. Por lo

mismo, no se puede hacer un modelo de estudio aplicable a los mecanismos de la evolución y la especiación. Sin embargo, a veces las posiciones son tan radicales y encontradas como lo fueron en la época de Darwin. Actualmente, tanto los defensores como los detractores de la teoría sintética con frecuencia entran en una cerrazón que impide toda posibilidad de diálogo y concertación. Todo parece indicar que la genética aún dará muchas sorpresas a la teoría sintética neodarwinista. Lo más seguro es que en poco tiempo sea necesaria una nueva reunión internacional para ratificar o modificar los conceptos que expliquen el fenómeno relativo a la formación de especies y a la evolución en general. De ahí, surgirá una nueva teoría sintética de la evolución.

4.5 Concepto de poza genética

Aunque la teoría sintética de la evolución indica que los organismos cambian gradualmente debido a mutaciones, todas las poblaciones tienen un **acervo genético** que se mantiene casi constante y se hereda de una generación a otra. Este cúmulo genético, también llamado **poza génica** (proviene de la palabra *pool* = poza, del idioma inglés), es la constitución genética de cada especie y hace que las generaciones se conserven prácticamente invariables a través de muchas generaciones, excepto en lo relativo a las pequeñas y graduales variaciones (**Figura 4.3**).



Figura 4.3 El acervo genético está representado en los ácidos nucleicos de los organismos.

Una población en trance evolutivo tiene su acervo genético sujeto a cambios; este acervo variará de una generación a otra por efecto de una mutación, una hibridación o por selección natural. En poblaciones grandes, los efectos del azar sobre la evolución de las especies son insignificantes; sin embargo, en poblaciones pequeñas el cúmulo genético cambia más por obra del azar o la casualidad que por selección natural, y se le llama **desplazamiento genético** o **deriva génica**, descrito por **Sewal Wright**.

En cambio, una especie en equilibrio genético se mantendrá constante a lo largo de los años y de las diversas generaciones que se produzcan; con esto la frecuencia de los alelos se mantiene invariable; su acervo genético o poza génica se conserva sin cambios. Para este caso, según la ley de **Hardy Weinberg**, la población debe ser lo suficientemente grande, no debe tener cruza al azar y tampoco haber sufrido mutaciones. Cuestión que, desde luego, no se da en la naturaleza. En realidad, ocurren

pequeños cambios que, a lo largo del tiempo, llevan a procesos micro y macroevolutivos de las poblaciones.

En 1975, **Hampton L. Carson** apuntó que los organismos están constituidos por dos sistemas genéticos asociados íntimamente: uno es abierto, sensible a la selección natural y da lugar a la adaptación por sustitución gradual de los alelos; en cambio, el otro es cerrado, insensible a la selección, conservador, y es el que determina las características permanentes de la especie.



Ilustración 4.13 Las mutaciones provocan variación.

En resumen, el **patrón biológico de la herencia** «almacenado» en el acervo genético tiene la doble función de la continuidad y la variación. La primera genera estabilidad y mantiene las características de la especie; la segunda introduce cambios y variabilidad, base de la evolución y la selección natural (**Ilustración 4.13**).

Después de lo expresado es conveniente aclarar que la evolución es más rápida en unos momentos que en otros y su intensidad varía de un organismo a otro (las mutaciones en una bacteria son a razón de 1 en un millón de eventos genéticos y en humanos de 1 en 100 000 posibilidades). También, la evolución va de lo sencillo hacia la especialización, aunque hay casos en que ocurre lo contrario. **La evolución se da en poblaciones por procesos mutagénicos graduales y persistentes, selección natural y desplazamiento genético.** Así lo ha demostrado la paleontología, aunque también conviene aclarar que existen especies poliploides que se han generado por fenómenos de hibridación en tiempos muy cortos.

En general, las especies se mantienen separadas unas de otras debido a diversos mecanismos de aislamiento; sin embargo, este aislamiento reproductivo no es suficiente para mantener a la especie inmutable; incluso puede llegar a formarse una nueva especie a partir de otra preexistente.

Ley de Hardy-Weinberg

La **Genética** de poblaciones es la rama de la Genética que estudia el comportamiento de los genes en las poblaciones; es decir, estudia la frecuencia de los alelos y de los genotipos en determinados organismos de la misma especie.

Asimismo, la Genética de las poblaciones describe matemáticamente las consecuencias de la herencia mendeliana a nivel poblacional.

Es así como, por ejemplo, la selección natural puede alterar las frecuencias genéticas de una población, provocando procesos evolutivos en dicha población. Estos cambios son estudiados por la **Genética de poblaciones**.

Fue así como, en 1908, **G.H. Hardy y W Weinberg** emitieron una ley, ahora conocida como la **ley de Hardy-Weinberg**, la cual establece que **en las grandes poblaciones equilibradas, la reproducción sexual en sí no provoca cambios en las frecuencias génicas de las poblaciones, por lo que éstas permanecen constantes de una generación a otra**. Además, en estas grandes poblaciones estables, los apareamientos ocurren al azar, no opera la selección natural, no hay cambios en las tasas de mutación ni hay procesos de migración de individuos. La población estable, anteriormente descrita, es, desde luego, una población hipotética; sin embargo, al utilizarla como ejemplo se puede comprender mejor el proceso gradual del cambio evolutivo. Bajo estas circunstancias, las frecuencias génicas obedecen a las leyes de la probabilidad.

Por ejemplo, la segregación mendeliana se puede representar matemáticamente mediante la expansión binomial $(a + b)$, en donde a es la probabilidad de que un evento ocurra y b la probabilidad de que no ocurra. La proporción familiar de 1:2:1, que presenta la segregación de un solo par de alelos (Aa), en un cruzamiento monohíbrido, se puede representar mediante la más sencilla expansión de:

$$(a + b)^2 = (A + a)^2 = 1AA + 2Aa + 1aa$$

Para expresar esta relación en términos generales, que se apliquen a cualquier par de alelos, se introducen los símbolos p y q . En estado de equilibrio, las frecuencias de las clases genotípicas son p^2 (AA), $2pq$ (Aa) y q^2 (aa) = 1; la frecuencia es la proporción del número real de individuos, y la probabilidad representa la posibilidad de que ocurra cualquier forma dada de un evento. El azar interviene en las combinaciones de alelos y genotipos en las poblaciones, lo mismo que en la segregación mendeliana y la recombinación independiente. Las posibles combinaciones de espermatozoides y de óvulos de unos individuos heterocigotos se describen en la tabla 4.1, en donde se ilustran las relaciones entre las frecuencias de alelos después de un apareamiento de Aa x Aa.

Óvulos	Espermatozoides	
	A(p)	a(q)
A(p)	AA(p ²)	Aa(pq)
a(q)	Aa(pq)	aa(q ²)

Tabla 4.1 Combinación de espermatozoides u óvulos de individuos heterocigóticos, en la que se ilustran las relaciones entre frecuencias alélicas que forman la base del equilibrio Hardy-Weinberg.

Puesto que las frecuencias alélicas tienden a permanecer constantes de una generación a otra, cualquier desviación o cambio en los valores de dicha constancia indica que sobre la población hay presiones, tales como aquellos factores que conducen a la evolución debido a los cambios en las frecuencias génicas: selección natural, deriva génica, migración, consanguinidad y mutaciones.

La fórmula de Hardy-Weinberg sirve para analizar la composición genética de las poblaciones, y actúa manteniendo la estabilidad en las mismas (desde el punto de vista matemático, desde luego). Así, al utilizar esta fórmula en los procesos evolutivos, se toman en cuenta los aspectos que perturban el equilibrio alterando la frecuencia normal de los alelos.

Es importante remarcar el hecho de que la ley de Hardy-Weinberg se da sólo en poblaciones hipotéticas, ya que en la realidad todas las poblaciones naturales están expuestas de manera permanente a la selección natural, a las mutaciones y a la migración. Es decir, constantemente evolucionan, aunque los cambios se observen a muy largo plazo (quizá en cientos o miles de años).

Teoría de la deriva génica

Cuando ocurre la **evolución de una población**, se dan cambios que se transmiten de una generación a otra, con el paso del tiempo. Es decir, durante la evolución los genes y las frecuencias génicas cambian.

En contraparte, si una población no está en evolución, las frecuencias génicas son constantes, no cambian.

Cuando las frecuencias génicas cambian y unos genes de la población son

sustituidos por otros, ocurre la **microevolución**, que implica cambios dentro de una población y puede llevar a la formación de subespecies, subgrupos o razas, con acervos genéticos ligeramente modificados. La microevolución ocurre en poblaciones pequeñas.

Cuando los cambios evolutivos se dan en poblaciones pequeñas (**microevolución**) y al **azar**, reciben el nombre de **deriva génica**. En las poblaciones grandes, los efectos de la deriva génica son prácticamente nulos, pues se pierden entre la gran masa de individuos.

La dirección de la deriva o desviación génica puede tener o no el mismo sentido que los demás factores que alteran las frecuencias génicas, como son la migración, la mutación y la selección natural. En consecuencia, la deriva génica puede impulsar dicha fuerza u oponerse a ella.

Debido a las fluctuaciones en el ambiente (por ejemplo, el desabasto de alimento o el brote de una enfermedad), una población puede experimentar, por periodos, una rápida y marcada disminución en el número de individuos. La población disminuye y la deriva génica puede modificar la variabilidad en los pocos supervivientes. Al final, conforme la población aumenta de nuevo su tamaño, la frecuencia de los alelos puede ser un tanto diferente de la frecuencia de esos mismos alelos en la población anterior.

Una **población aislada** tiende a extinguirse; si no se extingue, la deriva génica se encargará de que la reducida población sobreviviente diverja en gran medida de la población original; esta divergencia se incrementará aún más debido a que las diferentes presiones evolutivas, prevalecientes en las distintas áreas ocupadas por las poblaciones progenitoras y las descendientes, operarán en genotipos distintos. Esto puede propiciar el origen de una nueva raza y, eventualmente, la formación de otra especie.

La deriva génica también es importante cuando uno o unos pocos individuos de una especie forman una colonia, como en la colonización de las islas oceánicas. Los colonizadores son portadores de una pequeña muestra, tomada al azar, de los alelos del acervo génico de la que provienen, y su número es lo suficientemente adecuado como para activar la deriva génica. Este fenómeno se ha denominado **efecto del fundador**. En consecuencia, las poblaciones aisladas pueden tener una frecuencia génica muy diferente de la que caracteriza a dichas especies, y esta diferencia puede ocurrir por azar y no por adaptación.

Ejemplo de ello fue el mundialmente conocido caso de los pinzones de Darwin. Estas aves, provenientes del continente sudamericano, poblaron

una primera isla ubicada muy lejos de la costa ecuatoriano-peruana. Estos primeros pinzones que llegaron fueron el efecto fundador. Al crecer en número y habitar otras islas mutaron y se adaptaron a las diversas formas de alimentación disponibles, con lo cual se formaron varias especies, a partir de los fundadores.

La mutación como fuente de variación del acervo genético de las poblaciones

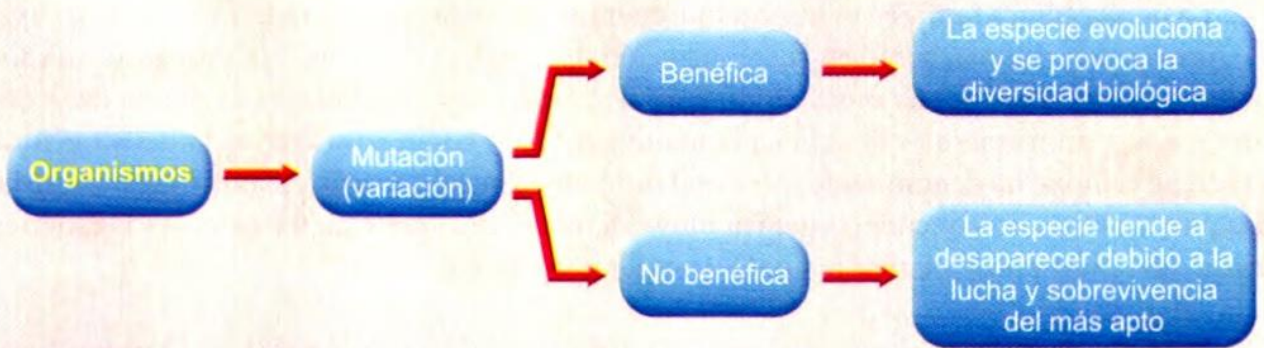
Por lo general, tanto la elaboración del mensaje codificado como su lectura a nivel de los ribosomas, suelen ser bastante exactos. Sin embargo, en ocasiones (por alteraciones) puede ocurrir una variación en el mensaje; dicha variación recibe el nombre de **mutación**.

De hecho, las mutaciones son los mecanismos genéticos que, por siempre, han conducido la evolución de las especies logrando que los seres hayan podido sobrevivir en el planeta, a pesar de los grandes cambios geofísicos y climatológicos ocurridos en la Tierra a lo largo de millones de años.

Una especie no puede permanecer genéticamente intacta a lo largo de miles de millones de años; tiene que ir mutando, es decir, evolucionando para adaptarse a las alteraciones impuestas por los cambios del medio. Así, por ejemplo, se tiene que todas las aves y los mamíferos del mundo provienen de distintas especies de reptiles, que fueron evolucionando y adaptándose a los diferentes ecosistemas del planeta: las aves provienen de reptiles que cambiaron y se adaptaron a volar, y los mamíferos descienden de reptiles que desarrollaron sistemas homotérmicos para conservar constante su temperatura corporal.

Incluso, la gran diversidad de especies vegetales y animales que actualmente existen en el mundo es el resultado de variaciones benéficas (mutaciones) ocurridas en especies predecesoras. El hombre, por ejemplo, tiene como antecesor más lejano a una musaraña más pequeña que una zarigüeya (tlacuache) de la actualidad. Asimismo, todas las aves provienen de un animal con características mixtas de ave y reptil, que vivió hace más o menos 180 millones de años.

La **evolución de los organismos** no se detiene y siempre se ha caracterizado por la aparición de cambios en la estructura, morfología y fisiología de los seres vivos. Éstos han provocado que, de acuerdo con las condiciones ambientales prevalecientes, algunas especies se extingan y otras aparezcan (**Esquema 4.1**).



Esquema 4.1 La biodiversidad es consecuencia de las mutaciones.

Adaptación y variabilidad genética

La **teoría evolucionista de Darwin** señala que el mundo no es estático, sino que evoluciona en un proceso gradual y continuo, por lo cual los organismos semejantes actuales están emparentados con un antepasado común. De hecho, esta teoría implica que el origen de todos los organismos vivos del presente puede remontarse hasta un origen común de la vida.

Si todos los organismos que han existido y que aún viven en el planeta Tierra tienen un origen común, ¿cómo es que existe tal diversidad de especies?; ¿cuál es el origen de dicha biodiversidad? Para explicar el cambio en los seres vivos, Darwin describió e introdujo el término de la selección natural. Su teoría, en resumen, dice lo siguiente: todas las especies tienden a aumentar en razón geométrica, pero en cada generación el número de individuos permanece casi constante, y así es como en los organismos se da una lucha por el espacio y por los alimentos. Entre los individuos de cada especie aparecen variaciones o cambios que pueden heredar a sus hijos; con el tiempo, estas variaciones llegan a ser tantas que finalmente desembocan en la formación de una nueva especie.

Es decir, las variaciones genotípicas (mutaciones) que promueven los cambios y la selección natural son procesos complementarios que generan el proceso evolutivo. Con este esquema, es de suponer que la evolución es un proceso oportunista, pues se sirve de las acciones de variabilidad que le dan ventajas a algunos seres vivos en la competencia con otras especies o con la propia. Esto se puede tomar como la selección y la supervivencia

del más apto. Así, la selección natural y la variación explican el proceso evolutivo y, por lo mismo, el origen de las especies y la biodiversidad de los organismos.

Analizando la información anterior, el resultado o consecuencia más importante de la evolución es la **adaptación** o manera en que las especies se adecuan al medio en que viven; es decir, la adaptación es una consecuencia resultante de la selección natural de los organismos en su constante lucha por sobrevivir y existir. **Dicho en otras palabras, la adaptación es el cambio genético-evolutivo de los organismos para resolver los problemas que les plantea el ambiente a fin de ajustarse a él de la manera más eficaz y armónica.** En este proceso, el resultado final es que el organismo se vuelve más apto o mejor adaptado y, por lo mismo, tendrá más posibilidades de sobrevivir.

Es importante señalar que los seres vivos no piensan ni planean su propia evolución, sino que son el resultado de las mutaciones benéficas ocurridas en sus ancestros y del proceso de la selección natural.

En este esquema conceptual, la adaptación explica por qué las patas delanteras de un caballo, las alas de un murciélago, las aletas de una ballena, los brazos de un topo, las alas de un ave y los brazos de un hombre tienen la misma estructura ósea fundamental



Ilustración 4.14 Un ejemplo de adaptación son los tipos de extremidades semejantes en diferentes grupos de organismos.

La evidencia fósil indica que el primer pez que pudo adaptarse para salir del agua y colonizar el medio terrestre tenía una estructura semejante a la de las extremidades delanteras de los animales antes mencionados. A partir de este pez «terrestre», parecido a un gubio, hubo variaciones y adaptaciones que desembocaron en la aparición de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Todos ellos con extremidades delanteras con una estructura semejante.

Con esto se pueden resumir las definiciones: la **selección natural** es la sobrevivencia del más apto, y la **adaptación** es la manera en que, genética

y evolutivamente, los organismos «resuelven» los problemas que se les presentan en el medio para adaptarse a él eficaz y armónicamente. En este proceso de cambio interviene eficazmente la **variabilidad genética heredable**; es decir, los cambios graduales favorables que se heredan de padres a hijos.

De hecho, todos los organismos que existieron, existen y existirán sobre la Tierra son producto de la evolución; es decir, de la variación genética, de la selección natural y de la adaptación, como respuesta a su interacción con el ambiente.

La **deriva genética**, las **mutaciones** y la **selección natural**, en conjunto, cambian la **frecuencia genética** de las poblaciones y propician la evolución de las especies.

Un ejemplo tradicional del proceso evolutivo en el que se implicaron la selección natural, la adaptación y la formación de especies, es el caso del origen de los cíclicos (mojarras) que existen en el lago Victoria, en África Oriental. El proceso fue el siguiente:

1. Hace un millón de años, el lago Victoria comenzó a formarse a partir de varios lagos que se crearon junto a los ríos existentes en la zona; posteriormente se fusionaron cuando aumentaron su caudal y hubo movimientos de la Tierra. Como resultado, se formó el actual lago Victoria.
2. Al principio sólo había una o dos especies de cíclicos que vivían en los ríos y lagos recién formados. A medida que los lagos crecieron se formaron nuevos hábitats, tales como pantanos, lagos pequeños y grandes, afluentes fluviales, etc. Como consecuencia de la formación de estos nuevos hábitats y bajo la influencia de la selección natural, los grupos de peces se fueron adaptando a ellos hasta formar especies diferentes con hábitos de alimentación diferentes.
3. Cuando los pequeños lagos y ríos se fusionaron y formaron el gran lago Victoria, los peces se juntaron, aunque ya no podían cruzarse y reproducirse, porque pertenecían a especies diferentes.
4. A la fecha hay más de 200 especies de cíclicos muy parecidas entre sí, lo cual denota el origen común de todas ellas. Las especies varían ligeramente en cuanto a color, tamaño y forma. Las diferencias principales se encuentran en mandíbulas y dientes, pues

los peces se adaptaron para consumir distintas clases de alimentos: los hay carnívoros, insectívoros, herbívoros, planctófagos, etcétera.

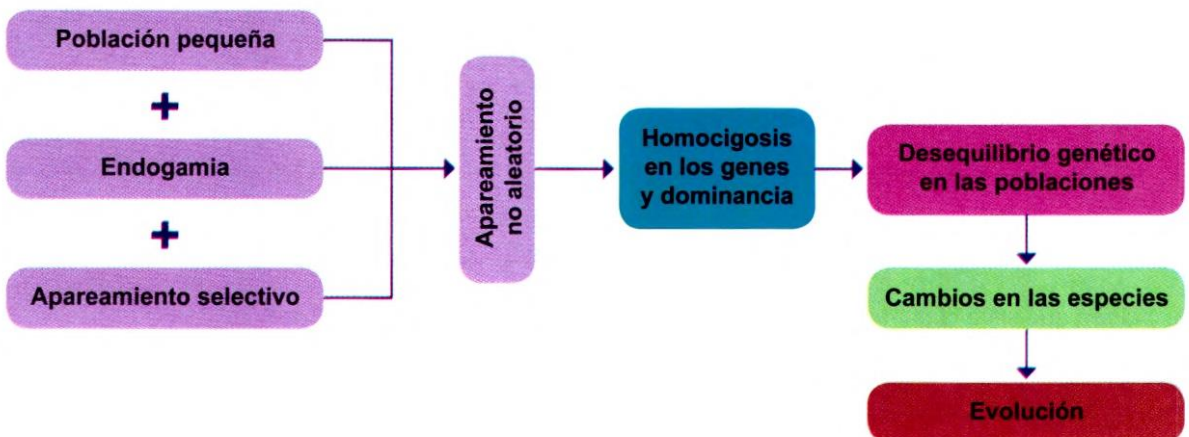
Apareamiento no aleatorio

El principio de Hardy-Weinberg, que explica el equilibrio de las poblaciones, indica que las especies permanecen en equilibrio mientras sobre ellas no actúen fenómenos que alteren sus frecuencias génicas o genoma. Estos fenómenos son la selección natural, mutaciones, migración y apareamiento no aleatorio.

Específicamente el apareamiento no aleatorio no debería afectar el equilibrio genético de las poblaciones, que tiende a mantenerse generación tras generación; sin embargo, pueden ocurrir eventos que alteren el apareamiento no aleatorio y lo mismo a las frecuencias génicas.

Dichos eventos pueden ser:

- La **endogamia**, que provoca que el gen tienda a ser **homocigótico** y dominante.
- El **apareamiento selectivo**, que también provoca homocigosis de los genes y dominancia. Por ejemplo, ciertos tipos de organismos prefieren entrecruzarse con ejemplares del mismo tamaño.
- Que la **población sea pequeña**, con lo cual la homocigosis hace cambiar más rápidamente las frecuencias génicas y se afecta el equilibrio señalado por Hardy-Weinberg.



Así, el apareamiento no aleatorio es otro fenómeno que propicia el cambio en las especies.

El flujo genético (migración de individuos)

Otro factor que influye en el cambio del genoma de las especies, es decir su frecuencia genética, es el **flujo genético**. El **flujo genético** es la migración de los individuos o sus gametos u otras formas de dispersión, que van de una población a otra y se entrecruzan, provocando alteraciones en la frecuencia genética de la población receptora.

4.6 Origen de las especies

Concepto de especie

Los organismos evolucionan como especies, no como individuos; por lo mismo, al variar y adaptarse conservan sus características generales y particulares, morfológicas, fisiológicas, etológicas, genéticas, etc.; entonces, **especie** es el conjunto de organismos con características morfológicas y genotípicas comunes que comparten el mismo acervo génico, tienen un origen común, viven en un lugar determinado, se pueden cruzar entre sí, producen descendencia fértil y están aislados de las demás especies por medio de barreras a la reproducción (**barreras genéticas**).

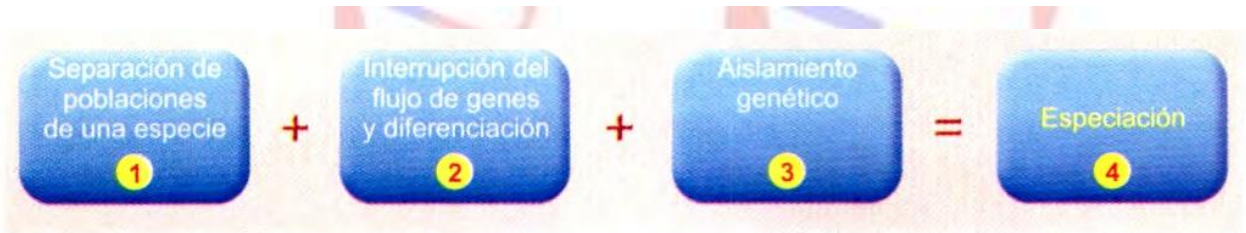
Así, por ejemplo, el perro pertenece a la especie denominada *Canis familiaris* y sólo se puede cruzar y tener descendencia fértil con individuos específicamente iguales. En cambio, el coyote pertenece a otra especie y no se debe cruzar con el perro, pues no pertenecen a la misma especie; si se cruzan, su descendencia es infértil.

Especiación

El proceso de la evolución no implica en sí, por necesidad, la multiplicación de las especies. En la realidad, una especie puede evolucionar y adaptarse de manera efectiva al medio, pero no necesariamente debe llevar a la formación de una nueva especie, pero en ocasiones sí.

Aunque hay discrepancias respecto a cómo se forma una nueva especie, pues se habla de **especiación gradual** o de **especiación brusca** o **a saltos**, la primera fase de la especiación implica que entre dos o más poblaciones de una especie se interrumpa el intercambio normal de genes; posteriormente, para concretar la especiación, en una segunda fase aparecen mecanismos para aislar genéticamente a dichas poblaciones y evitar su intercambio genético. Una vez que se dio la segunda fase de la especiación, pueden ocurrir mecanismos complementarios de aislamiento

postcigótico para evitar la reproducción y expansión de los organismos híbridos recién formados durante la especiación (**Esquema 4.2**).



Esquema 4.2 Etapas básicas de la especiación.

Una vez que las poblaciones que generan nuevas especies fueron separadas, que su flujo de genes fue interrumpido, que su aislamiento genético se mantuvo y ocurrió la diferenciación y variabilidad genética, todo queda listo para que se forme una nueva especie. Este proceso es el que ha provocado la gran diversidad biológica (biodiversidad) que ha habido, hay y habrá sobre el planeta. A las especies que se forman mediante estos procesos naturales, sin la intervención directa del hombre, se les llama especies naturales.

Especiación alopátrica y simpátrica

Un grupo de la población se puede ir aislando por medio de barreras físicas, geográficas, aislamientos ecológicos, etc. Con el paso del tiempo, el grupo separado sufre variaciones genéticas o mutaciones que le permiten adaptarse mejor a las nuevas condiciones ambientales. Después de muchos años, el grupo aislado puede llegar a formar una nueva especie diferente a la población de la cual proviene.

En la naturaleza existen dos principales tipos de especiación o de formación de especies, a partir de uno o más grupos de individuos que se separan de la población original.

Especiación alopátrica: ocurre cuando un grupo de organismos de una especie se separa físicamente de la población original y forma una especie nueva (**Esquema 4.3**).



Se forma un grupo y se empieza a separar de la especie 1.

El grupo de la especie 1 se separa debido a una barrera física, como un río, montañas, inundaciones, etcétera.

Con el tiempo, el grupo separado forma una nueva especie (especie 2), genéticamente diferente.

Esquema 4.3 Fases o etapas de la formación de una especie alopátrica, originada por una barrera física.

Especiación simpátrica: un grupo de la población que se está diversificando va desarrollando cambios genéticos progresivos que, poco a poco, lo desvinculan de dicha población original. Con el tiempo, se forma una barrera genética que impide que los organismos del grupo que se separó se reproduzcan con los individuos de la población original. Así se forma una nueva especie (**Esquema 4.4**).



En la especie 1 se va formando un grupo con características genéticas semejantes.

El grupo formado se separa de la especie 1 y desarrolla características genéticas diferentes.

Con el tiempo (cientos de miles, a millones de años) se forman dos especies diferentes.

Esquema 4.4 Ejemplo de especiación simpátrica, originada por una barrera genética.

Selección artificial

La **selección artificial** es una tecnología implementada por el hombre para modificar el acervo genético de ciertos organismos a fin de obtener provecho de ellos. Mediante esta tecnología el ser humano provoca que la frecuencia de algunos genes aumente considerablemente, induciendo una **evolución dirigida**.

La selección artificial es una actividad humana muy antigua que se ha venido dando desde la aparición de la agricultura y la ganadería hace más de 9000 años. Así, el ser humano ha podido obtener granos y semillas seleccionadas de maíz, trigo, calabazas, arroz, cebada, frijoles, etc., para

su alimentación básica y otros vegetales que le proporcionan alimentos complementarios, como la papa, los chiles, duraznos, manzanas, etcétera. También, por medio de la selección artificial los humanos han venido obteniendo especies animales que ha utilizado a su favor, tales como vacas, cerdos, aves, perros, reptiles, anfibios y mamíferos en general.

Así, el hombre, en su histórica y prehistórica aplicación de la selección artificial, ha influido sobre la evolución de algunas especies debido a que ha alterado su acervo genético o genoma.

Es exactamente lo contrario de lo que ocurre con la selección natural, en la que no interviene el ser humano sino que es dirigida por la interacción de los seres vivos con el ambiente en que viven, se desarrollan y se reproducen.

Mediante la selección artificial el hombre da ventaja genética a algunos organismos que le son útiles, aunque no sean los más aptos. En cambio, la selección natural permite el desarrollo de los organismos más aptos. Así, el apareamiento no aleatorio provocado por la selección artificial que lleva a cabo el hombre, incrementa la proporción de determinados genotipos, afectando la dirección de la selección natural y de la evolución.

BLOQUE 5

PROCESOS BIOLÓGICOS QUE SE LLEVAN A CABO EN SERES HUMANOS Y EN ORGANISMOS SEMEJANTES

UNIDAD DE COMPETENCIA

Describe la organización del cuerpo humano y la función que desempeñan sus aparatos y sistemas para mantener la homeostasis en este; comprendiendo además la importancia de mantenerlo en buen estado y desarrollando actitudes para la preservación de su salud.

5.1 La organización del ser humano

En el ser humano, las células se organizan formando tejidos, los tejidos forman órganos y los órganos se constituyen en sistemas que, a su vez, en conjunto, mantienen las funciones del cuerpo.



Los órganos pueden estar formados por un solo tipo de tejido o por varios. Cada órgano lleva a cabo una formación determinada y forma parte de una función más compleja realizada por un aparato o sistema. Esta organización permite que la fisiología y morfología humana puedan llevar a cabo actividades especializadas como la respiración, el movimiento, la reproducción, el crecimiento, etcétera.

5.2 Los tejidos del ser humano

Los tejidos están constituidos por varios tipos de células, todas adaptadas para efectuar una función específica. Los cuatro tejidos presentes en el humano son:

- a) **Tejido epitelial.** Está constituido por láminas de células que cubren la superficie corporal y órganos internos. Pueden tener una capa simple de células o bien varias capas estratificadas.

Las funciones del tejido epitelial son protección, secreción, absorción y sensación. Por ejemplo, la piel protege al cuerpo de lesiones, sustancias químicas, microorganismos y desecación. Asimismo, en otro ejemplo, el epitelio del tubo digestivo absorbe alimentos y agua; un tercer ejemplo es que éste sirve de revestimiento interno de los pulmones y participa en el intercambio de gases.

- b) **Tejido conjuntivo.** Está compuesto por un grupo de células aisladas, incrustadas en una sustancia intracelular gelatinosa que es la matriz que secretan las células y que da soporte a los órganos. Este tejido puede ser de seis tipos deferentes:

+ **Adiposo:** recubre y aísla al cuerpo con grasa que se produce en células adiposas.

+ **Laxo:** empaqueta y une a los órganos internos.

+ **Sangre:** compuesta por plasma y células sanguíneas, sirve para transportar sustancias a través del cuerpo. También actúa en procesos inmunes.

+ **Fibroso:** forma los tendones, que unen a los músculos con los huesos. Contiene colágeno, principalmente.

+ **Cartilago:** está constituido por fibras de colágeno. Rodea a los huesos, sostiene a la nariz y orejas y forma los discos acojinados intervertebrales.

+ **Hueso:** es un tejido conjuntivo rígido que conforma a los huesos del cuerpo

- c) **Tejido muscular.** Es un conjunto de paquetes celulares que se llaman fibras musculares. Es el tejido más abundante. Hay tres tipos de tejido muscular:

+ **Esquelético:** se une a los huesos mediante tendones o cuerdas de tejidos fibroso. Es esencial para realizar el movimiento voluntario, consciente.

- ✚ **Cardiaco:** forma el tejido contráctil del corazón. Su movimiento es involuntario, inconsciente.
 - ✚ **Liso:** se ubica en las paredes del tracto digestivo, arterial y los demás órganos internos. Se mueve de manera lenta para conducir alimentos, sangre, secreciones, etc. Su movimiento es involuntario.
- d) Tejido nervioso.** Está integrado por células nerviosas o neuronas especializadas en conducir señales nerviosas. Cada neurona posee un cuerpo celular y dos fibras nerviosas conocidas como axones y dendritas (**Figura 5.1**). Los axones conducen el impulso nervioso alejándose del cuerpo celular; las dendritas lo conducen hacia el cuerpo. La unión entre el axón de una neurona y la dendrita de otra se llama sinapsis.

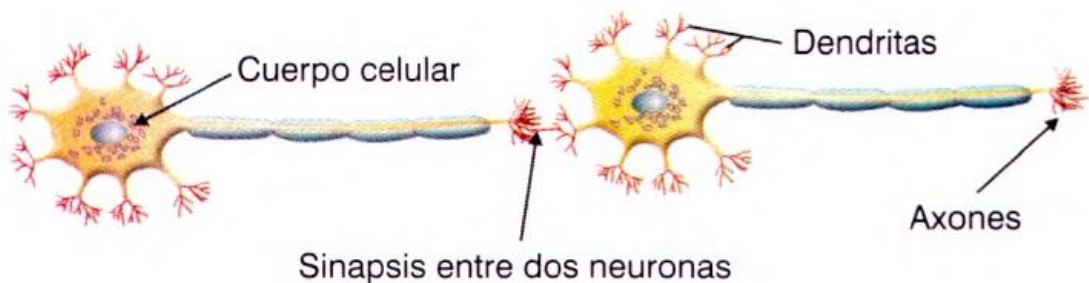


Figura 5.1 Partes de la neurona y la unión sináptica.

Como ya se mencionó, los tejidos conforman a los órganos con funciones puntuales y éstos, a su vez, son la estructura de los aparatos y sistemas que funcionan de manera coordinada para llevar a cabo funciones determinadas por las reacciones del organismo.

Algunos autores utilizan las terminologías de aparatos y sistemas; otros sólo se refieren a los sistemas. Los aparatos son: digestivo, respiratorio, circulatorio, reproductor y excretor. Los sistemas son: tegumentario, esquelético, inmunitario, endocrino, nervioso y muscular.

Cabe hacer mención que en algunas ocasiones se habla de diez sistemas y en otras de once. La diferencia consiste en que, con frecuencia, algún autor considera que existe un undécimo sistema denominado linfático o inmunitario compuesto por la médula ósea, el timo, bazo y los ganglios y vasos linfáticos. Otros autores consideran que los órganos de este último

sistema están incluidos en algunos de los diez anteriormente mencionados.

En este texto, utilizaremos la clasificación de diez sistemas, que se detallan en el cuadro siguiente, donde además se mencionan sus órganos constituyentes y sus funciones (**Cuadro 5.1**).

Posteriormente, se describirá con más detalle cada uno de los sistemas orgánicos del hombre y de los organismos semejantes.

Sistema	Partes y órganos que lo componen	Función
Tegumentario	Piel, pelo, uñas, glándulas sudoríparas	Cubre y protege al cuerpo.
Esquelético	Hueso, cartílago, ligamentos.	Da soporte al cuerpo, protege, facilita movimiento y locomoción.
Muscular	Órganos principalmente del músculo esquelético: músculo cardiaco, músculo liso.	Mueven parte del esqueleto; locomoción, movimiento de materiales internos.
Digestivo	Boca, esófago, estómago, intestino, hígado, páncreas	Ingiere y digiere alimento; transfiere nutrientes hacia la sangre.
Circulatorio	Corazón, vasos sanguíneos, vasos linfáticos y estructuras linfáticas.	Transporta materiales de una parte del cuerpo a otra, defiende al cuerpo en contra de las enfermedades.
Respiratorio	Pulmones, tráquea y otras vías aéreas.	Intercambio de gases entre la sangre y el medio exterior.
Urinario	Riñones, vejiga y conductos asociados.	Elimina desechos metabólicos; elimina excesos de sustancias de la sangre.
Nervioso	Nervios, órganos de los sentidos, cerebro y médula espinal.	Recibe estímulos del medio externo e interno: conduce impulsos: integra las actividades de otros sistemas.
Endocrino	Hipófisis, suprarrenales, tiroides y otras glándulas endocrinas (o de secreción interna)	Regula la química sanguínea y muchas otras funciones corporales.
Reproductor	Testículos, ovarios y estructuras asociadas	Garantiza la perpetuación de la especie.

Cuadro 5.1 Clasificación de los sistemas

5.3 Sistema tegumentario y su función

El sistema tegumentario está estructurado por la piel y por los componentes derivados de ella como el pelo, las uñas y las glándulas sudoríparas, sebáceas y mamarias. Cubre todo el cuerpo humano y sus funciones específicas son las de protegerlo y mantener la integridad de sus líquidos interiores y su temperatura. La piel sirve de contacto intermediario entre el interior del ser humano y el ambiente en que se desarrolla, pues

recibe los estímulos de temperatura, dolor y presión. Las glándulas sebáceas de la piel secretan sebo para mantener húmedos y flexibles al pelo y a la piel misma. Por su parte, las glándulas mamarias que existen en las hembras secretan leche para sostener la alimentación de las crías

Estructura de la piel

La piel está compuesta por capas de células provenientes de los tejidos epitelial, muscular, conectivo y nervioso, que sirven para cubrir la superficie del cuerpo, responder a estímulos, conectar las capas de las células entre sí y detectar los estímulos del ambiente en que se desarrolla el ser humano, respectivamente.

Las dos capas primordiales que componen la piel son la **epidermis** y la **dermis**. Cada una de ella tiene funciones diferentes.

La epidermis cubre todo el cuerpo, es la parte más exterior y delgada de la piel y consta de una primera sección con hasta 30 capas de células muertas con **queratina** (estrato córneo) que hacen que la piel sea impermeable.

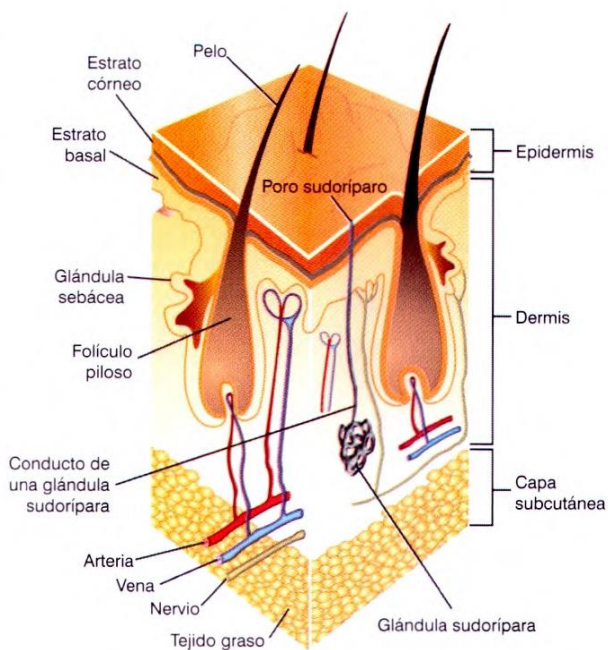


Figura 5.2 Componentes principales de la piel.

Debajo del estrato córneo están las células vivas (estrato basal), que se dividen continuamente para ir reemplazando a las células muertas de la capa protectora superior o estrato córneo. Conforme pasa el tiempo, las células del estrato basal son empujadas hacia el estrato córneo, donde maduran, son menos activas, elaboran queratina y finalmente mueren, pasando a formar parte del estrato córneo más exterior. A su vez, el estrato córneo se descama naturalmente y va perdiendo sus células muertas más antiguas.

Por otra parte, la dermis está ubicada inmediatamente debajo de la epidermis (**Figura 5.2**). Es la capa gruesa e interna de la piel, compuesta por tejido conectivo fibroso a base de colágeno. Esta capa contiene a las glándulas sudoríparas así como a

los folículos pilosos y a las glándulas sebáceas. También tiene vasos sanguíneos que irrigan la piel y órganos de los sentidos relativos al tacto, con sus respectivas terminaciones nerviosas.

El grosor de la dermis varía según la función que desempeñe. En las plantas de los pies y en las palmas de las manos la dermis tiene hasta 4 mm de grueso, pues ahí tiene función de protección y amortiguamiento. En cambio, la dermis de la superficie de los ojos mide 0.5 mm de grosor, lo cual le permite ser transparente para permitir la visión.

Debajo de la dermis existen depósitos de grasa que sirven como almacén de alimentos para retener calor, para aislarnos de las temperaturas extremas exteriores y como cojines amortiguadores. Estos depósitos de grasa constituyen a la denominada capa subcutánea.

Como se puede definir, el sistema tegumentario del hombre es muy importante pues desempeña varios papeles de protección y mantenimiento de la homeostasis. Por ejemplo, cuando se hace ejercicio, el cuerpo se calienta, los vasos capilares se dilatan, aumenta el flujo sanguíneo y se pierde calor corporal por radiación a través de la piel. De manera complementaria, el cuerpo suda y el sudor se evapora, con lo cual el cuerpo se enfriará: es su respuesta final para evitar que el cuerpo se sobrecaliente cuando hacemos ejercicio.

Por el contrario, cuando hace frío los vasos sanguíneos se contraen y el calor se conserva.

Enfermedades del sistema tegumentario

Como ya se mencionó, la piel es la primera barrera que protege a las células, tejidos, aparatos y sistemas del interior de nuestro cuerpo. Nos protege de daños físicos, químicos, corrosivos, radiación solar y del ataque de microorganismos. Por lo mismo es importante cuidar nuestra piel de rasguños, heridas profundas, quemaduras (ocasionadas por el sol y que pueden provocar cáncer de piel, sustancias químicas, el fuego u objetos calientes) y del ataque de micro y macroorganismos diversos que la puedan dañar. Es importante mantenerla limpia y en buenas condiciones.

Enfermedades de la piel

Herpes. Provocada por virus. Los síntomas están asociados a la aparición de ampollas pequeñas. Es una enfermedad recurrente, es decir aparece y desaparece según el estado de estrés, cansancio, salud, etc., del paciente.

Hongos en las uñas (onicomicosis). Estos microorganismos se desarrollan en la parte inferior de la uña y la carne, pues se alimentan de la queratina presente en esta zona. El efecto es que la uña cambia de color y forma y se degrada poco a poco. La falta de higiene favorece la aparición de esta enfermedad.



Ilustración 5.1 *Sarcoptes scabiei*, parásito que ocasiona la sarna.

Sarna. Es provocada por el parásito *Sarcoptes scabiei* (**Ilustración 5.1**) al alojarse debajo de la piel. Los síntomas son picazón y aparición de llagas que pueden llegar a infectarse. Se adquiere por contacto con personas infectadas.

Seborrea. Es la inflamación de la piel que produce escamas, picor y producción de grasa excesiva. Aparece en la cabeza, cara, cejas, pecho y axilas. Favorece la caída del pelo y aparición de la caspa. Las causas que provocan seborrea son las deficiencias en la alimentación, falta de higiene y alteraciones psicológicas.

Psoriasis. Enfermedad que provoca la aparición de placas escamosas plateadas en codos, rodillas y cuero cabelludo, principalmente. En ocasiones pueden aparecer llagas en otras partes del cuerpo, dolor en articulaciones, inflamaciones, picor, grietas, etc. El origen está en una respuesta inapropiada del sistema inmune provocada por el estrés, alimentación inadecuada, lesiones y quemaduras, condiciones ambientales, etcétera.

Éstos son sólo algunos ejemplos de afectaciones de la piel, entre otros muchos como acné, verrugas, callos, **eczema**, ataque de insectos, manchas, urticaria, quemaduras, parásitos (piojos, pulgas, ladillas), etcétera.

5.4 Sistema muscular y su función

Alrededor de la mitad de todo el cuerpo humano está constituida por músculos. Estas estructuras son masas de fibras musculares constituidas por proteína que se agrupan de tal manera que sirven para efectuar la locomoción, la circulación sanguínea, el movimiento digestivo de los alimentos, la manipulación, el habla y las gesticulaciones, entre otras

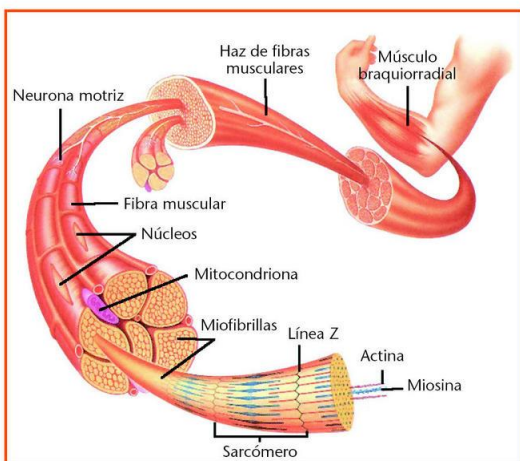
muchas actividades del ser humano.

Existen tres tipos de músculos que a lo largo del proceso evolutivo se han especializado en llevar a cabo las funciones motoras: **esquelético** o estriado, ubicado en las grandes masas musculares del cuerpo; **liso**, que se encuentra en las partes del tubo digestivo, vasos sanguíneos y órganos internos; y **cardíaco**, que conforma las paredes del corazón.

Estructura y función del sistema muscular

Los músculos están constituidos por células alargadas envueltas en tejido conectivo, que reciben el nombre de **fibras musculares**. A su vez, las fibras musculares se ordenan en fascículos, que también están rodeados por tejido conectivo.

Cada fibra muscular tiene un sarcolema o membrana celular y sarcoplasma o plasma celular. Asimismo, tiene varios núcleos.



Por otra parte, existen estructuras en forma de hilo que se ubican a lo largo de la fibra muscular y que se denominan miofibrillas. A su vez, las miofibrillas están constituidas por dos componentes más pequeños denominados miofilamentos. Un miofilamento es más grueso y es llamado filamento de **miosina**; el otro es más delgado y se nombra filamento de **actina**. La miosina y la actina son proteínas que de manera preponderante constituyen a ambos miofilamentos (**Figura 5.3**).

Figura 5.3 Estructura del músculo

Los filamentos de miosina y actina se sobreponen y disponen a lo largo de las fibras musculares, formando bandas o estrías, que son muy características en el músculo estriado. Esta disposición de los filamentos en las fibras musculares son la base del proceso de la contracción muscular, que genera los movimientos.

Las células musculares hacen el trabajo mecánico en los animales. Para ello se contraen y, por lo mismo, se acortan y ensanchan. Así los animales pueden moverse debido a la contracción y relajación de las células o fibras musculares que tienen filamentos de miosina y actina en toda su longitud,

agrupados en miofibrillas. Cuando hay contracción, los filamentos se acortan y ensanchan formando la **actinmiosina**, para lo cual se requiere presencia de calcio; en el proceso de contracción se gasta energía (ATP). Cuando hay relajamiento de las células, la actinmiosina se disgrega en actina y miosina, por separado. Estos fenómenos son la base de la teoría del filamento deslizante que plantea que la contracción muscular ocurre cuando los filamentos de actina se deslizan uno hacia el otro sin que los de miosina se muevan. Además, al unirse la miosina y la actina para formar actinmiosina se descompone ATP para liberar la energía necesaria para que ocurra la contracción muscular y, por ende, el movimiento.

Los tipos de músculos y su función

Como ya fue señalado, existen tres tipos de músculos, cuyas funciones son las siguientes:

a) Músculo liso.

Se encuentra en los vasos sanguíneos, paredes del aparato digestivo y órganos internos. Su función predominante es contraerse para ejercer presión sobre el espacio interior del tubo u órgano del cual controla su movimiento. La contracción de este tipo de músculo es lenta e involuntaria, pues no se tiene un control consciente sobre él. Por ejemplo, los movimientos del tubo digestivo esofágico y los intestinos son lentos e involuntarios.

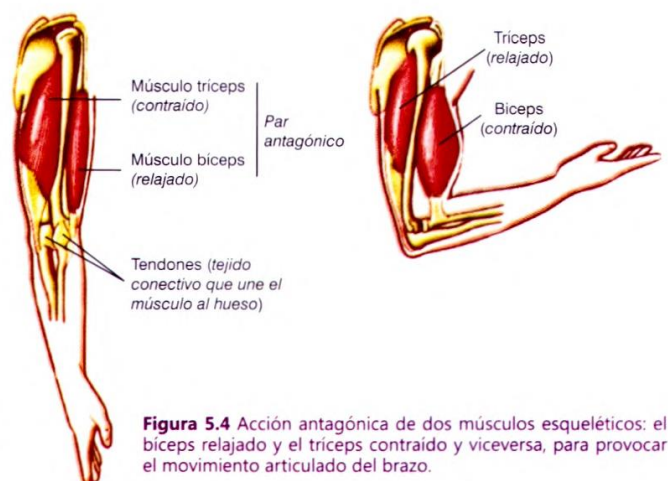


Figura 5.4 Acción antagonista de dos músculos esqueléticos: el bíceps relajado y el tríceps contraído y viceversa, para provocar el movimiento articulado del brazo.

b) Músculo cardíaco.

Este tipo de músculo se encuentra exclusivamente en el corazón y se encarga de mover a este órgano para bombear el fluido sanguíneo a todas las partes del cuerpo. Su movimiento es rítmico y también es involuntario.

c) Músculo esquelético.

Es el más abundante de los tres y forma la mayor parte de la masa muscular corpórea. El músculo esquelético tiene la particularidad de

estar unido a los huesos por medio de un tendón, lo cual permite mover a todo el esqueleto, provocando la locomoción. Su movimiento es consciente, es decir, a voluntad del humano.

Casi todos los músculos esqueléticos se interrelacionan con una articulación y con los huesos que la forman. Al contraerse un músculo acerca o aleja a un hueso de dicha articulación, en una acción antagónica con otro músculo. Por ejemplo, durante un fuerza, el bíceps flexiona el brazo en tanto que el tríceps permite la extensión del mismo (**Figura 5.4**).

El ejercicio para aumentar la masa y la fuerza muscular

Cuando se hace ejercicio, no se aumenta el número de fibras musculares presentes en los músculos. Lo que ocurre, es que las fibras incrementan su tamaño en cuanto a grosor, con lo cual se vuelven más fuertes y sincronizadas, al momento de llevar a cabo un esfuerzo. Así, al hacer ejercicio se aumenta la masa muscular debido al engrosamiento de las fibras y, por lo mismo, se es más fuerte.

5.5 Sistema esquelético y sus funciones

El esqueleto de un humano adulto está compuesto por 206 huesos. Asimismo el sistema esquelético está conformado por el **esqueleto axial**, que comprende el cráneo y sus huesos, la columna vertebral, el esternón y las costillas y el **esqueleto apendicular**, que incluye a los huesos de los brazos y piernas y componentes asociados a ellos (pelvis y hombros, por ejemplo) (**Figura 5.5**).

El hueso es el componente principal del esqueleto de un adulto. En menor proporción también contiene cartílago, que recubre articulaciones móviles, y también está en las orejas, en la punta de la nariz y en los discos entre las vértebras, principalmente.

Los huesos se forman en la etapa fetal (novena semana) a partir de los osteoplastos o células productoras de

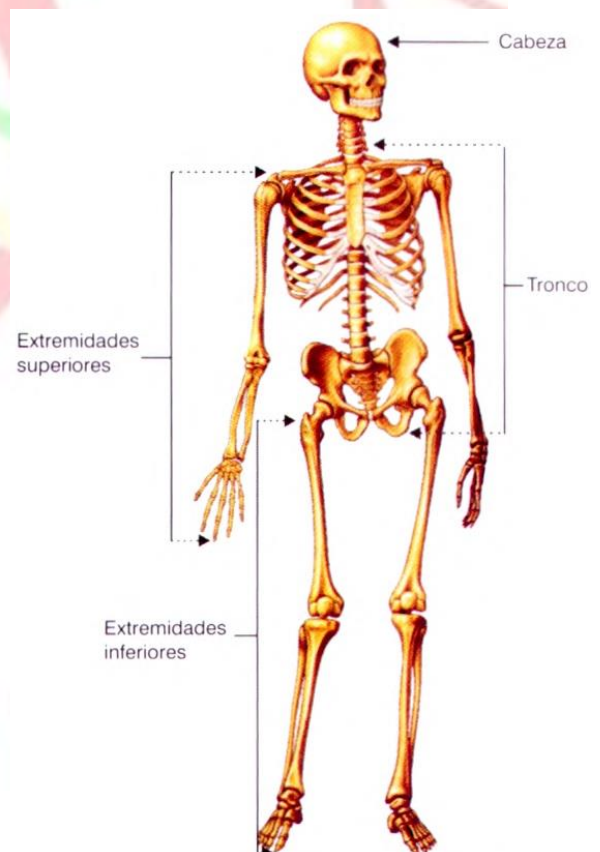


Figura 5.5 Esqueleto humano.

hueso; estas células secretan colágeno, en el que se depositan minerales (iones de calcio y de otros minerales) que endurecen al cartílago convirtiéndolo en hueso.

En general, el crecimiento longitudinal de los huesos termina hacia los 20 años de edad. Sin embargo, durante toda la vida se moldean y remodelan como respuesta a la actividad física, la tensión que reciban, etcétera.

Los huesos crecen a lo largo y a lo ancho: cuando crecen a lo largo lo hacen en los extremos, en las placas de cartílago que poseen y donde los osteoblastos propician la formación del hueso. El crecimiento a los lados (en diámetro) se da en la superficie de la estructura ósea.

Los huesos no son tan sólidos como parecen. Cada uno de ellos está rodeado por una capa de hueso duro o compacto cubierto por una membrana con vasos sanguíneos y nervios. De igual forma en su interior existe el hueso esponjoso, que está lleno de huecos. En el centro del hueso, se ubica la médula, un tejido suave que se encuentra en los huesos largos, el cráneo, las vértebras, las costillas y el esternón (Figura 5.6).



Figura 5.6 Partes de un hueso.

La función del sistema esquelético

La función del conjunto de huesos del cuerpo humano es sostenerlo, protegerlo y permitir su desplazamiento, proporcionando el movimiento. Los huesos son la armazón interna del cuerpo y son el sostén de los músculos, de los cuales reciben los movimientos para transformarlos y transmitirlos hacia las piernas, brazos, cabeza, manos, etc. Además, son evidentes las funciones de protección de los huesos al cerebro, los pulmones, el

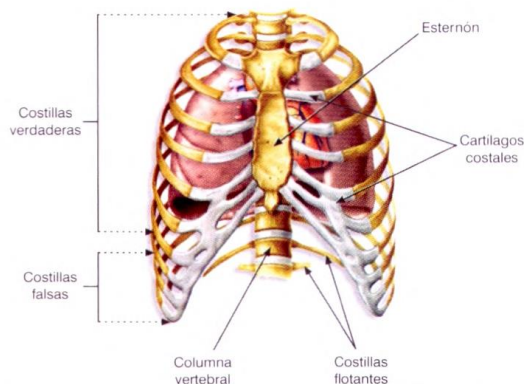


Figura 5.7 Tórax (vista anterior): una de sus funciones es la protección del corazón y los pulmones.

corazón, el hígado, etc. (**Figura 5.7**).

Adicionalmente, en los huesos se producen glóbulos rojos y algunos glóbulos blancos. Este fenómeno biológico se da de manera permanente. También sirve de depósito de calcio, fósforo y otros minerales, a fin de disponer de ellos en situaciones críticas.

Daños al sistema esquelético: fracturas y osteoporosis

Cuando una persona se fractura o rompe un hueso, el médico coloca en su lugar los fragmentos y los inmoviliza. El efecto es que el tejido óseo crece de nuevo y el hueso se regenera, con lo cual la parte del cuerpo afectada recupera su función.

Por otra parte, es bien sabido que la composición de los huesos se modifica conforme las personas envejecen. Hay tendencia a perder minerales (calcio, principalmente) y a que los huesos se vuelvan quebradizos, pues se pierde parte de la masa ósea. Esta condición lleva a una enfermedad llamada **osteoporosis**, en que los huesos son más porosos y quebradizos.

La osteoporosis es más común en mujeres que en hombres, pues ellas producen menor cantidad de la hormona que ayuda a la formación de los huesos.

5.6 Sistema digestivo y sus funciones

En el hombre, el aparato digestivo está diferenciado en estructuras funcionales para llevar a cabo la **ingestión**, la **digestión** y la **absorción** de alimentos (**Figura 5.8**).

La ingestión es la toma de alimento, su masticación y deglución; se lleva a cabo en la primera parte del aparato digestivo constituido por boca, lengua, dientes, epiglotis, tráquea, laringe y glándulas salivales, que aportan la primera dosis de enzimas contenidas en la saliva, la cual ayuda a conformar el **bolo alimenticio**. Las enzimas contenidas en la saliva son la amilasa, la maltasa (que hidrolizan al almidón) y la maltosa, respectivamente.

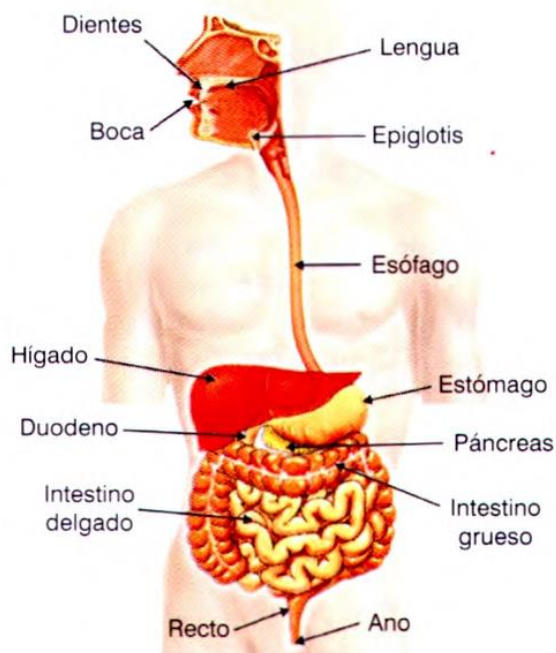


Figura 5.8 Aparato digestivo humano.

Una vez que los alimentos ingeridos fueron masticados y deglutidos, pasan al **esófago**, tubo que conecta a la laringe con el **estómago**, a donde son llevados los alimentos masticados en forma de bolos alimenticios y donde continúa el proceso de la digestión. Ya en el estómago, el bolo alimenticio entra en contacto con el jugo gástrico estomacal, que contiene enzimas y ácido clorhídrico para hidrolizar aún más los contenidos alimenticios ingeridos. El alimento que ya fue procesado en el estómago recibe el nombre de **quimo**, y pasa al intestino delgado. Esta parte tubular del sistema digestivo tiene cerca de 3 cm de diámetro y alrededor de 7 m de largo, y está enrollado.

En el intestino delgado, en su primer segmento, llamado duodeno, descargan la bilis, que proviene del hígado, y el jugo pancreático; además, está lleno de glándulas que segregan jugo intestinal, que contiene una gran cantidad de enzimas. En su conjunto, la bilis, el jugo pancreático y el jugo intestinal coadyuvan a proseguir de manera efectiva la digestión e hidrólisis de los alimentos hasta moléculas simples, para luego ser absorbidas.

La bilis secretada por el hígado y depositada en el intestino delgado no contiene enzimas, pero ayuda a neutralizar los ácidos gástricos contenidos en el quimo; por otra parte, el páncreas aporta **lipasa** para segregar y digerir grasas hasta ácidos grasos y glicerol.

El páncreas y las células del intestino delgado segregan otro grupo de enzimas muy importantes en la degradación de los alimentos, especialmente de los almidones y otros azúcares complejos, hasta glucosa. También actúan sobre polipéptidos y lípidos.

En su viaje a través del intestino delgado, los alimentos en digestión viajan alrededor de ocho horas. En este lapso, todas las partículas alimenticias que son digeribles se absorben a través de las células epiteliales

Enzima	Origen
Amilasa salival	Saliva
Maltasa	Intestino delgado
Pepsina	Estómago
Rennina	Estómago
Tripsina	Páncreas
Quimotripsina	Páncreas
Lipasa	Páncreas
Amilasa	Páncreas
Ribonucleasa	Páncreas
Desoximibonucleasa	Páncreas
Carboxipeptidasa	Glándulas intestinales
Aminopectidasa	Glándulas intestinales
Enterocinasa	Glándulas intestinales
Maltasa	Glándulas intestinales
Sacarasa	Glándulas intestinales
Lactasa	Glándulas intestinales

Cuadro 5.2 Enzimas que actúan en la digestión de los alimentos

del revestimiento intestinal, para luego ser llevadas al torrente sanguíneo. A nivel de las células que tapizan el intestino se permite el paso de aminoácidos y glucosa; también se evita el paso de las proteínas no degradadas y el almidón. El glicerol y los ácidos grasos pasan al torrente sanguíneo y forman glóbulos de grasa que son recogidos por los capilares linfáticos; luego son llevados a la circulación sanguínea.

Una vez en el torrente sanguíneo, la glucosa, los aminoácidos y los ácidos grasos son llevados al hígado para su uso en las actividades metabólicas. El agua y los componentes orgánicos no digeridos pasan al intestino grueso; una vez en éste, la mayor parte del agua se absorbe en esta sección del tubo digestivo. El resto de los componentes contienen compuestos no digeribles, pigmentos biliares, metales, bacterias, que en su conjunto conforman las heces que son enviadas al recto y después al ano, para ser expelidas del cuerpo.

En el **Cuadro 5.2** se presenta un listado con las enzimas que actúan en la digestión de los alimentos.

Problemas de salud relacionados con el aparato digestivo

Anorexia

Nuestro sistema digestivo está constituido por órganos y tejidos delicados que trabajan de manera armónica. Por lo mismo, debemos cuidarlo tomando los alimentos de una manera ordenada y balanceada. Si no lo hacemos podemos padecer enfermedades diversas.

La anorexia es un problema de salud que provoca que las personas afectadas tengan un temor incontrolado a la obesidad y por ello pierden peso de manera excesiva a consecuencia de una autorrestricción alimenticia inmoderada.

Estas personas siempre se sienten gordas y se autoimponen dietas extremas para perder peso, aun cuando estén dentro de los límites del peso recomendado. Algunas enferman e incluso llegan a morir de **inanición** debido a que, prácticamente, dejan de ingerir alimentos y agua, niegan el hambre y no aceptan ayuda. Con estas acciones se afectan los procesos digestivos y, si el cuerpo no es alimentado correctamente, puede ocurrir el desarrollo de enfermedades asociadas a estos eventos.

En general, los anoréxicos tienen una autoestima muy baja y tratan de buscar la aprobación de los demás; ayunan, preparan alimentos y no se los comen o prueban porciones muy pequeñas: hacen ejercicio

de manera exagerada, usan ropa muy floja, niegan tener hambre, se pesan frecuentemente, manifiestan verse gordos a pesar de que, evidentemente, no lo están; su ánimo es cambiante, se aíslan, padecen depresión, tienen frío constante, pierden cabello, se fatigan y pierden peso de manera excesiva y notable.

La moda es uno de los aspectos que induce a la anorexia. Los afectados piensan que siendo delgados se ven bien y que su imagen ante las demás personas será mejor, ya que la moda actual indica, de manera errónea, que los delgados son más guapos y deseables.

Lo mejor es mantenerse dentro de los límites normales de peso, alimentarse correctamente, hacer ejercicio y tener una actitud positiva ante la vida.

Bulimia

Esta enfermedad se manifiesta en personas que, en periodos cortos, ingieren una gran cantidad de alimentos (se dan un «atracón» de comida) y luego tratan de eliminarlos rápidamente mediante vómito, laxantes y diuréticos.

Los enfermos de bulimia son personas inseguras que necesitan la aprobación de los demás, negando sus propias necesidades y formas de pensar. Así, la comida se vuelve su principal forma de satisfacción y consuelo. Con frecuencia comen a escondidas; evitan los restaurantes y eventos sociales porque después de comer sienten la necesidad de vomitar; son irritables, depresivos y viven con el miedo constante de perder el control; necesitan escuchar de los demás que se ven bien y que no están «gordos». Debido a que se provocan el vómito, constantemente padecen de dolor en la garganta, se les inflaman las **parótidas** y se les agrietan los labios. Su peso fluctúa constantemente. Comen rápido y de manera compulsiva.

Debido al exceso de alimentos que ingieren, los bulímicos, con frecuencia, padecen de obesidad, hipertensión, colesterol alto, diabetes, artritis, etcétera.

Igual que para el caso de la anorexia, lo más recomendable es alimentarse correctamente, mantenerse en el peso recomendado, aceptarse como uno es y tener una mentalidad positiva ante los hechos de la vida y las relaciones con los demás.

Según el sexo, la altura y la contextura, los seres humanos tenemos un peso promedio normal. Los valores fuera de estos promedios pueden indicar la presencia de alguna disfunción digestiva. Si tienes dudas consulta a un médico o nutriólogo.

5.7 Sistema circulatorio o de transporte

Tejido sanguíneo

La sangre es un tejido fluido que se mueve circulando a través de los vasos sanguíneos y el corazón. Es un líquido viscoso y pegajoso, presente en un volumen de 4.5-5.0 litros por persona adulta; representa alrededor de 8% de un individuo. Su función básica es transportar diversas sustancias de una parte del cuerpo a otra.

La sangre está compuesta por células y plasma; las células constituyen 45% del volumen de la sangre; el plasma, el 55% restante.

Las células sanguíneas son:

- **Los glóbulos rojos (eritrocitos)**, que transportan oxígeno, tienen forma de disco bicóncavo; no tienen núcleo; contienen hemoglobina, que interviene en el transporte de oxígeno. La disminución de eritrocitos y, por lo mismo, de la hemoglobina, produce una enfermedad que se denomina **anemia**.
- **Los glóbulos blancos o leucocitos** intervienen en la producción de anticuerpos y en la lucha contra las enfermedades y microorganismos patógenos; según su aspecto, pueden ser neutrófilos, eosinófilos y basófilos; además, están los linfocitos y los monocitos (**Figura 5.9**).

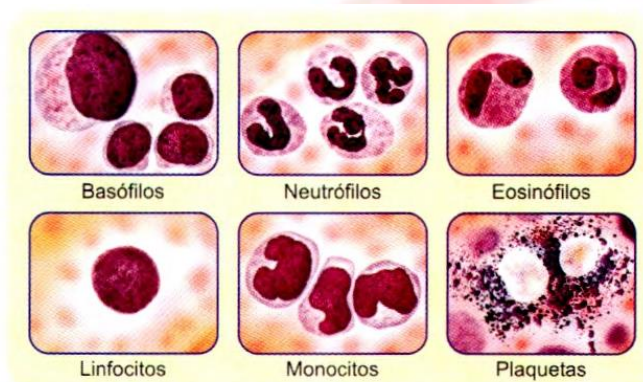


Figura 5.9 Glóbulos blancos y plaquetas.

- **Los trombocitos o plaquetas** ayudan a la formación de coágulos cuando hay algún tipo de cortada en la piel y tejidos internos, que lesiona a los vasos sanguíneos.

Las funciones de transporte de las sustancias de la sangre a través del cuerpo son básicamente las siguientes:

- ✚ Transporta oxígeno desde los pulmones a todas las partes del cuerpo donde ocurre la respiración celular.
- ✚ Lleva el CO₂ desde la parte del cuerpo donde ocurra la respiración celular y se produzca CO₂, hasta los pulmones, a partir de los cuales se exhala, eliminándose.
- ✚ Acarrea moléculas alimenticias, minerales, vitaminas, etc., desde el sistema digestivo hasta el hígado, para ser transformadas en sustancias de reserva y del hígado, hacia las partes del cuerpo que requieren sustancias químicas de reserva.
- ✚ Transporta componentes orgánicos e inorgánicos de desecho, que son llevados a los riñones, los cuales intervienen en los procesos de filtración y eliminación.
- ✚ Lleva a cabo el movimiento de anticuerpos, células sanguíneas, calor, hormonas, etc., a todo el cuerpo.

Por otra parte, el movimiento de la sangre por las arterias, debido a la contracción del músculo cardíaco, origina un **pulso** que se siente en algunas arterias como las ubicadas en las muñecas, el cuello y otros lugares. En el ser humano el pulso normal es de 60-80 pulsaciones por minuto.

Órganos del sistema circulatorio. Descripción de la circulación



Esquema 5.1 Circulación mayor.
por sangre, corazón y vasos sanguíneos.

El sistema circulatorio es eficiente porque está constituido por órganos y tejidos que permiten la circulación y recirculación de la sangre a través de nuestro cuerpo.

Los componentes del sistema circulatorio son:

El **sistema vascular sanguíneo**, que está constituido

El **sistema vascular linfático**, cuyos componentes son: linfa, vasos linfáticos, ganglios linfáticos y órganos linfáticos.

Vasos sanguíneos o sistema vascular sanguíneo

Los vasos sanguíneos constituyen una red de conductos a través de los cuales se mueve la sangre; también reciben el nombre de sistema cardiovascular.

El sistema cardiovascular está constituido por arterias, venas y capilares. Desde el corazón, la sangre es bombeada hacia las diferentes partes del cuerpo a través de las arterias; éstas se ramifican en arteriolas, que se conectan con los capilares. Ya de regreso, la sangre fluyendo en una sola vía, sin regresar por el mismo sistema vascular, pasa a las **vénulas**, luego a las venas y finalmente llega al corazón. A este proceso se le denomina circulación mayor (**Esquema 5.1**).

Arterias. Llevan sangre del corazón a los tejidos (**Figura 5.10**).

Venas. Llevan sangre de los tejidos al corazón (**Figura 5.11**).

Capilares. Conductos delgados que se entrelazan y son punto de unión entre las arterias y las venas; también son punto de intercambio de sustancias nutritivas y oxígeno de la sangre que viene del corazón hacia los tejidos. En ellos también se intercambian CO₂ y sustancias de desecho de los tejidos hacia la sangre que va al corazón.

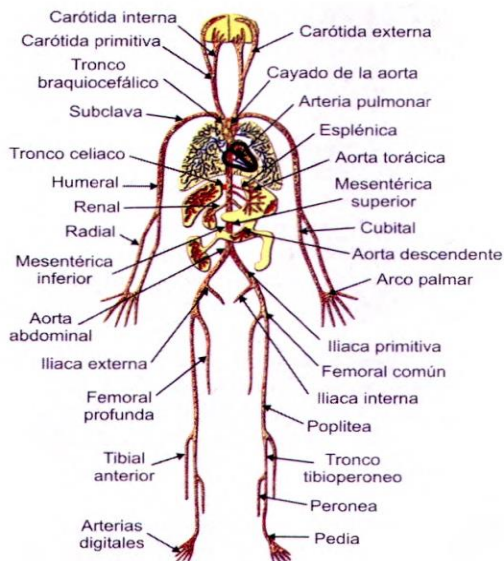


Figura 5.10 Sistema arterial.

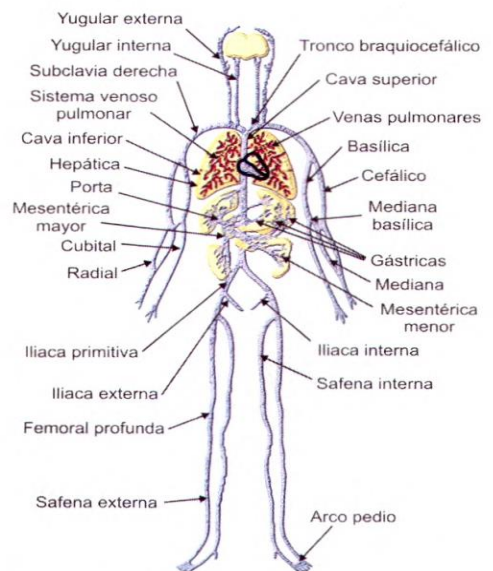


Figura 5.11 Sistema venoso.

Vasos linfáticos o sistema vascular linfático

El sistema linfático está formado por la linfa, los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos, las amígdalas y el bazo.

La linfa es un líquido incoloro formado por plasma sanguíneo y por glóbulos blancos que transporta linfocitos; por su parte, los vasos linfáticos conducen a la linfa a través del cuerpo. Hay un conjunto linfático derecho que recoge la linfa, la cual se distribuye en todo el torso.

Los ganglios linfáticos miden entre 1 y 25 mm de largo y en su interior tienen tejido linfoide, producen linfocitos y liberan anticuerpos. En ocasiones, cuando se padece algún tipo de infección, los ganglios pueden hincharse y ser dolorosos. Se ubican en la base de la boca, nariz, labios, cuello, tórax, ingle, etcétera.

Complementariamente, las amígdalas también están compuestas por tejido linfoide que produce linfocitos y limpia a la linfa. Se encuentran en la región bucofaríngea.

Igualmente, el bazo tiene células que fagocitan bacterias, plaquetas y glóbulos rojos envejecidos; también producen leucocitos y anticuerpos. Es un órgano oval, de color rojo-vino, ubicado en la parte superior izquierda del abdomen y abajo del diafragma.

Finalmente, el timo es una estructura que también tiene funciones inmunitarias y se localiza en la base de la garganta.

Corazón

El corazón es una región ensanchada de la red vascular, con una presencia significativa de músculos cardíacos que se contraen para impulsar a la sangre.

Tiene el tamaño de un puño y se ubica en el centro del pecho, un poco hacia la izquierda. Tiene cuatro cavidades, que son dos aurículas y dos ventrículos (**Figura 5.12**)

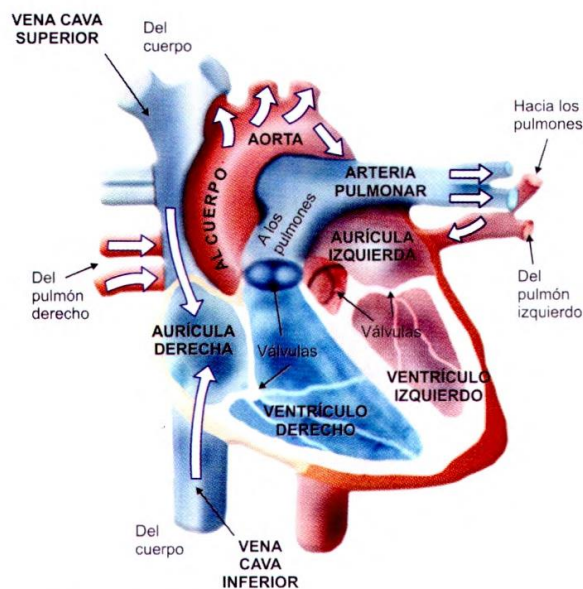


Figura 5.12 Anatomía del corazón.

La sangre de todo el cuerpo, excepto la de los pulmones, se dirige hacia la aurícula derecha por medio de venas; esta sangre lleva poco oxígeno y alta concentración, de CO₂, pues proviene de áreas donde se llevó a cabo la respiración celular. De la aurícula derecha, la sangre pasa al ventrículo derecho y de ahí es bombeada hacia la arteria pulmonar para, finalmente, llegar al interior de los pulmones, donde recobra oxígeno y libera CO₂, que luego será exhalado.

En sentido inverso, pero por otra ruta, la sangre que proviene de los pulmones a través de las venas pulmonares llega a la aurícula izquierda y luego al ventrículo izquierdo; cuando el corazón se contrae envía la sangre a todas las partes del cuerpo, excepto a los pulmones.

Cuando la sangre llega a los alveolos pulmonares, se lleva a cabo la hematosis u oxigenación de la sangre.

Para que la sangre circule y recircule de las diferentes partes del cuerpo hacia el corazón y viceversa, el músculo cardíaco bombea al tejido sanguíneo con cierta presión, que luego es ejercida sobre la pared de los vasos sanguíneos. Esta presión se valora entre 110/60, 120/70, donde el número antes de la diagonal mide la presión sistólica debido a la presión de los ventrículos, impulsando sangre hacia las arterias. El número después de la diagonal mide la fuerza de la sangre en las arterias. Arriba del 140/90 la persona es hipertensa.

Problemas de salud relacionados con el sistema circulatorio o de transporte

Hipertensión como factor de riesgo cardiovascular

Este padecimiento se caracteriza por el aumento sostenido de la presión arterial ya sea sistólica, diastólica o de ambas. Los valores que indican hipertensión son de 140 mm de Hg para la presión sistólica, y 90 mm Hg par la presión diastólica. Esto se simboliza de la siguiente manera: 140/90.

La presión arterial normal es alrededor de 120/80.

La hipertensión es un problema de salud pública muy importante, ya que el porcentaje de la población que la padece es de entre 20 y 25%. Los síntomas son náuseas, vomito, falta de aire, derrames en los ojos, visión doble, dolor en la nuca, desmayos, sudoración, sensación de calor, dolor de pecho, dolor de cabeza, entre otros.

La presión arterial alta y sostenida con valores mayores de 140/90 perjudica a órganos sensibles muy importantes como el corazón, riñón, cerebro, glándulas suprarrenales, ojos, etc.; los efectos negativos pueden ser leves o mortales.

Además de llevar un buen cuidado médico, el enfermo hipertenso debe seguir una dieta sana y balanceada, baja en sal. Se debe disminuir el consumo de café, refrescos y alimentos chatarra. Se recomienda hacer ejercicio y mantener un peso corporal normal, de acuerdo con la estatura de la persona.

La buena salud mental y evitar el estrés son esenciales para controlar la hipertensión.

El origen del padecimiento puede ser genético, pero es indispensable seguir una dieta sana y mantener un estilo de vida física y mentalmente sano.

5.8 Sistema respiratorio

Función de los órganos del sistema respiratorio

En el ser humano hay órganos, tejidos y sistemas complejos que realizan el intercambio de gases a fin de captar el oxígeno para respirar y expeler el CO_2 , que es un subproducto del proceso respiratorio para liberar energía.

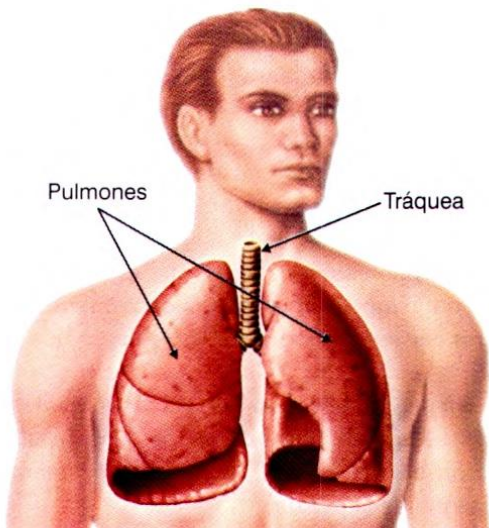


Figura 5.13 La respiración orgánica para intercambiar gases se lleva a cabo en los pulmones.

Los mamíferos, incluyendo al hombre, utilizan pulmones adaptados a la vida terrestre y aérea. Los pulmones son sacos internos muy ramificados e irrigados. Los movimientos respiratorios para inspirar y espirar están regulados por el diafragma, por los músculos intercostales y por la caja torácica (**Figura 5.13**).

En el hombre, el aire entra por la nariz y llega a los pulmones a través de la tráquea y los bronquios; de ahí pasa a los conductos alveolares, luego a los sacos alveolares y finalmente a los alveolos ampliamente regados por vasos capilares. El intercambio de

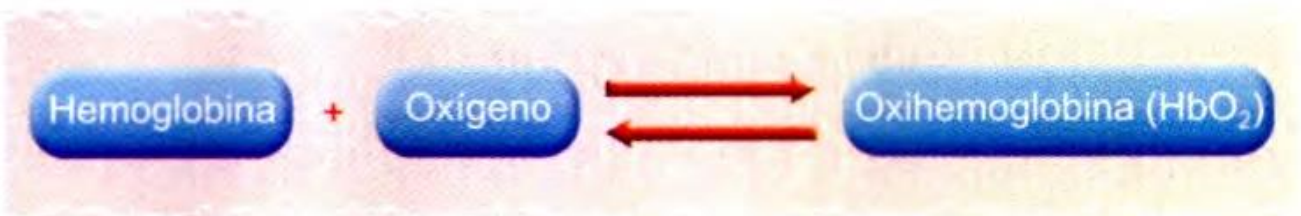
gases ocurre a nivel de los vasos capilares; el oxígeno ingresa por difusión al torrente sanguíneo y de ahí a las células; a su vez, el CO₂ residual, proveniente de las células, llega a la corriente sanguínea y pasa por difusión a los capilares, luego a los alveolos y de ahí a los sacos aéreos para, finalmente, ser expulsado a través de la tráquea y la nariz.

La superficie de los alveolos, a través de la cual se difunden los gases, es de más o menos 90 m², casi cincuenta veces la superficie de la piel. En resumen, en el ser humano el intercambio de gases o respiración consta de las siguientes fases:

- + **Respiración externa:** paso de gases de pulmones a la sangre.
- + **Transporte sanguíneo:** transporte sanguíneo de gases a las células.
- + **Respiración interna:** oxidación biológica de alimentos para producir energía útil y generar CO₂ y H₂O.

Para ello, un humano normal inspira y expira hasta 18 veces por minuto. En cada acción mueve 350 ml de aire que ingresa o egresa de los pulmones; el aire atmosférico que ingresa contiene 21% de oxígeno y 0.04% de CO₂; mientras que el que se expira está compuesto por 13.2% de oxígeno y 5.3% de CO₂.

En los glóbulos rojos de la sangre hay hemoglobina, que se encarga de captar el oxígeno al nivel de los capilares alveolares y transportarlo hasta las células que lo necesiten. La reacción para fijar el oxígeno es la que se muestra en el **Esquema 5.2**.



Esquema 5.2 Reacciones para fijar oxígeno.

Esta reacción es reversible, de tal manera que de izquierda a derecha se lleva a cabo en el pulmón para fijar el oxígeno; y de derecha a izquierda se efectúa en los tejidos para liberar el oxígeno.

En cuanto al CO_2 , parte de este gas pasa de los tejidos a la sangre y de ahí a los pulmones mediante un proceso de difusión; sin embargo, la mayor parte del dióxido de carbono de los tejidos entra a los glóbulos rojos de la sangre, reaccionando con el agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3), el cual, a su vez, se disocia en iones de bicarbonato (HCO_3^-), que salen al plasma, e iones de hidrógeno (H^+). Así, la mayor parte del CO_2 se transporta a la sangre y por la sangre en forma de HCO_3^- . El bicarbonato que sale de los glóbulos se mueve hacia el plasma y cuando el plasma sanguíneo llega a los pulmones, los iones de HCO_3^- nuevamente entran a los glóbulos, se combinan con H^+ y forman ácido carbónico que, al final, se disocia en CO_2 y H_2O . El CO_2 , se difunde a los alveolos y posteriormente es espirado (**Figura 5.14**).

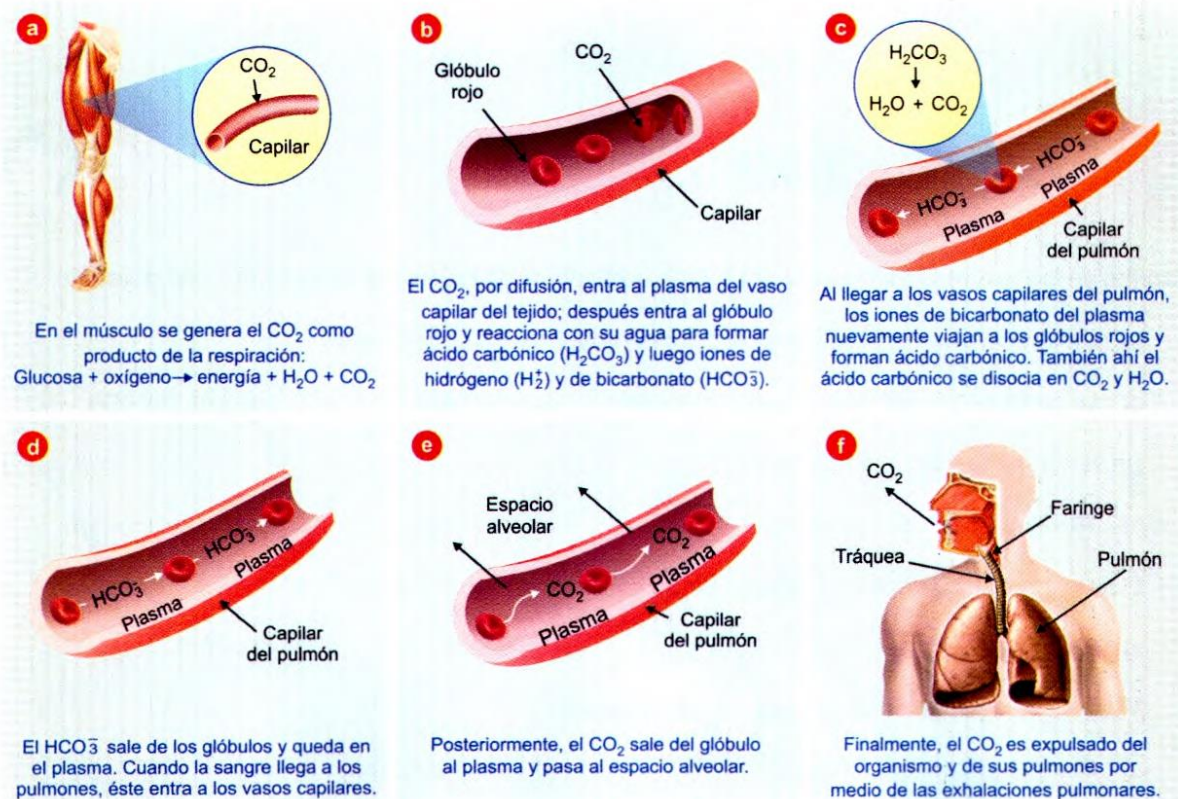
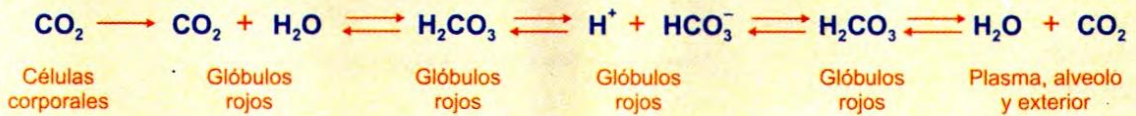


Figura 5.14 Reacciones del CO_2 en la sangre.

La reacción química general que ocurre durante el transporte del CO₂ de los tejidos a los pulmones es la siguiente:



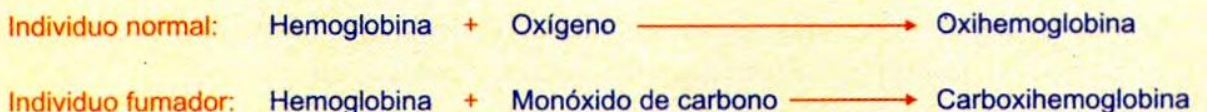
Daños al sistema respiratorio

El tabaquismo

El tabaquismo es una adicción provocada por fumar tabaco; es decir, inspirar y espirar el humo producido al quemar este producto.

Uno de los principales ingredientes de la hoja de la planta de tabaco es la nicotina, estimulante muy activo. Después de una fumada, al ingerir una bocanada de humo, la nicotina entra en contacto con la sangre de los epitelios alveolares más internos de los pulmones; así, este compuesto viaja rápidamente a través de la sangre hacia el cerebro, provocando reacciones diversas en el ser humano: las glándulas adrenales secretan adrenalina; esto hace que se aceleren el ritmo cardíaco y la presión sanguínea, que aumente el nerviosismo y, en general, el individuo se ponga en estado de alerta.

Por otra parte, al ocurrir la combustión del tabaco, se emite monóxido de carbono, que es inhalado y dirigido a los pulmones y de ahí al torrente sanguíneo. Este gas es venenoso y reemplaza parcialmente al oxígeno que debería estar en el sistema circulatorio formando oxihemoglobina. En su lugar se forma carboxihemoglobina debido a la presencia del monóxido. Esta sustancia contribuye al surgimiento de enfermedades cardíacas. En los fumadores hay hasta 10% más de presencia de carboxihemoglobina, con lo cual sus tejidos reciben 10% menos oxígeno.



En el mediano y largo plazo, la adicción al tabaco provoca daños al sistema broncopulmonar, al cardiovascular y al digestivo. Es bastante frecuente que el acto de fumar desarrolle úlceras gástricas y duodenales, enfisemas pulmonares que destruyen los alveolos, disminución de la

capacidad respiratoria, náuseas, taquicardia y, entre otras muchas más afecciones, cáncer de boca, garganta y pulmones. El tabaco provoca 90% de todos los casos de cáncer que se registran en el planeta y que, a menudo, son mortales. En las mujeres puede provocar aborto y malformaciones congénitas.

La función de los pulmones es la de recibir aire para ventilarse. Estos órganos no evolucionaron para recibir gases provenientes de la combustión de tabaco o de algún otro producto.

Por lo mismo, el tabaquismo es una adicción antinatural mediante la cual se ingresa humo que contiene monóxido de carbono dióxido de carbono amoniaco benzopireno, cianuro de hidrógeno, alquitrán, restos de metales pesados, nicotina, etcétera.

La adicción al tabaco se inicia por curiosidad y generalmente por imitación. Con frecuencia, quien empieza con el hábito se siente importante, sexy y sofisticado. Lo más seguro es que termine con cáncer en la boca, la garganta y los pulmones. Un final nada interesante.

El tabaquismo es un vicio costoso que crea dependencia y afecta la salud. Es mejor no iniciarse en él; si ya se tiene, es muy importante erradicarlo de nuestros hábitos por voluntad propia o mediante auxilio médico.

La contaminación

La contaminación es la acción de emitir al medio productos, subproductos, ruidos, partículas, calor, etc.; que alteran y corrompen el ambiente y buen funcionamiento de los ecosistemas y, desde luego, del ser humano.

En sí, la contaminación atmosférica puede afectar directamente al sistema respiratorio humano, pues a partir de los gases atmosféricos el hombre obtiene el oxígeno para respirar.

Es de todos sabido que existe una gran diversidad de contaminantes atmosféricos que son emitidos al ambiente en forma de partículas, gases y radiaciones. Las primeras son las más comunes y provienen de la combustión ineficiente de productos y subproductos de la industria petrolera, del carbón y de gases naturales.

Las partículas se originan a partir de cenizas, polvos y materia orgánica; también pueden ser gotas de azufre, cloro, amoniaco y otros. Cuando los humanos las aspiran pueden ocasionar alergias, asma bronquial, irritación pulmonar, infecciones, etcétera.

Los gases que contienen carbono, azufre, nitrógeno, flúor, alcoholes, ácidos, ozono, cloro y amoníaco producen dolores de cabeza, irritación de mucosas, asma bronquial, afectaciones a la nariz, boca y garganta.

La contaminación ambiental es un problema social mundial asociado al desarrollo tecnológico. Cuanto más utilicemos el petróleo como combustible y cuanto más se deforestan las zonas boscosas y prevalezca el fecalismo al aire libre, los problemas respiratorios asociados a este fenómeno persistirán y se agravarán. Es necesario hacer un uso racional y cuidadoso de los combustibles que empleamos en nuestra vida diaria y evitar el vertimiento indiscriminado de contaminantes atmosféricos.

5.9 Sistema excretor o urinario

Órganos del sistema excretor

Normalmente, los desechos metabólicos que los seres excretan en la orina están compuestos por **urea**, **ácido úrico**, **creatinina** y **amoníaco**, que son acompañados por **sales** y **agua**.

La urea se sintetiza en el hígado a partir de CO_2 y el amoníaco es generado durante la **desaminación** de los aminoácidos.

El ácido úrico se produce cuando las purinas de los ácidos nucleicos se degradan. Asimismo, la creatinina proviene de los músculos, concretamente del fosfato de creatinina que sirve como reservorio del fosfato energético.

Todos los compuestos antes mencionados son desechos generados durante las reacciones metabólicas y todos los organismos tienen la necesidad de eliminarlos, ya que estos desechos son sumamente tóxicos.

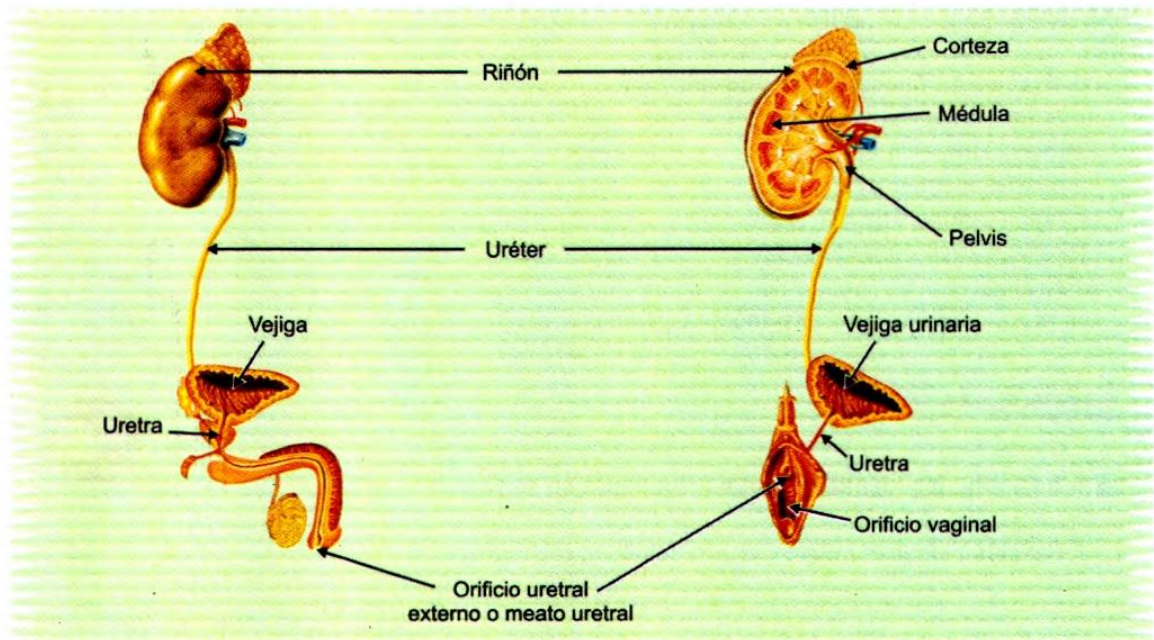


Figura 5.15 Sistema excretor humano, masculino y femenino.

En el hombre el sistema excretor está integrado por el aparato urinario, las glándulas sudoríparas y el hígado.

El aparato urinario está constituido por dos riñones de 10cm de largo y con forma de frijol. Cada riñón se conforma de una **corteza renal externa** y una **medula renal interna**. En el interior del riñón hay una estructura llamada pelvis en forma de embudo y tiene la función de recoger la orina secretada por el riñón. De la pelvis, la orina pasa a los uréteres, luego a la **vejiga urinaria** y de ahí a la **uretra** para, posteriormente, ser expulsada al exterior (**Figura 5.15**).

Función de las nefronas: ultrafiltración, reabsorción y excreción

Los riñones son órganos homeostáticos que ayudan a mantener el equilibrio químico del interior del cuerpo: producen orina a partir de sales, desechos, agua, etc., que se filtran de la sangre que llega a los riñones.

Como unidad fundamental de filtración de cada riñón se tiene al **nefrón**, constituido éste por un túbulo y un **glomérulo**. En cada riñón hay cerca de un millón de nefrones filtrantes.

Cada túbulo está cerrado en uno de sus extremos, el cual aumenta de tamaño convirtiéndose en la cápsula de Bowman.

La sangre que llega al riñón es suministrada por la vena aorta por medio de las arterias denominadas **arterias renales**.

A su vez, las arterias renales se ramifican en arteriolas que entran a cada cápsula de Bowman. Dentro de esta cápsula, las arteriolas se subdividen en los capilares del glomérulo.

La filtración tiene lugar en la unión de los capilares glomerulares con la cápsula de Bowman. El agua, el azúcar, las sales, la urea, etc., pasan a la cavidad de la cápsula de Bowman; de aquí, el filtrado resultante, llamado filtrado glomerular, pasa al túbulo contorneado proximal de la corteza, después al asa de Henle y luego al túbulo contorneado distal que desemboca en dirección de la pelvis renal, los uréteres, la vejiga y la uretra (**Figura 5.16**).

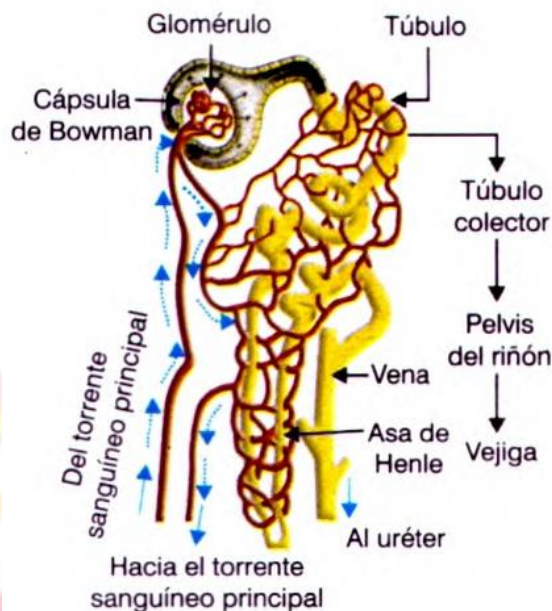


Figura 5.16 Unidad de filtración del riñón, con la cápsula de Bowman y el glomérulo.

Dentro de la cápsula de Bowman, la arteriola se subdivide y forma los capilares del glomérulo. Igualmente, dichos capilares se unen para formar otra arteriola, capilares tubulares y venas que drenan la sangre del riñón. Una vez que la sangre pasó a través del riñón, vuelve a la circulación sanguínea por medio de la vena renal que parte de cada riñón.

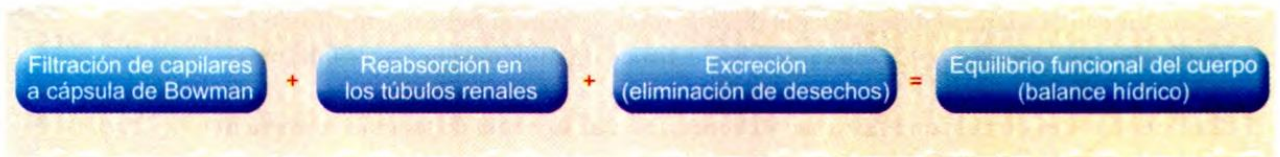
A través de los riñones pasan alrededor de 1200 ml de sangre por minuto. A partir de este flujo se forma la orina a razón de 1.0 a 1.5 litros de orina por cada 125 litros de filtrado glomerular. Los 124 litros restantes son de agua, que se reabsorbe. La reabsorción que ocurre en los túbulos renales permite que algunas sustancias, como la glucosa y aminoácidos, regresen a la sangre. Lo que no se reabsorbe, como los desechos y el exceso de sales, se excreta en el 1.0 a 1.5 litros de orina que se genera. Cada 24 horas los túbulos renales reabsorben 178 litros de agua, 250 gr de glucosa y 1.2 kg de sal.

La osmorregulación y el mantenimiento de líquido corporales

El agua influye directamente sobre las condiciones y distribución de la vida en la Tierra, ya que todos los organismos están constituidos, en su

mayoría, por agua. Además, en el agua corporal se llevan a cabo las reacciones metabólicas de los seres vivos.

El sistema excretor es uno de los mecanismos biológicos más eficaces para mantener el equilibrio y estabilidad del interior de los organismos. Al regular la cantidad de agua y sales en el organismo, los riñones mantienen el equilibrio entre el medio interno y el externo, así como de los líquidos corporales del mismo (**Esquema 5.3**).



Esquema 5.3 Etapas del equilibrio hidrico del cuerpo.

Los procesos de filtración, reabsorción y excreción son esenciales para mantener el balance hídrico de sales y otras moléculas en niveles óptimos para el desarrollo de las funciones vitales.

La dependencia de los organismos terrestres del agua proviene de sus antepasados y de la evolución con sus procesos adaptativos. La vida se originó y evolucionó en el agua, y los seres vivos terrestres provienen de medios acuáticos.

Así, en la actualidad, mientras que los organismos que viven en un medio acuático obtienen alimentos y oxígeno a partir del agua, los seres terrestres deben tener su propio medio acuoso interno, que está constituido por los **líquidos intersticiales** (entre las células) y la sangre.

En los organismos terrestres, el agua se ingiere con los alimentos líquidos, sólidos y semisólidos (todos los alimentos tienen agua), aunque una parte de ella se forma en las reacciones metabólicas; ya en el interior del cuerpo, el agua se vuelve parte de la sangre y del líquido intersticial. El exceso de agua se excreta o se evapora de los organismos.

El aparato excretor, entonces, expulsa los desechos, regula las concentraciones de los constituyentes de los líquidos corporales y el contenido de sales y líquidos del interior del cuerpo. Este mecanismo regulador se denomina **osmorregulación**.

Regulación de la función renal. Acción de los diuréticos

En los seres humanos el equilibrio hídrico se logra mediante la acción de los riñones, la piel, los pulmones y el aparato digestivo, que son los sistemas excretores del cuerpo humano. En este caso, el riñón evita la pérdida masiva de agua reabsorbiéndola, produciendo poca orina hipertónica y algunos desechos se van en las heces excretadas por el aparato digestivo. Los riñones son los principales órganos que ayudan a mantener el equilibrio hídrico, ajustando la cantidad de agua y sales que se filtran y reabsorben.

La velocidad de reabsorción del agua varía y está regulada por la ADH u hormona antidiurética secretada por la hipófisis. Cuando el consumo humano de líquidos baja, la concentración de sales disueltas en la sangre se incrementa, aumentando la presión osmótica de la misma. Hay osmorreceptores en el cerebro que detectan ese cambio, lo que provoca que la hipófisis segregue la ADH y esta hormona hace que la reabsorción de agua en los túbulos sea mayor.

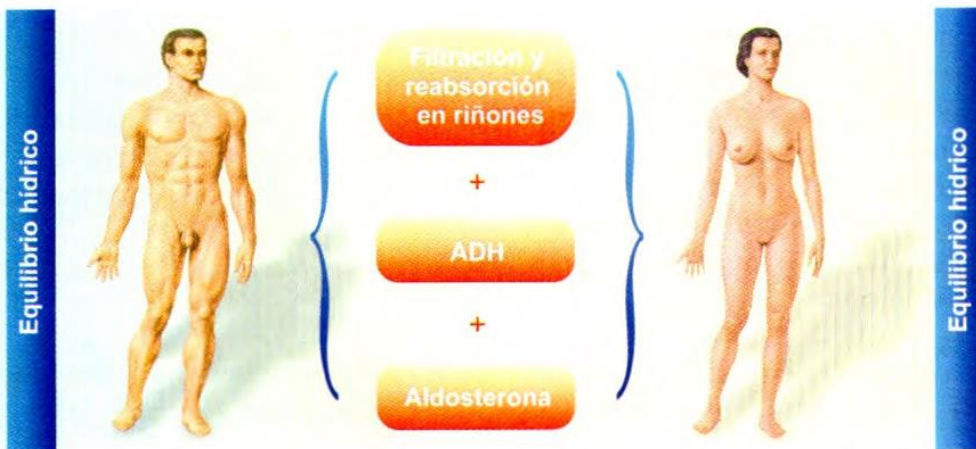


Figura 5.17 En los humanos, el equilibrio hídrico se da mediante la filtración y reabsorción de agua y sales en los riñones, además de la presencia o ausencia de las hormonas ADH y aldosterona.

Por el contrario, cuando hay un gran consumo de agua, la sangre se diluye y desciende su presión osmótica; bajo estas condiciones la secreción de ADH disminuye y la cantidad de agua reabsorbida se reduce; por lo mismo, se genera más orina pero menos concentrada.

La secreción de la ADH aumenta durante las horas de sueño, con lo cual las actividades urinarias disminuyen debido a que se promueve la reabsorción de agua en los riñones. Algunos diuréticos como las bebidas alcohólicas reducen la producción de ADH, lo cual incrementa la cantidad de orina.

Cada organismo vivo tiene diferentes maneras de deshacerse de sus residuos metabolizados para mantener el equilibrio de sus células con el medio. En casi todos los vertebrados el sistema excretor básico es el mismo; además de que los pulmones, las branquias, la piel y el aparato digestivo también intervienen en los procesos de excreción.

La excreción (*ex*: fuera; *cernere*: tamizar) es el proceso mediante el cual los organismos vivos eliminan de su cuerpo los desechos que producen durante las reacciones metabólicas.

En los vertebrados inferiores los túbulos renales desembocan en la cavidad corporal general, mientras que en los superiores lo hacen en las cápsulas de Bowman.

5.10 Sistema nervioso

El funcionamiento adecuado y coordinado de los sistemas nervioso y endocrino u hormonal regula las diferentes actividades de los animales; mientras que el sistema nervioso actúa rápidamente, las hormonas lo hacen de manera más lenta. En general, ambos sistemas regulan los procesos de estímulo y respuesta que ocurren cuando los seres vivos llevan a cabo sus funciones y cuando actúan con el ambiente en que viven.

El sistema nervioso es el más complejo de todos; es el coordinador general de las funciones vitales.

Cuando los organismos interactúan con su medio responden a los cambios físicos y químicos del mismo. Un cambio en el medio provoca un estímulo a los organismos y como consecuencia, éstos tienen respuestas a dichos estímulos. Los seres vivos tienen receptores para captar los estímulos, como los oídos, los ojos, la piel, etc. Una vez captados, los estímulos activan a los efectores como las glándulas o los músculos, que responderán efectuando una función.

Así, la función principal del sistema nervioso es conducir los impulsos generados por un estímulo e integrar las actividades de los diferentes órganos, tejidos y sistemas de los organismos.

Funcionamiento de la neurona

Las células que componen al sistema nervioso se llaman **neuronas**; sus partes constituyentes son el axón, las dendritas y un cuerpo celular que aloja al núcleo (**Figura 5.18**). Funcionalmente, las neuronas pueden ser sensitivas, de enlace y motoras. Las **neuronas sensitivas** tienen las dendritas en conexión con los receptores y los axones conectados con otras neuronas; las **neuronas de enlace** tienen dendritas y axones conectados a otras neuronas; las **neuronas motoras** tienen sus dendritas conectadas con otras neuronas y los axones con algún **efector**. Normalmente, la vía más simple de un impulso es de una neurona sensitiva a una de enlace y de ahí a una motora.

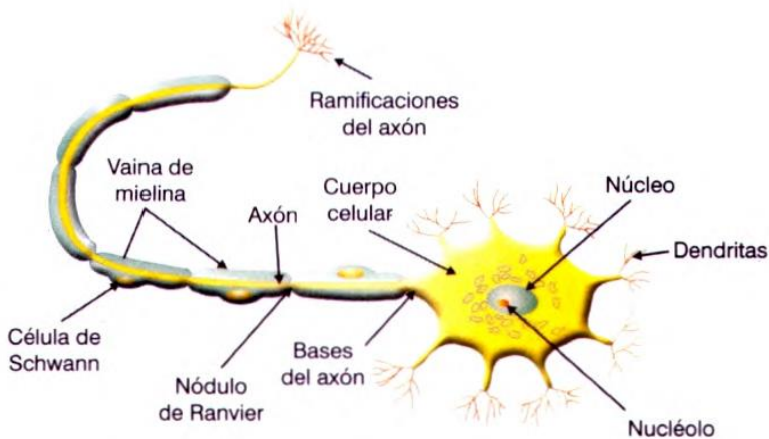


Figura 5.18 La neurona y sus partes.

Los nervios son axones y dendritas reunidos en una vaina común de tejido conectivo.

Las neuronas pueden tener una envoltura externa llamada **neurilema** y otra interna que se denomina **vaina de mielina**.

El impulso nervioso es una reacción electroquímica que se propaga a lo largo del tronco nervioso. Cuando hay un estímulo, el impulso nervioso se transmite desde la extremidad del cilindro eje de una neurona a las dendritas de la neurona siguiente, saltando la unión sináptica por medio de una secreción química, que es el nuevo transmisor llamado acetilcolina. La unión sináptica o sinapsis es la unión entre dos neuronas sucesivas.

La **teoría de la membrana de la conducción nerviosa** explica que los fenómenos de transmisión están regulados por la permeabilidad diferencial de la membrana de la fibra nerviosa, a los iones de sodio (Na^+) y potasio (K^+).

La fibra es un tubo cilíndrico largo cuya membrana celular separa el ambiente interno del externo. En el ambiente interno hay igual número de iones que en el externo, pero en éste predominan los iones de cloro y sodio, y en aquél, los de potasio. El sodio tiene una concentración 10 veces mayor en el interior de la célula que en el exterior; y el potasio, 30

veces mayor en el exterior que en el interior. Normalmente hay corrientes de iones en ambos sentidos de la membrana, pero las concentraciones de sodio y potasio mencionadas anteriormente permanecen constantes. Esta distribución de iones a cada lado de la membrana genera una diferencia de potencial de 0.06 a 0.09 voltios; la carga interior es negativa, y positiva la exterior. A esta diferencia de potencial se le llama **potencial de membrana en reposo**; es decir, es el diferencial de potencial eléctrico cuando la membrana está en reposo, pues no tiene aplicado ningún estímulo.

Cuando ocurre un estímulo en la fibra nerviosa, se genera un impulso que provoca un cambio pasajero en la permeabilidad de la membrana; debido a ello entran los iones de sodio y salen los de potasio, con lo que la membrana se despolariza quedando el interior positivo y el exterior negativo, con un nuevo **potencial de membrana activa**.

Así pues, el impulso nervioso es una onda de despolarización que se desplaza a lo largo de la fibra nerviosa, donde la modificación del potencial de la membrana en una fracción de la fibra hace que la fracción siguiente sea más permeable y la onda de despolarización se transmita a lo largo de la fibra nerviosa (**Figura 5.19**).

Una vez pasado el impulso, la membrana vuelve a su potencial inicial de reposo y de cargas (negativo afuera y positivo adentro). En esta fase final del proceso no se expulsa el sodio, sino que salen más iones de potasio para equilibrar el impulso nervioso.

Ya que el impulso nervioso pasó de un extremo de la fibra nerviosa al otro, es necesario que dicho impulso pase de una célula neuronal a otra; cabe aclarar que ambas células no están unidas físicamente entre sí.

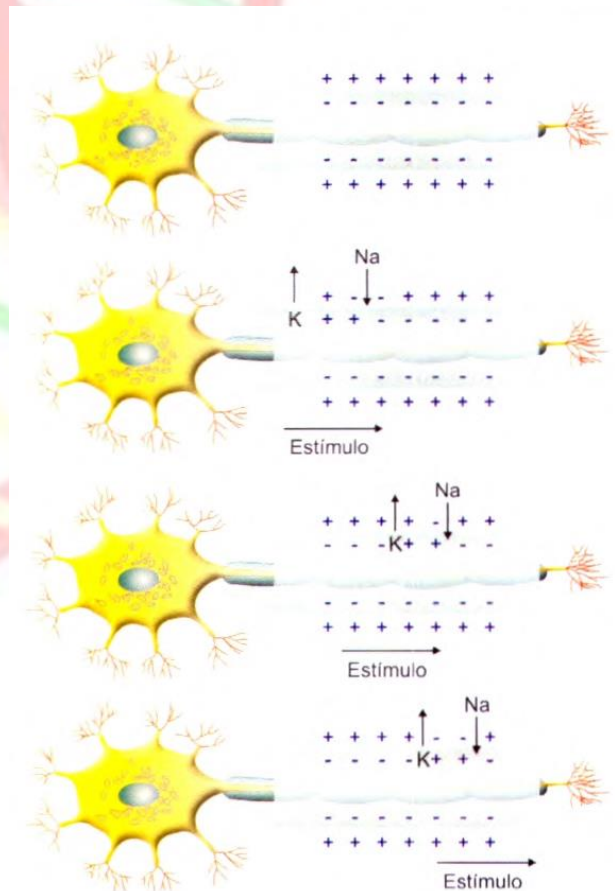


Figura 5.19 Cambios de polaridad durante la transmisión del impulso.

La conexión entre dos neuronas se logra por transmisión química a través de la sinapsis. En este mecanismo químico, cuando llega un impulso nervioso, el extremo del cilindro eje de la neurona segrega un producto químico que se derrama al espacio sináptico y se adhiere a un quimiorreceptor de la dendrita de la célula vecina. Así, el impulso es enviado de una célula a otra. La sustancia química o neurotransmisor que interviene en la quimiotransmisión de impulsos es la **acetilcolina**, estructuralmente relacionada con la enzima denominada acetilcolinesterasa.

La transmisión química de impulso a través de la fibra nerviosa comprende (**Figura 5.20**):

- La neurosecreción o emisión de una sustancia química en el espacio sináptico.
- Quimiorrecepción, en la que la sustancia transmisora se adhiere a las dendritas de la célula siguiente, con lo cual el impulso sigue de una célula a otra.

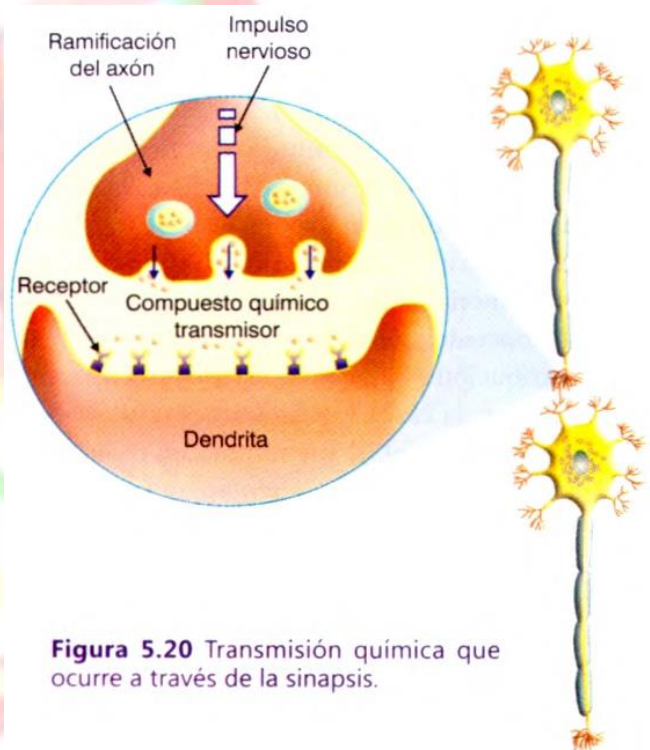


Figura 5.20 Transmisión química que ocurre a través de la sinapsis.

Finalmente, y a manera de resumen, se puede decir que el flujo de información a través del sistema nervioso se lleva a cabo siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- ✚ Recepción de la información.
- ✚ Transmisión de impulsos a través de las neuronas, al cerebro o a la médula espinal.
- ✚ Integración de la información en el cerebro.
- ✚ Transmisión de impulsos del cerebro o médula hacia un efector.
- ✚ Respuesta del efector, un músculo o una glándula.

Los neurotransmisores

Un neurotransmisor es una sustancia que tiene la función de transmitir el impulso nervioso de una neurona a otra. Se produce y libera en el extremo de una neurona y actúa en el extremo de la otra, lo que provoca la sinapsis o transmisión del impulso nervioso.

Algunos de los principales neurotransmisores son la acetilcolina, adrenalina, noradrenalina, dopamina, serotonina, melatonina, endorfina, histamina, entre otros muchos más.

Sistema nervioso central

El sistema nervioso tiene alrededor de diez mil millones de células nerviosas o **neuronas**. Se divide en dos sistemas: el **Sistema nervioso central** (encéfalo y médula) y el **sistema nervioso periférico** (nervios craneales y raquídeos).

El **encéfalo** es la porción superior y dilatada de la médula espinal. Está compuesto por bulbo, protuberancia, cerebelo, tálamo, mesencéfalo y cerebro.

El **bulbo** regula la respiración, el latido cardíaco, vómito, deglución y los vasos sanguíneos, que funcionan de manera refleja. El **cerebelo** coordina el movimiento de los músculos. La **protuberancia** coordina los movimientos musculares de ambos lados del cuerpo. Las funciones asociadas al **mesencéfalo** son los reflejos visuales y auditivos, como la contracción pupilar y los movimientos auriculares; además, regulan la postura y el tono muscular. El **tálamo** es el centro de enlace de los

impulsos sensitivos entre la médula y el encéfalo; también regula las emociones. Asimismo, está el **hipotálamo**, cuyos centros nerviosos controlan el apetito, la temperatura corporal, la presión arterial, el metabolismo de grasas y azúcares y el sueño (**Figura 5.21**). Todas las porciones encefálicas

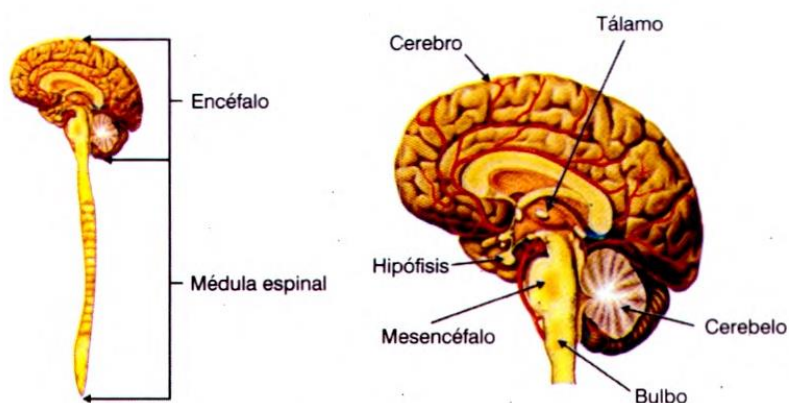


Figura 5.21 Sistema nervioso del ser humano.

anteriores hacen funcionar la conducta automática del hombre, que no requiere aprendizaje.

Finalmente, la otra estructura del encéfalo es el cerebro, con sus hemisferios cerebrales que tienen la función de coordinar y dirigir la conducta aprendida, incluidas la conciencia, la inteligencia, la memoria, la interpretación, etc. El cerebro tiene una corteza cerebral con circunvoluciones cuya capa externa es gris y se divide en tres áreas: **motoras**, que controlan los movimientos voluntarios y algunos involuntarios; **sensoriales**, que reciben información proveniente de ojos, oído, tacto y otros órganos de los sentidos; de **asociación**, que tiene los centros de pensamiento, aprendizaje, memoria y conexión de áreas sensoriales y motoras. Además de la corteza gris, en el interior del cerebro hay materia blanca a base de haces de fibras que interconectan las neuronas del mismo hemisferio, de los dos hemisferios y de las vías ascendentes y descendentes, y que sirven para relacionar diversas áreas del encéfalo.

El segundo componente del sistema nervioso central es la **médula espinal**. Esta parte se extiende desde la base del encéfalo hasta la segunda vértebra lumbar. Sus funciones básicas son dos: transmitir impulsos hacia el cerebro e impulsos que salgan de él, y controlar muchas de las actividades reflejas.

La médula está protegida por las áreas neurales de las vértebras de la columna dorsal ósea. Está compuesta por una masa **interna gris** en forma de mariposa, con cuerpos de neuronas, y otra parte externa blanca llamada **sustancia blanca**, formada por haces de axones y dendritas. Los axones y dendritas de la sustancia blanca tienen dos tipos de haces: **vías ascendentes**, que llevan impulsos al encéfalo, y **vías descendentes**, que llevan impulsos desde el encéfalo a los efectores (**Figura 5.22**).

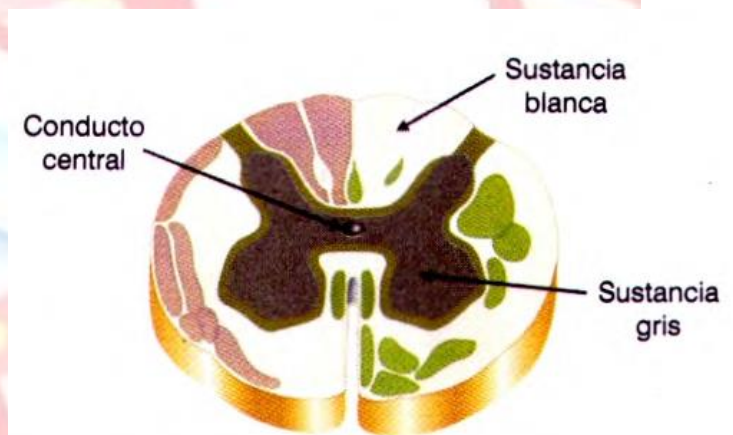


Figura 5.22 Médula espinal y sus partes.

Sistema nervioso periférico (somático y autónomo)

El **sistema nervioso periférico** está compuesto por los nervios craneales y los raquídeos o espinales, que se conectan a todos los efectores y receptores del organismo. Este sistema está formado por haces de fibras nerviosas (axones y dendritas); también hay neuronas sensitivas reunidas

en ganglios y neuronas motoras del sistema autónomo.

Los nervios craneales son doce pares; salen del encéfalo y llegan hasta los órganos de los sentidos, los músculos y las glándulas de la cabeza; están formados por neuronas sensitivas o motoras, o por ambas.

Los nervios raquídeos son mixtos pues tienen neuronas motoras y sensitivas; hay 31 pares simétricos que se originan en la médula espinal y se ramifican hacia la piel, los músculos y las vísceras.

El corazón, los pulmones, el tubo digestivo y otros órganos están inervados por nervios periféricos que en conjunto reciben el nombre de **sistema nervioso autónomo**, el cual sólo tiene nervios motores que no son regulados por el cerebro.

Riesgos para el sistema nervioso: uso de drogas y alcohol

Drogadicción

La drogadicción es una enfermedad que provoca dependencia a sustancias que afectan el sistema nervioso central y diversas funciones cerebrales. Las drogas producen alteraciones en el comportamiento, la percepción, el juicio y las emociones; generan alucinaciones, entorpecen los sentidos, provocan desesperación y euforia, locura, paranoia e, incluso, la muerte.

El adicto es una persona esclavizada a la dependencia y pierde los conceptos básicos de moralidad y buen comportamiento social. Puede llegar a hacer lo que una persona normal no haría: roba, miente, se prostituye, abandona a la familia, no tiene amigos, trafica artículos y drogas, pierde el trabajo, abandona estudios, es despreciado y segregado, no tiene autoestima y vive en un estado permanente de degradación física y mental. Su objetivo primordial, único y último en la vida es drogarse.

La drogadicción es un problema social no exclusivo de un grupo o estrato social, económico o cultural. Cualquiera puede ser afectado.

Dentro de los factores y situaciones que inducen a la drogadicción se tienen: la imitación, deseo de huir de la realidad, presión social, fracasos personales sobredimensionados, alcoholismo, vacío existencial; entorno familiar estresante y desatención, abuso de somníferos y tranquilizantes; baja autoestima, frecuentar centros de distracción inseguros donde existe el narcomenudeo y acceso fácil a las drogas; asimismo, la creencia en valores humanos distorsionados sobre el mundo de las drogas, como el

enriquecimiento rápido, el placer, el sexo y el consumismo, entre otros.

Entre los jóvenes es común la inducción a la drogadicción mediante la manipulación del deseo que ellos tienen de sentirse aceptados y de pertenecer a un grupo de «amigos». Un «amigo» no lo es desde el momento en que induce a otra persona a drogarse, alcoholizarse o a cometer algún acto que lo pueda perjudicar física o mentalmente. En esos casos es mejor no ser parte de la «banda».

También es probable que exista alguna predisposición genética para inducirse a la drogadicción.

Un ambiente familiar sano, de comunicación, abierto, comunicativo, seguro, sin conflictos físicos y emocionales, sanos y no frustrantes, atentos y satisfactorios, es un fuerte escudo contra las drogas.

Si a ello se le agregan padres responsables, atentos a sus hijos, no agresivos ni apáticos, el efecto es mejor.

El drogadicto tiene los siguientes síntomas físicos y emocionales: sufre alucinaciones, depresiones y neurosis; se vuelve esclavo de la droga; es irritable; su rendimiento académico cae estrepitosamente; se vuelve desaseado, sucio; tiene insomnio y desgano permanente; es incoherente con el lenguaje; no cumple con responsabilidades; se aísla; roba cosas de su casa; pierde el apetito, etcétera.

Algunas drogas comunes son marihuana, cocaína, heroína, éxtasis, anfetaminas, somníferos, crack, hongos alucinógenos y solventes (thiner) entre otros.

Una persona que ya es adicta debe someterse a tratamientos médicos y psicológicos para desintoxicarse y hacerlo descubrir su valor e identidad, así como aumentar sustancialmente su autoestima.

Alcoholismo

Esta enfermedad se caracteriza porque el alcohólico es dependiente física y psicológicamente del alcohol. El 10% de la población bebedora ya es alcohólica.

Los orígenes del alcoholismo pueden ser genéticos o inducidos por la interacción social. Puede surgir por imitación o por falta de autoestima y confianza, lo cual lleva a que la persona necesite tomar alcohol para sentirse bien, desinhibida, «a tono». Los hogares destruidos son lugares

propicios para que se desarrolle esta enfermedad entre los miembros de la familia.

En casos graves de alcoholismo la persona alcohólica se tira al abandono; falta al trabajo; no cumple sus compromisos; maltrata a su familia y la ridiculiza; sufre alucinaciones; se mete en problemas legales por robar, dormir y defecar en la calle; roba; es lesionada por desconocidos; es robada; tiene sentimientos de culpa es apática.

Desde el punto de vista orgánico, el alcohol daña órganos vitales como el cerebro, el hígado, el corazón y los riñones. Con mucha frecuencia el consumo exagerado de alcohol lleva a infartos al corazón, derrames cerebrales, cirrosis, diabetes y otras enfermedades graves que pueden llevar a la muerte.

El alcohólico debe someterse a tratamiento médico y psicológico para tratar de recuperar la salud y la autoestima. Los grupos de Alcohólicos Anónimos han tenido mucho éxito como apoyo para contrarrestar esta enfermedad.

5.11 Sistema endocrino

Glándulas endocrinas

Una glándula endocrina es una glándula interna que secreta hormonas. Una hormona es un mensajero químico con efectos específicos sobre la fisiología de otras células (**Figura 5.23**).

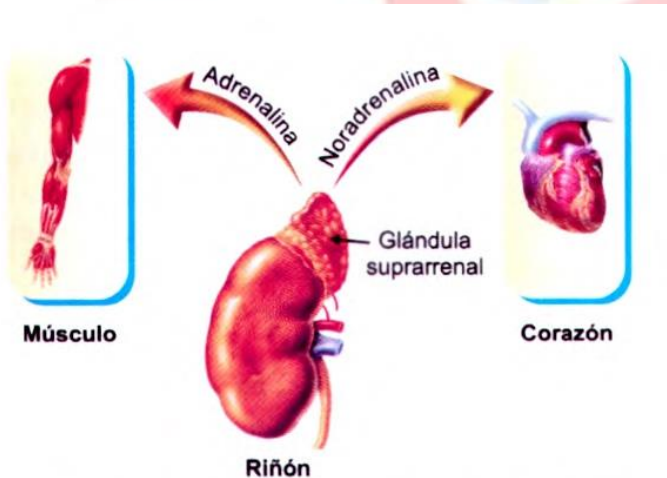


Figura 5.23 Las hormonas se producen en las células de las glándulas respectivas y tienen su efecto sobre otras células ajenas y lejanas a la glándula.

En coordinación con el sistema nervioso, el sistema endocrino mantiene el funcionamiento equilibrado de los animales multicelulares, ya que las hormonas regulan el crecimiento, la reproducción, el metabolismo y las concentraciones de azúcar y minerales en la sangre, entre otras cosas.

En los animales invertebrados y vertebrados, las hormonas son segregadas por las glándulas endocrinas y vertidas

directamente al flujo sanguíneo. Algunas hormonas son segregadas y funcionan de manera continua; otras lo hacen durante periodos cortos y aislados de tiempo, con lo cual crean cambios en la actividad corporal, regulando y coordinando las actividades celulares.

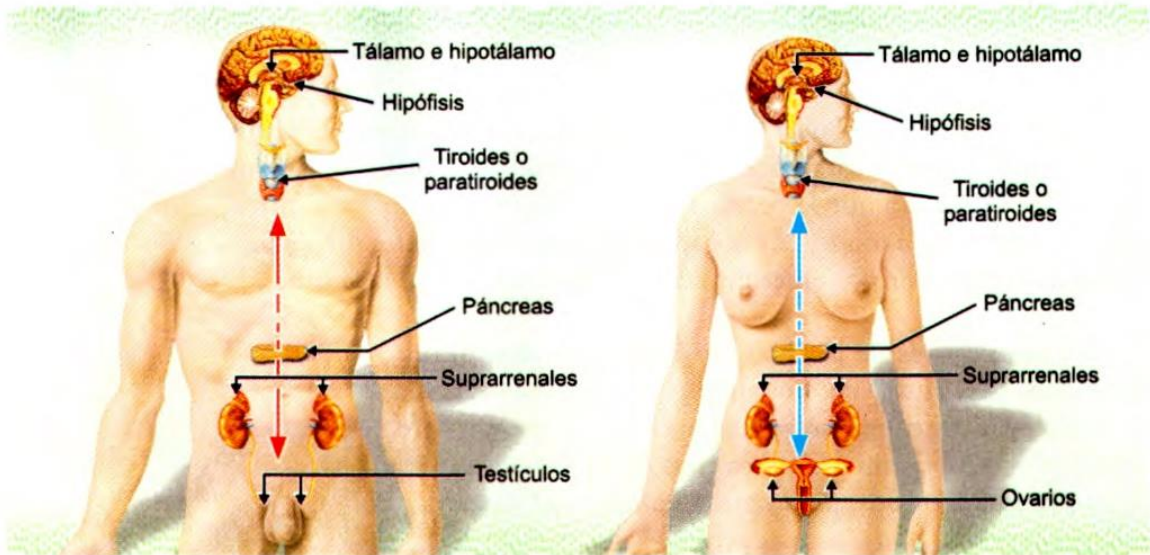


Figura 5.24 Sistema endocrino humano. Todas las glándulas, excepto las sexuales, se repiten en el hombre y la mujer.

Hormonas y su función

Las hormonas son proteínas que actúan en concentraciones muy bajas, difundiéndose a diferentes partes del cuerpo para coordinar y regular la actividad celular. Actúan como coordinadoras químicas que complementan el funcionamiento del sistema nervioso.

Las hormonas principales, según las glándulas que las producen, son:

✚ Tiroides.

Par de glándulas ubicadas en la parte anterior del cuello que segregan la hormona tiroglobulina, cuyas partes activas son la tiroxina y la triyodotironina. La tiroxina activa los procesos de oxidación metabólica para producir energía; por lo mismo, influye en el crecimiento de los organismos. Una deficiencia en la producción de tiroxina en la tiroides provoca **mixedema**, que es una afección caracterizada por el bajo metabolismo, con lo que el enfermo padece de una sensación permanente de frío; además, sufre de aletargamiento físico y mental.

En caso de que la tiroides funcione de manera excesiva, el metabolismo es elevado; las personas con esta enfermedad padecen de sudoración persistente, pierden peso, son nerviosas, hipertensas e irritables, débiles de músculos y padecen **exoftalmia**.

Por otra parte, cuando el paciente consume yodo de manera insuficiente, la tiroides crece para compensar la deficiencia; con este hecho, aparece otro tipo de afección conocida como **bocio**. Las personas con bocio tienen el cuello abultado a la altura de la garganta. Para compensar la falta de yodo y contrarrestar los efectos del bocio es necesario ingerir más yodo en los alimentos, con lo que la glándula llega a recuperar su tamaño normal.

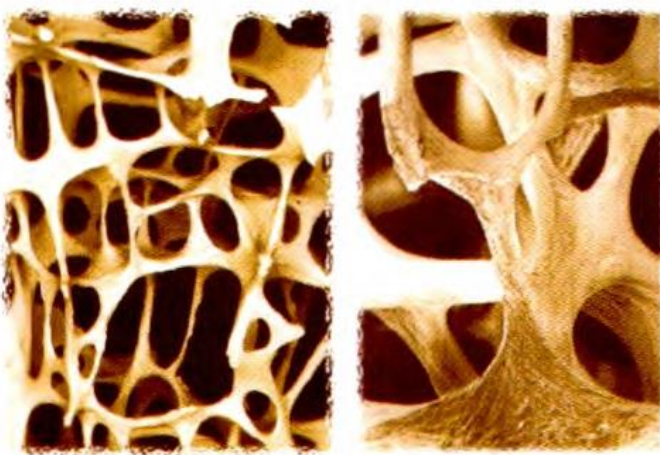


Ilustración 5.8 La descalcificación de los huesos aumenta su porosidad, por lo que se rompen más fácilmente.

✚ **Paratiroides.**

Son cuatro y se encuentran en la parte superior e inferior de la glándula tiroides. Segregan la hormona **paratiroidina**, que regula la concentración de calcio y fósforo en la sangre y los tejidos. La falta de esta hormona provoca tetania, que son temblores, calambres y convulsiones provocados por la pérdida de calcio (calcemia) en la sangre y tejidos. Cuando la calcemia es extrema, los huesos se reblandecen y se fracturan con suma facilidad (**Ilustración 5.8**).

✚ **Islotes de Langerhans del páncreas.**

Son cúmulos de células en forma de islotes ubicados en el páncreas que segregan la hormona denominada **insulina**, la cual disminuye la concentración de azúcar en la sangre, y el **glucagón**, que promueve a la enzima que desintegra al glucógeno para aumentar la concentración de azúcar simple en la sangre.

La presencia de insulina aumenta la velocidad de absorción y degradación de la glucosa, y la falta de esta hormona provoca **diabetes**, enfermedad caracterizada porque los enfermos presentan altas concentraciones de glucosa acumulada en su torrente sanguíneo y en la orina. El enfermo de diabetes siempre está sediento, pierde peso y padece acidosis. La secreción de insulina pancreática está determinada por la presencia o ausencia de azúcares en la sangre.

Suprarrenales.

Existen dos glándulas de este tipo en el humano. Se ubican, cada una, sobre cada riñón; por eso se llaman suprarrenales. Cada glándula es una combinación de dos glándulas ubicadas en la siguiente forma: una llamada médula, ubicada hacia el centro de la glándula suprarrenal, y otra llamada corteza, ubicada hacia la parte externa.

La médula segrega las hormonas adrenalina y noradrenalina. La adrenalina provoca hipertensión, hiperglucemia, aceleración cardíaca, dilatación de pupilas y **vasoconstricción cutánea**, entre otros efectos. La noradrenalina aumenta la presión sanguínea. Estas hormonas son controladas por el sistema nervioso. Se segregan cuando los organismos están ante una situación de peligro y preparan el cuerpo para la lucha o la huida.

Por otro lado, la corteza suprarrenal segrega tres tipos de hormonas llamadas **hormonas corticales**, que son: **glucocorticoides** (como el cortisol), que estimulan la conversión de proteínas en carbohidratos; **mineralocorticoides** (como la aldosterona), que regulan el metabolismo del sodio y el potasio, y la **desoxicorticosterona** (como la cortisona), que equilibra el metabolismo de agua y sales. Además de las tres hormonas anteriores, la corteza de las glándulas suprarrenales produce hormonas sexuales que controlan el desarrollo de los órganos sexuales.

Las funciones de la corteza suprarrenal están controladas por la hormona llamada **adrenocorticotrópica**, segregada por la hipófisis. Cuando hay pocos esteroides en la sangre (principalmente el cortisol), la hormona adrenocorticotrópica estimula a la corteza para que produzca más cortisol. De igual forma, la presencia de un exceso de cortisol en la sangre inhibe la secreción de la hormona de la hipófisis.

Hipotálamo e hipófisis.

El hipotálamo actúa de enlace entre el sistema nervioso y el endocrino; secreta hormonas que regulan el funcionamiento de la hipófisis. Segrega las hormonas ADH y oxitocina que se almacenan en los axones de la hipófisis y son liberadas cuando éstos se excitan; además, segrega las hormonas liberadoras y liberador-inhedoras que controlan la liberación de las hormonas que se producen en el lóbulo anterior de la hipófisis. Por su parte, la hipófisis secreta nueve tipos de hormonas que controlan a otras glándulas, así como muchas de las funciones del cuerpo. Ejemplo de estas hormonas es la ADH, que regula la liberación de oxitocina del hipotálamo, la prolactina y la hormona del crecimiento que regula el desarrollo. Si la hipófisis es poco activa durante el crecimiento, provoca el enanismo; si es

muy activa, una vez que se completa el crecimiento, ocasiona la acromegalia, que induce el aumento desproporcionado de los huesos de las manos, los pies y la mandíbula (Figura 5.25).

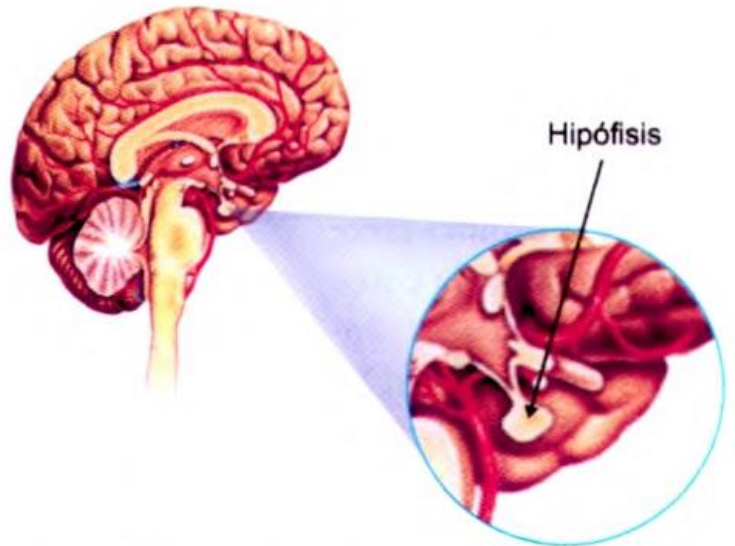


Figura 5.25 La hipófisis es una glándula muy importante.

✚ Testículos.

Estas glándulas masculinas segregan andrógenos que estimulan el desarrollo de las características sexuales secundarias masculinas como voz grave, barba, fortaleza muscular, etc., además de contribuir a la conformación de la próstata, las vesículas seminales y el pene. La testosterona es el principal andrógeno que también regula el impulso reproductor y la conducta sexual.

✚ Ovarios.

En la mujer, los ovarios segregan estrógenos y progestinas, como el 17- β estradiol y la progesterona, que determinan las características femeninas como el ensanchamiento de la pelvis, desarrollo mamario, crecimiento del útero, voz aguda, ciclos menstruales, etcétera.

Diabetes

Hay dos tipos de diabetes. La diabetes tipo 1, que también se llama diabetes insulino dependiente, se diagnostica generalmente durante la infancia. En este tipo, el páncreas produce poca insulina, o no la produce en absoluto, así que son necesarias inyecciones diarias de insulina. Entre 5 y 10 por ciento de todos los casos conocidos de diabetes son del tipo 1.

La forma más común es la diabetes tipo 2, que también se llama diabetes no dependiente de insulina. Aunque ésta generalmente se presenta en los adultos de edad mediana, los adolescentes y los adultos jóvenes también están desarrollando diabetes tipo 2 a una velocidad alarmante. Entre 90 y 95 por ciento de los casos de diabetes son del tipo 2. Este padecimiento se desarrolla cuando el cuerpo no produce suficiente insulina y, además, no utiliza la cantidad de insulina disponible con eficiencia (resistencia a la insulina).

La diabetes tipo 2 se puede controlar mediante la dieta y el ejercicio; sin embargo, algunas personas también necesitan medicamentos orales o insulina para ayudar a controlar el azúcar en la sangre. Los antecedentes familiares son un factor de riesgo muy importante de tener diabetes tipo 2, al igual que la obesidad y la falta de actividad física.

Las señales de aviso de la diabetes son:

Las personas que crean tener diabetes deben visitar a un médico para revisión. Podrían tener algunos de estos síntomas:

- Orinar frecuentemente
- Sed excesiva
- Pérdida de peso sin explicación
- Hambre excesiva
- Cambios repentinos en su vista
- Hormigueo o falta de sensación en las manos o los pies
- Sentirse muy cansado gran parte del tiempo (fatiga)
- Piel muy reseca
- Cortadas y llagas que tardan mucho en sanar o que se infectan más de lo usual
- Irritabilidad

¿Cómo puedo evitar o retrasar la diabetes?

- ✚ **Pierda peso si usted tiene sobrepeso o si es obeso.** Bajar de 5 a 10 kilogramos le puede ayudar a reducir significativamente su riesgo de enfermedades del corazón, y la pérdida de peso ayuda a reducir la grasa corporal, la presión arterial y la resistencia a la insulina.
- ✚ **Controle el colesterol.** Coma una dieta saludable baja en grasa saturada para mantener el colesterol en sangre de menos de 200 mg/dl.
- ✚ **Controle la presión arterial.** Si usted tiene diabetes, su presión arterial debería ser menos de 130/80 mm Hg (milímetros de mercurio) para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.
- ✚ **Haga actividad física.** La actividad física habitual y mantener un peso adecuado le pueden ayudar a reducir el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2. Haga ejercicio durante 30 minutos o más, la mayoría de los días de la semana. Usted puede hacer sesiones de 10 minutos varias veces al día. Caminar es una excelente forma de

actividad física. Trate de hacer una caminata de 10 minutos por la mañana, a la hora de la comida y después de trabajar.

Glándulas exocrinas

Estas glándulas no producen hormonas sino diversos compuestos químicos que sirven como lubricantes, protectores, enzimas, alimento, etc. A estas glándulas las regula el sistema nervioso autónomo, el sistema endócrino o ambos.

Los productos de las glándulas exocrinas son conducidos al lugar de su función por medio de conductos o tubos, a diferencia de las endócrinas, que sus productos son vertidos al torrente sanguíneo. Ejemplo de secreciones de este tipo de glándulas son: el moco, sudor, sebo, cera, saliva.

Como ejemplos específicos se tiene a las glándulas salivales, que producen saliva que sirve para ablandar la comida, formar el bolo alimenticio e iniciar el proceso de digestión.

Un ejemplo más son las glándulas lagrimales ubicadas en el ojo, que producen lágrimas para humeder la conjuntiva y permitir el parpadeo normal.

Asimismo, se pueden mencionar las glándulas mamarias, que producen leche para alimentar a los bebés, y las sudoríparas, que producen y eliminan sudor; también ayudan a excretar alcohol y otras sustancias nocivas al organismo.

5.12 Reproducción y desarrollo

Para poder vivir, los seres humanos necesitamos agua y comida; sin embargo, es factible vivir sin tener relaciones sexuales por muchos años, inclusive por toda nuestra existencia; sólo que si todos siguiéramos este consejo pronto se extinguiría la especie humana.

Para que se dé la respuesta sexual es necesario que en nuestro cuerpo funcionen glándulas sexuales que van a producir hormonas. En la etapa de la pubertad, dichas glándulas sexuales producen una gran cantidad de hormonas sexuales.

Si unimos las hormonas sexuales con estímulos que llegan a nuestros sentidos (olor, vista, tacto) o a nuestras fantasías sexuales, tendremos una respuesta sexual que prepara a los seres humanos para una relación sexual y una eventual fecundación para formar un nuevo ser humano.

Anatomía y fisiología del aparato reproductor masculino

Órganos externos e internos

El aparato reproductor masculino está formado por los genitales externos (testículos y pene) y los internos (epidídimo, conductos deferentes, próstata, vesículas seminales y conductos eyaculadores) (**Figuras 5.26 y 5.27**).

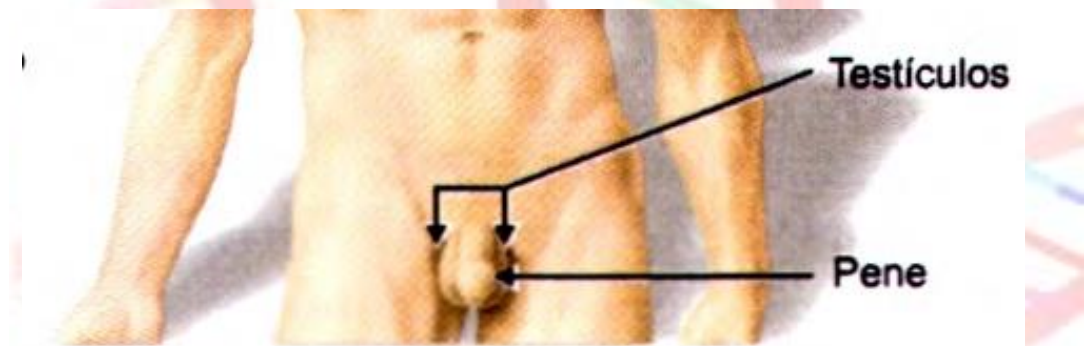


Figura 5.26 Aparato reproductor masculino.

Testículos. Están dentro de una especie de saco llamado escroto. Tienen dos tipos de secreciones: la externa, que es cuando se vierten al exterior los espermatozoides, y la interna, que es cuando se producen las hormonas masculinas llamadas andrógenos (testosterona) y que en la pubertad van a ser las responsables de los caracteres secundarios. En ellos se forman los espermatozoides.

Pene. Es un órgano situado delante del pubis; se divide en raíz (parte que lo une al individuo), cuerpo o parte central, y parte final o glande, el cual está cubierto por un pliegue llamado prepucio. En su interior, el pene está formado por los cuerpos cavernosos y esponjosos, característica que le da la capacidad de erección durante las

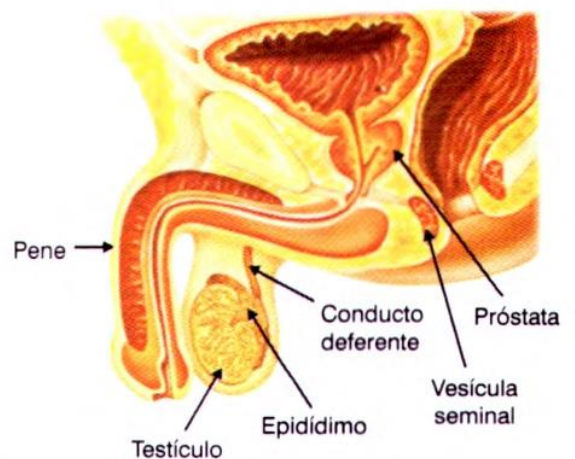


Figura 5.27 Órganos internos del aparato reproductor masculino.

relaciones sexuales para penetrar en la vagina y, a su vez, depositar el semen con espermatozoides.

Epidídimo. Es un tubo con conductos enrollados; se encuentra arriba del testículo y su función es almacenar los espermatozoides que en éste se han formado.

Conducto deferente. Está conectado al epidídimo y termina en la vesícula seminal. Es un camino más para los espermatozoides, sólo que éstos, en su recorrido, terminan encima de la próstata.

Próstata. Su función es secretar un líquido que, al mezclarse con los espermatozoides, forma el semen.

Vesículas seminales. Su función es producir el 60% del líquido seminal. Tienen la forma de dos pequeños sacos y están unidos a la próstata.

Conductos eyaculadores. Último tramo de la vía espermática que termina en la uretra. Ésta sirve para expulsar la orina y el semen.

Anatomía y fisiología del aparato reproductor femenino

Órganos externos e internos

El aparato reproductor femenino está formado por el órgano externo llamado vulva, que comprende el clítoris y los labios mayores y menores. Los órganos internos están situados en la región pélvica y son: los ovarios, las trompas de Falopio, el útero y la vagina (**Figuras 5.28 y 5.29**).



Figura 5.28 Órganos sexuales femeninos.

Labios mayores y menores. Son pliegues cutáneos que se encuentran en la entrada de la vagina.

Clítoris. Órgano erógeno pequeño de unos milímetros de tamaño, compuesto por dos cuerpos cavernosos; en estado de excitación mayores posee capacidad de erección.

Ovarios. Son dos órganos en forma ovalada con una longitud de aproximadamente 4 cm cada uno; producen óvulos y hormonas femeninas. Los óvulos son células sexuales femeninas, con miles de folículos ováricos, de los cuales solamente alrededor de 400 maduran. El ovario realiza una secreción interna a base de hormonas femeninas (estrógenos y progesterona). La superficie del ovario es lisa durante la niñez y en la pubertad se vuelve rugosa (maduran los óvulos y hay formación y ruptura de los folículos de Graff); a partir de la menopausia, la superficie vuelve a ser lisa.

Trompas de Falopio. Son dos conductos de aproximadamente 10 cm de largo que van desde los ovarios hasta el útero. En esta zona es donde el óvulo y el espermatozoide se unen para realizar la fecundación.

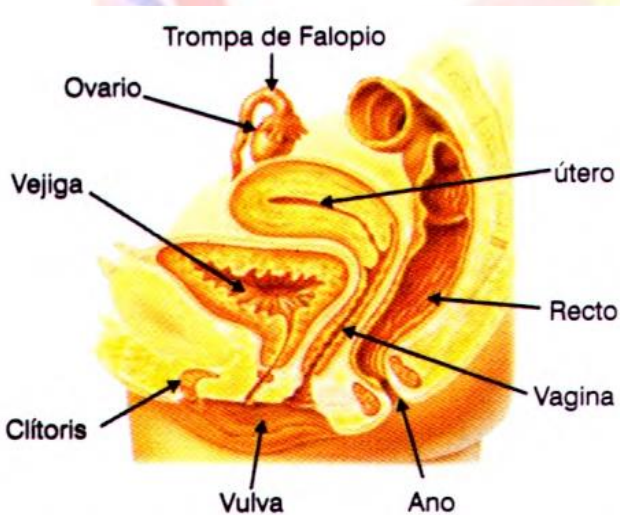


Figura 5.29 Aparato reproductor femenino y partes anexas.

Trompa de Falopio. Son dos conductos de aproximadamente 10cm de largo que van desde los ovarios hasta el útero. En esta zona es donde el ovulo y el espermatozoide se unen para realizar la fecundación.

Útero. También se le llama matriz. Es un órgano hueco que está conectado con las trompas de Falopio y la vagina. En caso de fecundación, en él se lleva a cabo la nidación del huevo para iniciar el desarrollo del embrión.

Vagina. Conducto hueco y musculoso de unos 10 cm de longitud; por el lado superior está conectado al útero y por el inferior se abre hacia los órganos externos. Durante la relación sexual se extiende para recibir el pene del hombre. Es el primer reservorio del semen antes de que los espermatozoides pasen al útero y de ahí a las trompas de Falopio.

Ciclo menstrual ovárico y uterino

Durante el desarrollo de la mujer ocurren cambios fisiológicos relacionados con su aparato reproductor; uno de ellos es la **menstruación** o sangrado uterino, que inicia durante la adolescencia, entre los 11 y 15 años de edad. Otro cambio fisiológico es la **menopausia** (también se le conoce como climaterio), que aparece alrededor de los 50 años y es la etapa en la que desaparece la menstruación. Ambos fenómenos están directamente relacionados con cambios en la secreción de las hormonas femeninas.

Tanto la menstruación como la menopausia crean incertidumbre, inquietud y tensión psicológica en las mujeres; son procesos biológicos normales asociados con el inicio (menarquia) y el final (menopausia) de su etapa fértil en que pueden procrear hijos.

Al inicio de la pubertad o adolescencia, en las mujeres se empiezan a desarrollar las glándulas mamarias o senos, así como los órganos reproductores y demás características sexuales secundarias como el vello púbico, el vello de las axilas y la aparición considerable de tejido adiposo (grasa) en las caderas. Todo ello como consecuencia de que la producción de hormonas sexuales femeninas se inicia de manera regular, a fin de preparar a la mujer para la procreación. En la adolescencia empiezan los ciclos menstruales uterinos; a la primera menstruación o sangrado se le denomina **menarquia**.

El útero es una de las partes constituyentes del aparato reproductor femenino interno; se compone de tejido muscular liso muy resistente y flexible. La parte más angosta del útero, colocada hacia abajo, se comunica con la vagina a través del cuello uterino. La parte más ancha, ubicada hacia arriba, se interconecta con las trompas de Falopio.

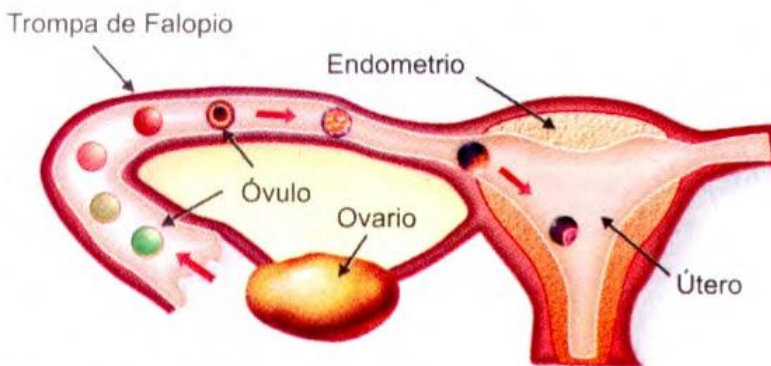


Figura 5.30 Liberación del óvulo para su fecundación.

ovulación o liberación de los óvulos en los ovarios, dichos óvulos son

captados por las trompas de Falopio y conducidos hacia la cavidad uterina. Para ese entonces las hormonas inducen a que el endometrio del útero se engruese preparándose para recibir al óvulo fecundado (huevo), en caso de que haya ocurrido una relación sexual. La fecundación ocurre en los conductos de las trompas de Falopio durante el viaje del óvulo desde los ovarios al endometrio del útero. De esta manera, el huevo llega al endometrio y encuentra una «cama» o lecho propicio para su desarrollo; el endometrio es la primera fuente alimenticia del óvulo fecundado (**Figura 5.30**).

Si no hay fecundación del ovulo, el endometrio se desprende de la capa interna del útero y sale a través de su cuello hacia la vagina, y de ahí hacia el exterior. **Esto produce el sangrado típico que se observa durante la menstruación.**

La menarquia o primera menstruación indica el inicio de la vida fértil de la mujer, pues señala el principio de la ovulación y de la producción del endometrio para recibir al óvulo.

En cambio, la menopausia marca el fin de la etapa fértil femenina ya que los ovarios dejan de producir óvulos y endometrio; por lo mismo, se suspenden las menstruaciones. La etapa menstrual es cíclica y está directamente ligada al ciclo ovárico u ovulación.

Durante el **ciclo ovárico**, en la corteza del ovario hay folículos o cavidades donde existen óvulos inmaduros. Al inicio del ciclo, la hormona estimulante de los folículos (HEF) que se secreta en la hipófisis estimula el crecimiento de un solo folículo y un solo óvulo; a partir del día 14 que inició el ciclo, actúa otra hormona llamada lutenizante (HL) que provoca el rompimiento del folículo y, por lo mismo, la liberación del óvulo. El óvulo liberado pasa a la trompa de Falopio correspondiente y de ahí a la parte más ancha y superior del útero. Si el óvulo fue fecundado, se anida en el endometrio; si no fue fecundado, se destruye y sale del cuerpo femenino.

En relación con el ciclo menstrual, se considera que el primer día de menstruación es el inicio del ciclo. A partir de este día y hasta el día 14, los ovarios y los folículos secretan hormonas de manera abundante para preparar la formación de óvulos y endometrio; posteriormente, a partir del día 17 se produce la hormona ovárica progesterona, por un periodo de 10 a 12 días, lo cual hace engrosar fuertemente al endometrio. Si no ocurre la fecundación del óvulo se suspende la producción de progesterona, el endometrio se desprende y ocurre la menstruación, que puede durar de tres a cuatro días. Si ocurre la fecundación, el huevo implantado en el endometrio produce hormonas que inducen la secreción de progesterona,

para evitar que el endometrio se desprenda. A partir de este momento se **suspende la menstruación**, que es una de las primeras expresiones fisiológicas del **embarazo**, gestando una nueva vida, la continuación de nuestra especie.

Enfermedades comunes asociadas a los aparatos reproductores masculino y femenino

1. Enfermedades del aparato reproductor masculino: algunas de las enfermedades que se pueden presentar en el aparato reproductor masculino son las siguientes:

- a) **Balanitis.** Es la inflamación del glande, provocada por una infección bacteriana, viral, hongos o por algún compuesto químico irritante (algún tipo de jabón, por ejemplo). Se previene con buenos hábitos de higiene. Se trata adecuadamente con los medicamentos indicados.
- b) **Criptorquidia.** Ocurre con el descenso incompleto de uno o los dos testículos. Puede provocar esterilidad o tumoraciones. Se trata con hormonas o cirugía.
- c) **Epididimitis.** Se presenta cuando se inflama el epidídimo, donde maduran los espermatozoides y conecta con los conductos deferentes. Es provocada por infecciones o por agentes químicos.
- d) **Fimosis.** Se origina por la estrechez del prepucio, que impide que el mismo se retraiga para descubrir el glande, impidiendo su aseo cotidiano o tener relaciones sexuales normales. Puede propiciar la aparición de infecciones y retención de orina, entre otros padecimientos. El problema se elimina con la circuncisión.
- e) **Hernia testicular.** Es el daño de uno o los dos testículos, producto de efectuar un esfuerzo. Los que la padecen sufren dolor y agrandamiento del testículo dañado. Se soluciona mediante cirugía y se previene utilizando fajas para prevenir hernias.
- f) **Priapismo.** Erección sostenida y dolorosa que aparece sin que haya una estimulación sexual. En este caso el pene se endurece pero el glande permanece blando su origen no está bien definido, pero puede deberse a daños traumáticos y defectos en el drenaje de sangre en los cuerpos cavernosos del pene. Es una urgencia médica que se trata con cirugía y medicamentos.

- g) **Cáncer de próstata.** Esta afección aparece de manera inesperada y más frecuentemente en hombres mayores de 50 años. Su origen poco conocido es a partir de células de la próstata que mutan y crecen de manera desproporcionada. Provoca dolor y dificultad para orinar. Se trata mediante cirugía, radioterapia y quimioterapia. Es una de las principales causas de muerte en varones.
- h) **Enfermedades de transmisión sexual o venéreas.** Se adquieren y se transmiten durante las relaciones sexuales vaginales, anales u orales. Los agentes infecciosos son bacterias, hongos, virus o protozoarios. Ejemplo de este tipo de enfermedades son: la sífilis, gonorrea, el chancro, el linfogranuloma venéreo, herpes genital, tricomoniasis, hepatitis, VIH, las ladillas, etc. Entre los síntomas es que se producen llagas, verrugas, inflamación y secreciones de la uretra, heridas, etc., y pueden afectarse, además, la boca, los órganos sexuales, parte de la piel y el ano.

El contacto directo o con los fluidos corporales dispone a la adquisición de este tipo de enfermedades.

Algunas enfermedades son leves y fácilmente curables como la gonorrea y las ladillas; otras son de difícil erradicación o mortales, como el herpes y el VIH.

El sexo seguro, el uso del condón, la no promiscuidad y evitar transfusiones sanguíneas no controladas previenen el contagio con este tipo de enfermedades.

Las relaciones sexuales con prostitutas, drogadictos y personas que emplean y comparten agujas de inyección de manera no controlada son altamente riesgosas para contraer enfermedades venéreas.

2. Enfermedades del aparato reproductor femenino. A continuación se describen algunas enfermedades que pueden ocurrir en el aparato reproductor femenino.

- a) **Fibromas del útero.** Tumores no malignos que se forman en las paredes del útero. Aparecen en mujeres jóvenes pues estos miomas o fibromas son favorecidos con la presencia de estrógenos. Cuando la mujer llega a la menopausia y la producción de los estrógenos disminuye fuertemente los miomas desaparecen. Los síntomas son por lo general: la menstruación con mucho sangrado, dolor, sangrado entre períodos menstruales, entre otros. Se trata con medicamentos y cirugía.

- b) **Cistitis.** Inflamación de la uretra y la vejiga debido a una infección cuyo origen son bacterias, hongos o virus. Provoca ardor al orinar, micción frecuente, orina turbia y con olor fuerte, aparición de sangre en la orina, entre otros síntomas. Se elimina con tratamientos médicos adecuados.
- c) **Vaginitis.** El flujo vaginal normal se origina en las glándulas del cuello uterino y la vagina; es claro, con aspecto lechoso y sin olor. Sin embargo, ante la presencia de un agente infeccioso que afecte a la vagina, el flujo vaginal cambia de color, olor y consistencia. Con ello aparece la vaginitis o vulvovaginitis en que hay irritación, picazón, enrojecimiento, ardor al orinar, flujo y secreciones con mal olor, etcétera.

El flujo vaginal grisáceo o gris con olor a pescado, amarillo verdoso, espeso, espumoso con mal olor indica una infección que debe ser atacada con intervención médica. En general, el problema se soluciona rápidamente.

- d) **Bartolinitis.** Es la inflamación de las glándulas de Bartholín ubicadas a ambos lados de los bordes de la vagina, cuya función es segregar líquidos lubricantes. Cuando estas glándulas se obstruyen se hinchan de líquido formando un bulto, llegando a infectarse. Responde bien a los tratamientos con antibióticos; si no, pueden extraerse quirúrgicamente.
- e) **Quistes de ovario.** Son pequeños globos que se forman a partir de los folículos ováricos que crecen entre 30 y 40 mm; provocan dolor abdominal, dolor al tener relaciones sexuales, menstruaciones irregulares y abundantes, etc. Se tratan con medicamentos o cirugía.
- f) **Endometriosis.** Este padecimiento se origina cuando el endometrio sale del útero y crece en ovarios, vejiga e intestinos, formando quistes o tumores benignos. Al ocurrir la menstruación estos tumores también sangran; ya que la sangre no puede salir provoca inflamación y luego cicatrices que pueden ocluir vejiga e intestinos. La endometriosis provoca dolor pélvico y lumbar, dolor menstrual, dolor al orinar y defecar, menstruación abundante y dolor abdominal fuerte 2 o 3 días antes de la menstruación. El tratamiento hormonal es, con frecuencia, eficaz. En casos extremos se recurre a la cirugía.

- g) **Enfermedades de transmisión sexual o venéreas.** Estas enfermedades se adquieren a través de las relaciones sexuales, principalmente con personas infectadas, además de transfusiones sanguíneas, utilización de agujas de inyección o de tatuado infectadas, etc.

Estas enfermedades están muy difundidas entre la población humana que constantemente lleva a cabo relaciones sexuales; su incidencia es alta debido a la falta de higiene y a prácticas inseguras como el no uso de condón. Ambos sexos pueden padecer sífilis, gonorrea, chancros, linfogranulomas, herpes, tricomoniasis, papiloma hepatitis, VIH, ladillas, etc., como ya se mencionó en el apartado de enfermedades de transmisión sexual del hombre.

5.13 La dinámica de control de los sistemas humanos

En general, los sistemas humanos tienden a mantenerse en equilibrio. Sobre ellos actúan algunos procesos que los impulsan a cambiar de manera gradual y otros que les impiden los cambios bruscos. En esta dinámica actúan dos formas de regulación opuestas que tienden al equilibrio; la retroalimentación positiva y la retroalimentación negativa.

La retroalimentación positiva permite que el sistema responda en la misma dirección de la perturbación, con lo cual el estímulo original se amplifica.

Por el contrario, cuando la retroalimentación negativa actúa, el sistema responde de una manera opuesta a la perturbación, tendiendo a estabilizar al sistema y volver a su punto de inicio.

El sistema de control de los sistemas puede incluir cinco constituyentes:

1. La variable descontrolada.
 2. Sensores para detectar y medir los cambios.
 3. Medios para desarrollar las medidas correctivas.
 4. Fuente de energía para llevar a cabo las actividades.
 5. Retroalimentación para realizar las acciones correctivas.
- Los sistemas de control humano actúan mediante retroalimentación negativa, de tal manera que si algún factor se ubica en valores altos o bajos, un sistema de control inicia una retroalimentación negativa,

provocando cambios que hacen que los valores del factor alterado vuelvan a los límites normales, manteniendo la homeostasis.



Por ejemplo, el nivel normal de glucosa en el humano oscila entre 80 y 110 mg/dl. Al comer, este nivel asciende a 130 mg/dl. Inmediatamente, el páncreas produce insulina para aumentar la glucólisis (degradación de la glucosa) y reducir los niveles de glucosa para estabilizarla en 80 - 110 mg/dl. La insulina actúa como retroalimentación negativa, pues reajusta a la concentración de glucosa al punto de partida.

Durante el ciclo ovárico, los ovarios secretan hormonas femeninas denominadas estrógenos, que regulan la actividad del hipotálamo. El hipotálamo, a su vez, regula las funciones de la pituitaria y ésta a los ovarios.

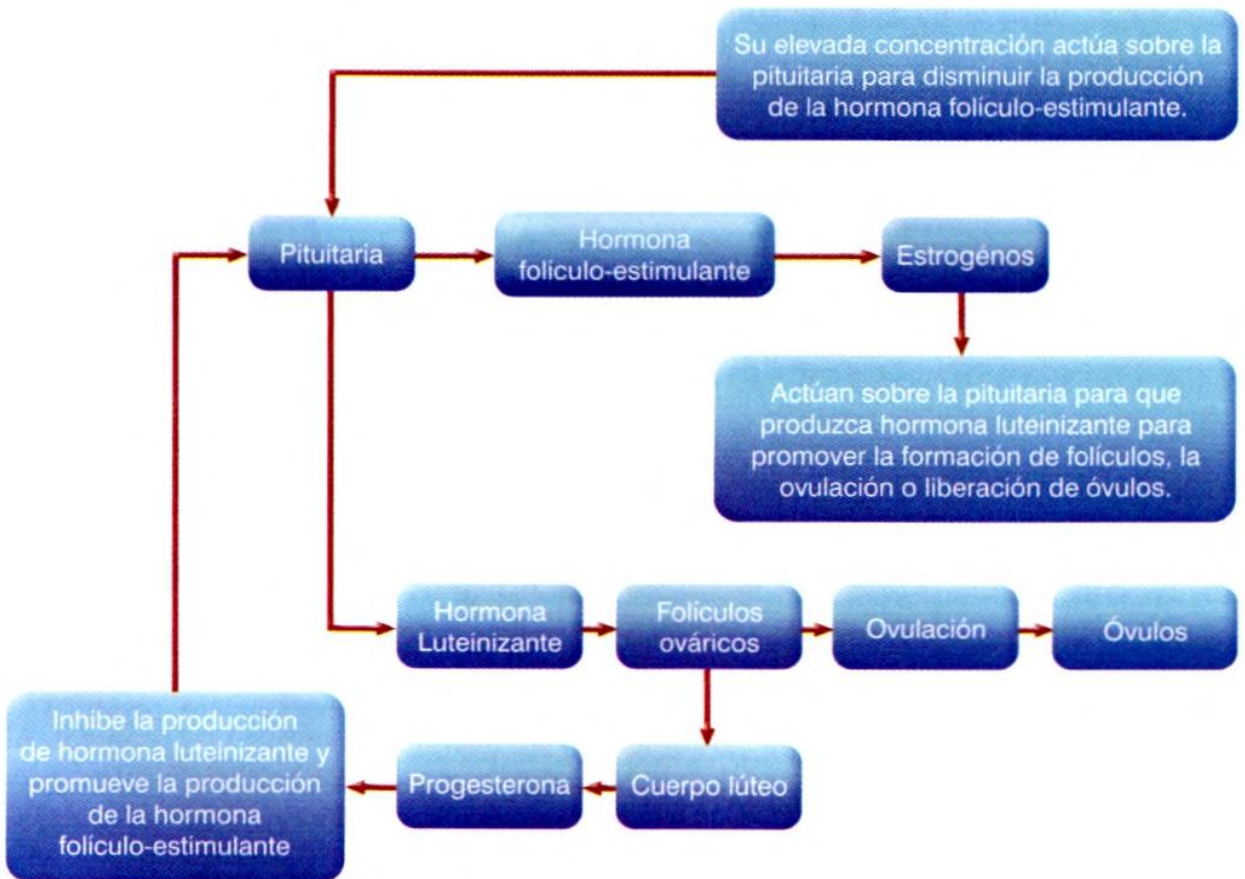


En el proceso ocurre lo siguiente: los ovarios producen estrógenos y progesterona, la pituitaria libera las hormonas folículo estimulante y luteinizante, y el hipotálamo a la hormona liberadora de gonadotropina que actúa sobre la glándula pituitaria.

La acción detallada de este grupo de glándulas y hormonas sobre el ciclo ovárico es el siguiente: la glándula pituitaria secreta la hormona folículo estimulante que induce a los ovarios a producir estrógenos y a que maduren los folículos ováricos en los cuales se forman, maduran y

posteriormente se liberan los óvulos, cuando dichos folículos se rompen.

A su vez, en los folículos rotos y abiertos se forma el cuerpo lúteo, el cual produce una gran cantidad de progesterona que actúa en un fenómeno de retroalimentación negativa para inhibir la producción de la hormona luteinizante; también produce la hormona folículo estimulante a nivel de la glándula pituitaria, y así se renueva el ciclo ovárico. **(Esquema 5.4).**



Esquema 5.4 Regulación del ciclo ovárico.

5.14 Homeostasis

La homeostasis (*homois*: sin cambio, *stasis*: permanecer; permanecer sin cambio) es la tendencia que tienen los organismos para mantener su estabilidad interna, aplicando mecanismos homeostáticos para contrarrestar los cambios que ocurran en el medio externo e interno (**Figura 5.31**).

Por ejemplo, la circulación sanguínea y la respiración constantemente están siendo reguladas por mecanismos homeostáticos internos de la siguiente manera: en el cayado de la vena aorta y las **arterias carótidas** hay terminaciones nerviosas que son sensibles a la **distensión** de ésta. Cuando la presión sanguínea aumenta, la arteria se distiende generando impulsos nerviosos que son enviados al sistema nervioso que recibe y procesa dichos impulsos. Como respuesta, el sistema nervioso envía mensajes al sistema circulatorio para disminuir la frecuencia cardíaca y abrir las arteriolas de los tejidos, con lo que la presión baja y vuelve a su estado normal.

Otro caso de homeostasis debida a cambios internos es el siguiente:

Durante el ejercicio físico, al aumentar la concentración de CO_2 se abren las arteriolas, lo cual provee de más sangre a los músculos. Al ocurrir la distensión de las arteriolas, la presión baja, hecho que es informado al sistema nervioso central, el cual responde aumentando la frecuencia cardíaca. Complementariamente, el CO_2 , al acumularse en la sangre, llega al bulbo raquídeo estimulando receptores específicos que aumentan la frecuencia respiratoria.

En cambio, al disminuir el oxígeno, los receptores correspondientes informan al sistema nervioso central y éste reacciona enviando señales para que la respiración sea más frecuente y profunda y así absorber más oxígeno.

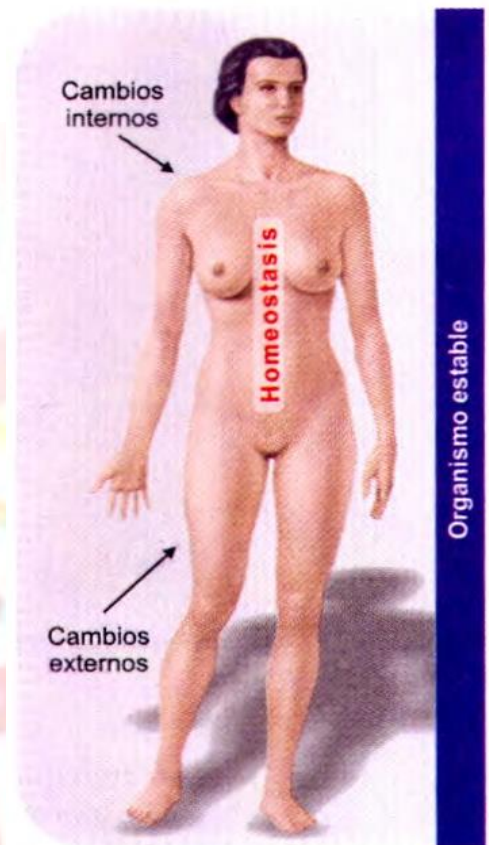


Figura 5.31 La homeostasis mantiene la estabilidad interna de los organismos.

Un ejemplo en que hay acción de mecanismos homeostáticos como respuesta a un factor externo ocurre con las variaciones de la temperatura ambiental. Cuando la temperatura del aire aumenta, ocurre la vasodilatación de las arteriolas de la piel para que la sangre pase en mayores cantidades y se pierda calor hacia el exterior; complementariamente se empieza a sudar para que el agua se evapore absorbiendo grandes cantidades de calor interno que se perderá en el ambiente. Además, la respiración se hace rápida para aumentar la evaporación de agua pulmonar. Si, por el contrario, la temperatura ambiental disminuye, las arteriolas se constriñen, la sangre circula menos y disminuye la pérdida de calor; además, hay movimientos musculares involuntarios (temblores) que generan calor. Adicionalmente, en este caso, el hipotálamo y la hipófisis promueven que la tiroides segregue hormonas que incrementan la producción de calor por la contracción muscular.

Un último ejemplo es el mecanismo homeostático tan importante que se integra entre el sistema nervioso, el sistema endocrino y los mecanismos enzimáticos. En este ejemplo se ve claramente la retroalimentación fisiológica que se da en cada sistema para el buen funcionamiento del conjunto.

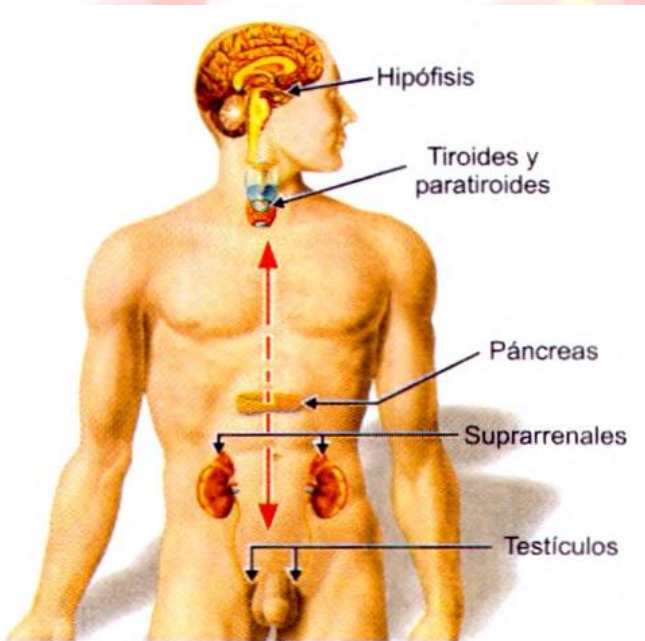


Figura 5.32 La hipófisis ejerce control sobre las glándulas sexuales y otras.

En principio, las respuestas rápidas que se requieren por parte de músculos y glándulas están coordinadas por el sistema nervioso central. Otras funciones que son más lentas, pero más prolongadas y de efectos más largos, están regidas por las hormonas.

Es importante recalcar el hecho de que cada glándula no funciona separadamente en el organismo, sino que una influye en el funcionamiento de otra mediante mecanismos homeostáticos bien definidos. Así, se tiene que la hipófisis ejerce control sobre las glándulas sexuales, la tiroides, la corteza

suprarrenal y el páncreas; posteriormente, algunas de las hormonas segregadas por estas glándulas regulan el funcionamiento de la hipófisis misma (**Figura 5.32**).

Dentro del sistema endocrino un caso patente de integración con el sistema nervioso es el control de la secreción de las hormonas de la corteza suprarrenal llamadas adrenalina y noradrenalina. En caso de peligro, los animales hiperactivan sus órganos y sentidos de alerta y segregan hormonas suprarrenales, lo cual provoca **hipertensión**, hiperglucemia, aceleración cardiaca, dilatación de pupilas, etc., poniendo al individuo en condiciones de defensa y posible huida.

En resumen, el sistema nervioso y sus receptores son los encargados de recibir, procesar e integrar la información de los cambios que ocurren en el medio externo y en el medio interno del cuerpo; con base en esta información recibida, integra respuestas para contrarrestar dichos cambios y mantener la estabilidad interna de los sistemas, órganos y tejidos. Dentro de estos mecanismos homeostáticos incurrir, también, las hormonas segregadas por las glándulas endócrinas.

5.15 Órganos o sistemas presentes en organismos de diferentes especies que tienen funciones semejantes al ser humano

La digestión en los organismos multicelulares superiores

Los organismos superiores más evolucionados morfológica y fisiológicamente, para eficientar sus procesos de ingestión, digestión y absorción de nutrientes, han desarrollado órganos especializados para llevar a cabo estas actividades.

En estos animales multicelulares los alimentos son llevados a tubos o cavidades donde se realiza la digestión. Normalmente, los tubos digestivos tienen dos orificios: la boca para ingerir alimentos y el ano para desechar el material no digerible.

El tubo digestivo se divide en diferentes partes, cada una de las cuales tiene funciones especializadas.

En los vertebrados superiores, en la parte anterior del tubo digestivo (boca), hay mandíbulas y dientes para cortar, triturar, moler y masticar los alimentos, mezclándolos con excreciones salivales que contienen enzimas que, de hecho, inician el proceso de la digestión de los alimentos.

Una vez que los alimentos fueron ingeridos, triturados, masticados y mezclados con las primeras enzimas salivales, pasan a través de las

partes del aparato digestivo, que normalmente consta de tubos, cavidades, dobleces y ramificaciones, a través de las cuales los alimentos son atacados por otro tipo de enzimas digestivas y los desdoblan hasta formar sustancias simples que son absorbidas por células especializadas en el resto del tubo digestivo. Los materiales que no pueden ser digeridos y aprovechados son expulsados a través del ano, que es la parte final del aparato digestivo.

Los procesos evolutivos han llevado a que los mecanismos de la digestión sean muchos y muy variados. Aparte de los procesos básicos descritos anteriormente, se pueden encontrar otros más. Así se tiene que algunos animales herbívoros no poseen enzimas para degradar celulosa, pero tienen organismos simbiotes que viven en sus tubos digestivos que sí pueden degradar dicha celulosa. Ejemplo de ello son las bacterias y protozoarios que viven en el tracto digestivo de los rumiantes, como las vacas y búfalos.

Finalmente, todos los vertebrados tienen un aparato digestivo similar al del hombre, con boca, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso, recto, ano y sus órganos y glándulas correspondientes que participan en la digestión de los alimentos.

Mecanismos físicos y químicos del intercambio respiratorio

Los animales acuáticos más evolucionados como moluscos, crustáceos y anélidos tienen branquias con grandes superficies para llevar a cabo el intercambio de gases. Los peces también tienen branquias o agallas; las ostras, calamares, camarones, cangrejos, caracoles, entre otros, tienen branquias a base de paredes finas muy irrigadas por medio de capilares. Así, el oxígeno del agua se difunde al epitelio branquial y de ahí al torrente sanguíneo. A su vez, el CO₂ viaja en sentido inverso: de la sangre al tejido branquial y de ahí al medio.

Para que estos organismos tengan un abastecimiento permanente de oxígeno, deben tener sus branquias siempre irrigadas con agua que, a su vez, contenga oxígeno disuelto. Para el caso de un pez, éste ingiere agua por su boca y lo lleva hacia las branquias, donde ocurre el intercambio de gases.

Cuando no hay oxígeno disuelto en el agua (agua contaminada por materia orgánica), el pez muere.

Las aves, reptiles y mamíferos, incluyendo el hombre, utilizan pulmones adaptados a la vida terrestre y aérea. Los pulmones son sacos internos

muy ramificados e irrigados. Los movimientos respiratorios para inspirar y espirar están regulados por el diafragma, por los músculos intercostales y por la caja torácica.

En los anfibios, los reptiles, las aves y los mamíferos, incluido el hombre, la respiración orgánica para intercambiar gases se lleva a cabo en los pulmones.

Procesos de excreción en animales

En casi todos los vertebrados el sistema excretor básico es el mismo, además de que los pulmones, las branquias, la piel y el aparato digestivo también intervienen en los procesos de excreción.

En los vertebrados inferiores los túbulos renales desembocan en la cavidad corporal general, mientras que en los superiores lo hacen en las **cápsulas de Bowman (Figura 5.34)**.

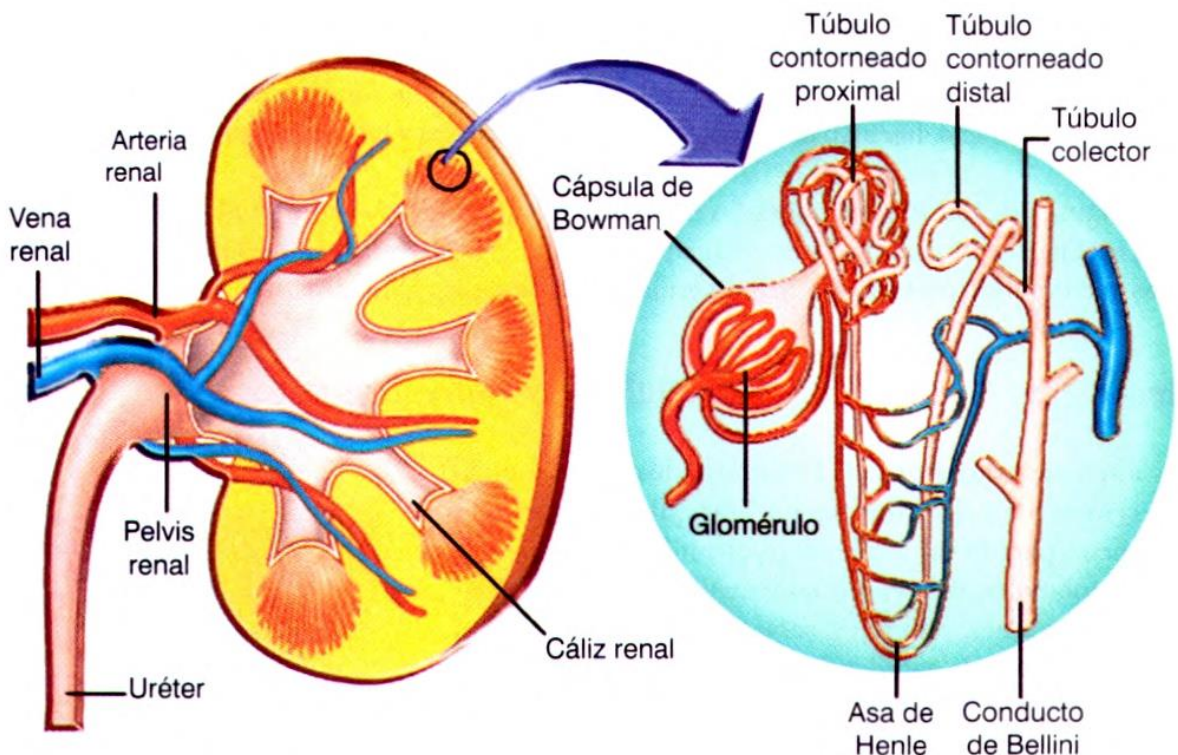


Figura 5.34 Cápsula de Bowman.

Equilibrio hídrico corporal

En los vertebrados los riñones filtran, reabsorben y excretan agua y componentes orgánicos e inorgánicos para mantener los líquidos interiores. Además algunas especies tienen mecanismos de osmorregulación especiales para mantener los líquidos en su cuerpo; por ejemplo, los peces marinos, que se hallan en un medio hipertónico, muy salado, pierden agua de sus cuerpos. Para compensarla toman agua del mar, excretan la sal a través de las branquias y eliminan muy poca orina de sus cuerpos (por lo mismo, muy poca agua).

Por otro lado, en los tiburones ocurre un fenómeno diferente. En estos peces, la urea se acumula en altas concentraciones para hacer sus tejidos hipertónicos respecto al medio. Este hecho fisiológico obliga al agua de mar a introducirse al organismo. En estos peces la orina es hipotónica, es decir, baja en sales. El exceso de sal es secretado por los riñones y por una glándula rectal que poseen.

En los peces de agua dulce, el problema de mantener el equilibrio corporal de los líquidos es diferente. En estos animales el flujo osmótico del agua es hacia el interior del organismo, ya que en su cuerpo hay más sales que en el medio dulce acuícola, con muy baja concentración de sales inorgánicas. En estos seres, los riñones absorben las sales y muy poca agua, de tal manera que su orina está muy diluida. Adicionalmente, las sales se pierden, pero rápidamente son recuperadas por las branquias, que transportan activamente las sales del medio al organismo. Los alimentos también son una fuente permanente de sales.

Los anfibios tienen mecanismos semejantes a los de los peces de agua dulce para equilibrar sus líquidos internos. El agua penetra a su cuerpo en grandes cantidades, pero la pierden por la piel y orina; y las sales se recuperan por medio de células especializadas de su piel, ya que no tienen branquias para esta función.

Los reptiles y aves marinas tienen glándulas de sal que ponen en funcionamiento cada vez que ingieren alimentos salados o agua de mar. Cuando esto ocurre, las glándulas de sal excretan un líquido muy concentrado en cloruro de sodio.

Cuando los mamíferos marinos se alimentan ingiriendo grandes cantidades de sal, sus riñones producen orina concentrada en sales y urea para mantener su equilibrio hídrico corporal.

Sistema endocrino animal

En coordinación con el sistema nervioso, el sistema endocrino mantiene el funcionamiento equilibrado de los animales multicelulares, ya que las hormonas regulan el crecimiento, la reproducción, el metabolismo y las concentraciones de azúcar y minerales en la sangre, entre otras cosas.

En los animales invertebrados y vertebrados las hormonas son segregadas por las glándulas endocrinas y vertidas directamente al flujo sanguíneo. Algunas hormonas son segregadas y funcionan de manera continua; otras lo hacen durante periodos cortos y aislados, con lo cual crean cambios en la actividad corporal, regulando y coordinando las actividades celulares. Es bien sabido que un exceso o deficiencia de hormonas provoca patologías bien determinadas, denominadas enfermedades funcionales.

Las hormonas animales pueden ser secretadas por glándulas endocrinas, pero también por neuronas (**neurohormonas**) o por células y tejidos individuales.

En los organismos pluricelulares invertebrados casi todas las hormonas son secretadas por neuronas, no por glándulas. Tales neurohormonas regulan la regeneración en la hidra, anélidos y platelmintos. En los insectos, las neurohormonas inducen la muda y la metamorfosis. También regulan los cambios de coloración en los crustáceos y la producción de gameto, el metabolismo y el comportamiento sexual de otros grupos.

En los vertebrados, las hormonas cumplen una muy compleja y variada secuencia de funciones. Ya se ha mencionado las glándulas endocrinas o células que producen hormonas, la hormona de que se trata y la función de la misma dentro del organismo.

El sistema nervioso de los vertebrados es similar en todos los casos. Las diferencias radican en el desarrollo de las regiones encefálicas y en el tamaño del cerebro. En estos organismos hay un cordón nervioso dorsal, ubicado sobre el tracto digestivo y en relación con él.

BLOQUE 6

LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS PARA TODOS LOS SERES VIVOS

UNIDAD DE COMPETENCIA

Reconoce la importancia de las plantas que habitan el planeta y su valor ecológico, cultural, social, medicinal y económico.

6.1 Origen de las plantas terrestres

El origen de las plantas terrestres se sitúa hace 470 millones de años, aproximadamente, a partir de las plantas acuáticas denominadas algas verdes. Posteriormente, las plantas con semilla (desde luego también terrestres) hicieron su aparición evolutiva hace 360 millones de años.

Dentro de las plantas con semilla se desarrollaron dos grupos básicos: aquellos que tenían sus semillas desnudas (gimnospermas) y los que las tenían unidas en un fruto (angiospermas). Las angiospermas tienen una antigüedad de 200-120 millones de años.

Desde entonces las plantas terrestres han evolucionado y se han adaptado a los diferentes ecosistemas de la tierra. Así, en el transcurso de millones de años, estas plantas desarrollaron órganos y tejidos especializados en captar la luz y fijarse al sustrato. Las cícadas y las coníferas son ejemplo de gimnospermas, pues sus semillas están desnudas. El durazno es un ejemplo de angiosperma, pues sus semillas están cubiertas por un fruto. **(Ilustración 6.1)**



Ilustración 6.1 El durazno es un ejemplo de angiosperma.

Actualmente, las angiospermas o plantas con flor representan el grupo de especies más numeroso, más diverso y con mayor distribución en los ecosistemas del planeta. Su número es superior a las 240 000 especies.

6.2 La organización de una angiosperma

Una planta terrestre con flores (angiosperma) tiene una parte aérea constituida por hojas y tallos, y una subterránea denominada raíz. Cada una de estas partes tiene funciones específicas muy importantes que mantienen la sinergia funcional de estos vegetales.

En las hojas, adaptadas para recibir la mayor cantidad posible de luz solar, se lleva a cabo el fenómeno biológico de la fotosíntesis para sintetizar los alimentos de la planta. El tallo sirve en las funciones de soporte y conducción de agua, minerales y azúcares. La raíz fija la planta al sustrato y permite la absorción de agua y nutrientes que son esenciales en la producción de compuestos energéticos para mantener con vida a estos vegetales.

En la parte aérea de la planta existen la flor y el fruto, relacionados con los procesos de reproducción y dispersión de las plantas.

Los tejidos de las plantas

En general, las plantas tienen cuatro tipos de tejidos que realizan diversas funciones especializadas; tales tejidos son: dérmico o protector, fundamental, vascular o conducción, y sostén.

Tejido dérmico o protector

Está formado por células de pared celular gruesa, muy resistente, que protegen a la planta de la desecación y de los daños mecánicos. Está en la epidermis de las hojas, tallos y frutos.

La epidermis segrega cutina, que es impermeable al agua y, a su vez, disminuye las pérdidas de la misma en la superficie de las hojas. Algunas células epidérmicas de las raíces se han modificado para formar pelos radiculares, a fin de mejorar la absorción de agua y minerales. También las células de tallos y raíces están cubiertas por capas de células de corcho cuyas paredes contienen **suberina**, que también es impermeable al agua y, en capas sobrepuestas, protege físicamente a la planta. En la epidermis de hojas y tallos (pero no de raíces) están los estomas, que permiten el intercambio de gases y agua con el medio.

Tejido fundamental

En este tejido existe una serie de tejidos compuestos por células no especializadas que constituyen la gran masa del cuerpo de la planta y que, en conjunto, reciben el nombre de parénquima. La función principal del parénquima es la producción y el almacenamiento de alimentos; por lo mismo, conforman las partes blandas de hojas, tallos, flores y frutos. En general, contienen células de pared delgada de celulosa y pectinas, que se mantienen vivas.

En la hoja también coexisten células en empalizada que mayoritariamente intervienen en la fotosíntesis. Estos dos tipos de células conforman el mesófilo de la hoja.

Tejidos conductores o vasculares

Pueden ser de dos tipos: el **xilema**, que conduce agua y sales disueltas; y el **floema**, que conduce sustancias nutritivas (glucosa, por ejemplo).

El xilema, además de su función de conducción, suministra soporte mecánico, pues posee lignina. Está formado por células largas, delgadas, puntiagudas de ambos extremos, llamadas **traqueidas**; éstas tienen paredes secundarias bien desarrolladas y lignificadas. Las traqueidas son las primeras que se forman durante el desarrollo de una planta; más tarde, otras células se unen por sus extremos y forman los llamados *vasos*. Con el tiempo, las paredes de las células que forman los vasos se disuelven dejando un tubo de celulosa muy largo, a través del cual circula el agua. Al final, el citoplasma de las traqueidas y los vasos muere, de tal manera que quedan conformados tubos conductores cuya función se mantiene activa a lo largo de la vida de la planta.

El floema está constituido por elementos cribosos, largos, delgados, de paredes delgadas, sin núcleo, con citoplasma y una vacuola central. Los elementos cribosos están unidos o comunicados a través de perforaciones llamadas **áreas cribosas**. Los elementos cribosos están entremezclados con células parenquimatosas llamadas **células acompañantes** y fibras.



Ilustración 6.2 Anillos de crecimiento.

En las plantas leñosas, cada año, el *cambium* forma capas nuevas de xilema y floema. Los depósitos anuales de xilema forman los anillos de crecimiento anual que permiten medir la edad de los árboles (**Ilustración 6.2**).

En una planta monocotiledónea, como el maíz, existe una epidermis gruesa externa. Las haces vasculares como el xilema y el floema se distribuyen en todo el tallo (**Figura 6.1**). En este tipo de plantas las haces vasculares carecen de *cambium*.

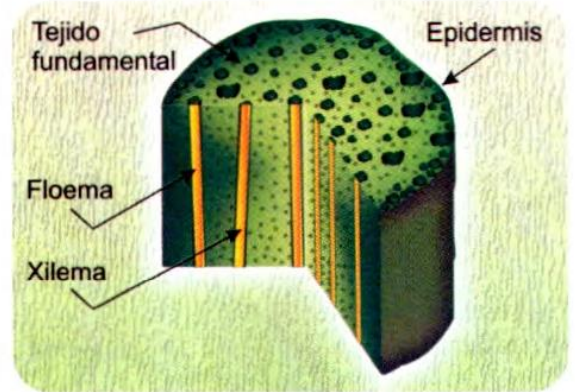


Figura 6.1 Tallo de monocotiledónea.

Tejidos de sostén

Están integrados por células con bordes muy engrosados. A este tejido se le llama **colénquima**; se ubica debajo de la epidermis de los tallos y el peciolo de las hojas. Si las células aumentan considerablemente su grosor, el tejido se denomina **esclerénquima** y se encuentra en tallos y raíces. Tienen forma alargada y delgada, fusiformes (como el caso de las células fiber o fibras del floema) o redondas (como las células pétreas de las cáscaras duras de las nueces).

El colénquima es un tejido vivo con células alargadas y pared primaria a base de celulosa que, a veces, pueden poseer cloroplastos.

En cambio, el esclerénquima tiene sus células con pared mucho más gruesa, cuya función principal es el reforzamiento mecánico. Cuando son maduras, normalmente no tienen contenido vivo, pero sí lignina.

6.3 La nutrición vegetal

La hoja de las plantas es un órgano especializado en llevar a cabo las funciones de nutrición e intercambio de gases como el oxígeno, el CO₂ y el vapor de agua.

Una planta típica tiene hojas que presentan las siguientes partes: **peciolo**, con el cual la hoja se fija al tallo; **lámina** o limbo, que es la parte ancha y, por lo general, plana. La lámina tiene **haces vasculares** que conforman la **nervadura**

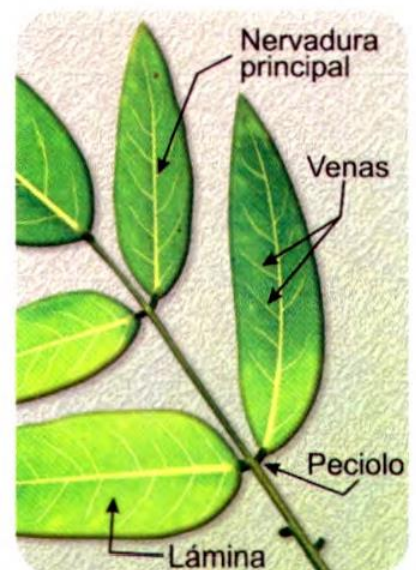


Figura 6.2 Partes de la hoja.

principal de la hoja, formando lo que se denomina venas (**Figura 6.2**).

En la mayoría de los casos las hojas son delgadas y transparentes para permitir el paso de la luz a través de ellas. Esto facilita el proceso de la fotosíntesis. La mayoría de las plantas posee una cantidad abundante de hojas, a fin de tener una superficie grande para atrapar la luz del sol e intercambiar gases con el medio.

En su estructura, la hoja tiene una *epidermis* superficial incolora y fuerte que secreta cutina. Esta sustancia da dureza y firmeza a las células de la epidermis. La capa epidérmica protege a la hoja, le da firmeza y disminuye la pérdida de agua, sin impedir la entrada de luz (**Ilustración 6.3**)



Ilustración 6.3 La cutina de la epidermis da firmeza a las hojas.

Además, la epidermis contiene una gran cantidad de poros llamados *estomas*, cada uno de ellos rodeado de *células de protección*. Dentro de cada célula de protección hay **cloroplastos**, que contienen pigmentos para llevar a cabo la **fotosíntesis**.

Entre las capas superior (haz) e inferior (envés) de la hoja existen muchas células con abundantes cloroplastos que, en conjunto, reciben el nombre de **mesófilo**.

Las células del *mesófilo* cercanas a la pared superior de la hoja se denominan **células en empalizada**. Todas estas células contienen cloroplastos y también le dan estructura y sostén a la hoja (**Figura 6.3**).

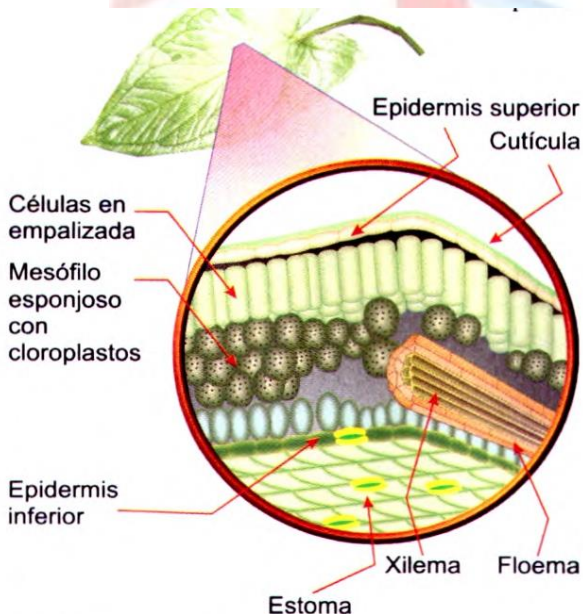


Figura 6.3 Estructura básica de la hoja.

Fotosíntesis

Los seres vivos como las plantas, que fabrican sus alimentos produciendo compuestos orgánicos nutritivos a partir de materias primas inorgánicas, reciben el nombre de **autótrofos** o **autotróficos** (*auto*: uno mismo;

trophos: nutrición). Estos seres sólo necesitan agua, sales minerales, dióxido de carbono y una fuente de energía para producir sus alimentos. No dependen de otros organismos para alimentarse y vivir.

Cuando los organismos utilizan como fuente de energía a la luz solar reciben el nombre de **autótrofos** o **fotosintéticos**; tal es el caso de las plantas verdes y las algas, que fabrican compuestos químicos orgánicos a partir de agua y dióxido de carbono a través de la fotosíntesis.

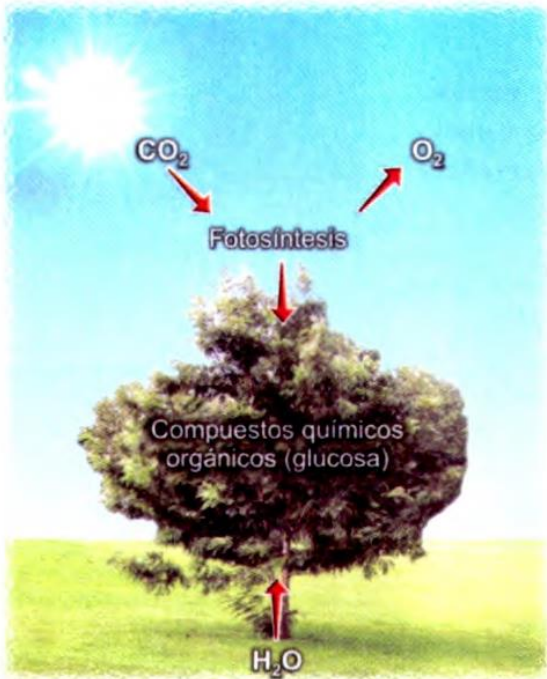


Figura 6.4 Mediante la fotosíntesis, las plantas producen azúcares a partir de CO_2 y H_2O .

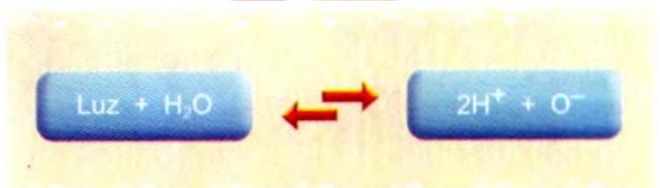
Mediante la fotosíntesis (*photos*: luz; *synthesis*: poner junto), las plantas captan energía solar por medio de la clorofila de los cloroplastos y la utilizan para producir compuestos químicos de alta energía (azúcares), tomando como materia prima al CO_2 y el agua (**Figura 6.4**).

De hecho, la fotosíntesis es el proceso bioquímico más importante del planeta para mantener la vida. La energía solar es la fuente energética de las plantas verdes y de todos los organismos autótrofos que en él viven. Es la que hace funcionar a los ecosistemas.

demanda energética de calor, luz, etc., que requiere el hombre.

Las reacciones fotosintéticas que ocurren en las células vegetales incluyen reacciones bioquímicas en presencia de luz y en ausencia de ella; reciben el nombre de **reacciones en la luz** y **reacciones en la oscuridad**, respectivamente.

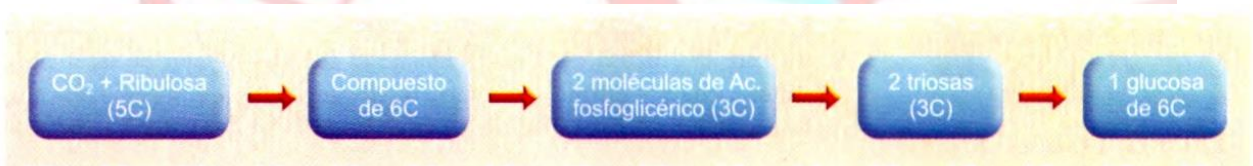
Durante las **reacciones en la luz**, por medio de una reacción de **fotólisis**, las moléculas de agua que se absorben a través de la raíz se rompen dando lugar a moléculas de hidrógeno y de oxígeno ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}^-$) (**Esquema 6.1**). En esta primera etapa de



Esquema 6.1 Reacciones en la luz.

la fotosíntesis hay formación de ATP (adenosintrifosfato) y de un agente reductor denominado NADPH (nicotinadenindifosfato, reducido), ambos con enlaces altamente energéticos. Posteriormente, los hidrógenos liberados se unirán al carbono que proviene del CO_2 del exterior de las plantas (ambiente) y que es absorbido por las mismas. El oxígeno que se libera durante la fotólisis es expulsado de la planta a la atmósfera y posteriormente servirá para la respiración de todos los organismos que lo requieren.

Durante las **reacciones en la oscuridad** ocurre lo siguiente: a) el CO_2 se combina con ribulosa, que tiene cinco carbonos, y forma un compuesto inestable de seis carbonos; b) el compuesto de seis carbonos se rompe en dos moléculas de ácido fosfoglicérico, que tiene tres carbonos; cada una de las dos moléculas de ácido fosfoglicérico se convierte en triosa de tres carbonos; d) las dos triosas se unen y forman una hexosa (glucosa, por ejemplo) (**Esquema 6.2**).

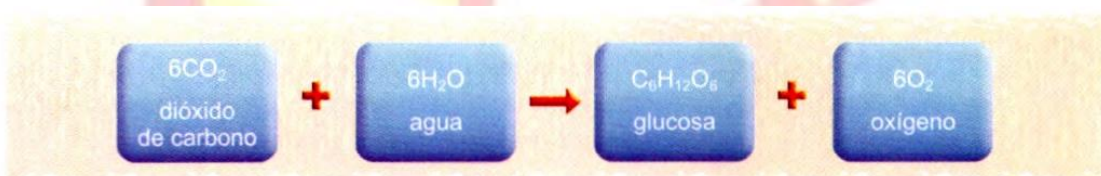


Esquema 6.2 Reacciones en la oscuridad.

Durante la segunda etapa de la fotosíntesis, los compuestos con enlaces altamente energéticos (ATP y NADPH), formados en la primera etapa de reacciones en la luz, se utilizan para reducir el dióxido de carbono y sintetizar glucosa.

En estas reacciones oscuras, el NADPH se oxida perdiendo su hidrógeno, y el ATP se rompe y da lugar a ADP (adenosindifosfato) y fosfato. En ambos procesos se libera energía para formar la glucosa a partir de la unión de una ribulosa con el carbono del CO_2

El proceso de la fotosíntesis se puede simplificar como se muestra en el **Esquema 6.3**.



Esquema 6.3 Reacción general de la fotosíntesis.

Las reacciones en la oscuridad son cíclicas y, en conjunto, reciben el nombre de **ciclo de Calvin** o **ciclo del carbono**. Recuérdese que todas estas reacciones, luminosas y en la oscuridad, se llevan a cabo dentro de los **cloroplastos**.

Los **cloroplastos** están ubicados dentro de las células vegetales y se encuentran presentes en cantidades desde uno a cien, según la especie vegetal de que se trate. La forma de estos componentes celulares varía, pero en su mayoría son en forma de discos, esféricos y ovalados.

Dentro de los cloroplastos existen estructuras formadas por modificaciones membranales llamadas **lamelas** (láminas), colocadas unas encima de otras formando discos llamados **tilacoides**; estos se agrupan en estructuras sobrepuestas que, en conjunto, reciben el nombre de **grana**. En los grana, entre las lamelas, están ubicados los pigmentos fotosintéticos que intervienen en el proceso de la fotosíntesis para convertir la energía

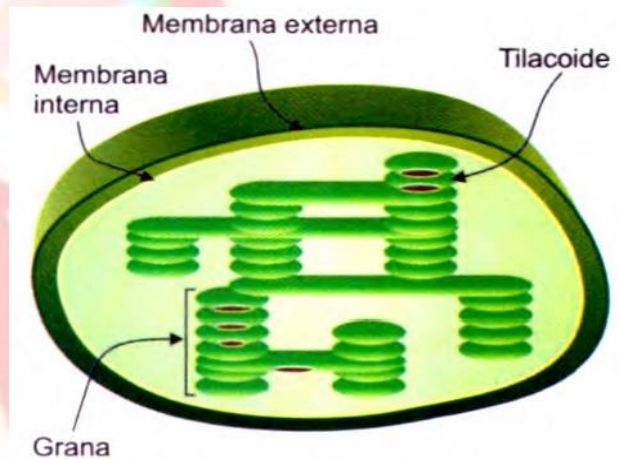


Figura 6.5 Cloroplasto y sus partes.

luminosa en energía química. También existen enzimas y compuestos proteínicos que actúan durante el ciclo del carbono. Los cloroplastos tienen una membrana externa que los rodea y otra interna plegada que forman las lamelas y la grana (**Figura 6.5**).

Las clorofilas y otro tipo de pigmentos fotosintéticos, como los carotenoides y las ficobilinas, que existen en los cloroplastos, son los encargados de absorber la luz convirtiéndola en la energía química contenida en el ATP y en el NADPH, que se utilizan para sintetizar la glucosa. **Es decir, finalmente la glucosa es el resultado de la transformación de la energía lumínica a energía química por parte de la clorofila que contienen los cloroplastos de las células vegetales.**

Los pigmentos relacionados con la fotosíntesis se encuentran agrupados en los denominados fotosistemas I y II, conectados con cadenas de transporte electrónico que contribuyen a la acumulación de la energía. Los fotosistemas I y II **son** los aceptores primarios de la energía proveniente del sol y recibida por los pigmentos fotosintéticos. Un **cuanto** de energía lumínica absorbida por los pigmentos del cloroplasto genera excitones, que son cuantos de energía de excitación que intervienen en las cadenas de

transporte electrónico. Cuando los fotosistemas I y II reciben excitones, inician el flujo electrónico a través de aceptores electrónicos, en reacciones cíclicas y no cíclicas, que inducen la formación de ATP a partir de ADP más fósforo inorgánico. Este ATP es un compuesto energético que, como ya se mencionó, se utiliza para sintetizar glucosa, reduciendo el bióxido de carbono.

La **glucosa** que se forma contiene enlaces de alta energía utilizados en las diversas **reacciones metabólicas** que **mantienen** vivos a los organismos.

6.4 Excreción e intercambio de gases

Las plantas no tienen un sistema de excreción complejo y organizado; en ellas el vapor de agua, el dióxido de carbono y el oxígeno se excretan por difusión y evaporación a través de sus estomas epidérmicos, sus lenticelas del tallo y las raíces (**Figura 6.6**).

La razón por la cual las plantas no tienen un sistema excretor especializado es porque no ingieren proteínas ni tienen músculos que gasten energía mediante reacciones metabólicas ni generan desechos. En las plantas se forman muy pocos compuestos nitrogenados, mismos que se reutilizan para crear otras sustancias o son eliminados por difusión (en forma de amoníaco) a través de los poros estomáticos de las hojas o como sales de nitrógeno que salen de la planta por medio de sus raíces.

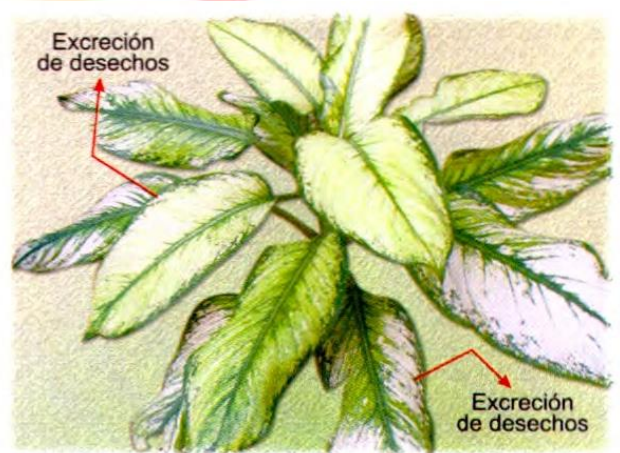


Figura 6.6 Los vegetales no tienen sistemas de excreción especializados; sus pequeñas cantidades de producto de desecho son eliminadas por difusión a través de las hojas y los tallos. Algunos minerales son eliminados por las raíces.

En algunas especies de vegetales, como en las espinacas y el apio, los productos de desecho no se eliminan, sino que se acumulan en forma de cristales intracelulares. Tal es el caso de las sales de ácido oxálico que se acumulan en las hojas y tallos; cuando las hojas se secan y caen, las sales se eliminan.

Los **estomas** son estructuras porosas repartidas en la epidermis de la planta. Cada estoma está constituido por dos células de protección que pueden cambiar su forma, según la presencia o ausencia de solutos como la glucosa y el agua. Estos cambios de forma de las células de protección permiten que el estoma completo se abra o se cierre, regulando la salida de agua de la hoja o la planta en general, y el intercambio de gases de la planta con el ambiente.

Cuando la planta está expuesta a la luz, llevando a cabo la fotosíntesis, se generan glucosa y otras sustancias que se acumulan en las células de protección de los estomas. Al acumularse glucosa y otros solutos, el agua entra por ósmosis a las células antes mencionadas, con lo cual aumenta la presión de turgencia y el poro estomático se abre, permitiendo el intercambio de gases y la salida de agua mediante un proceso llamado **transpiración**. Esta pérdida de agua por transpiración permite el ascenso del agua desde las raíces hasta las hojas. Las hojas son la parte de la planta donde hay más estomas y donde, principalmente, ocurre el proceso de transpiración.

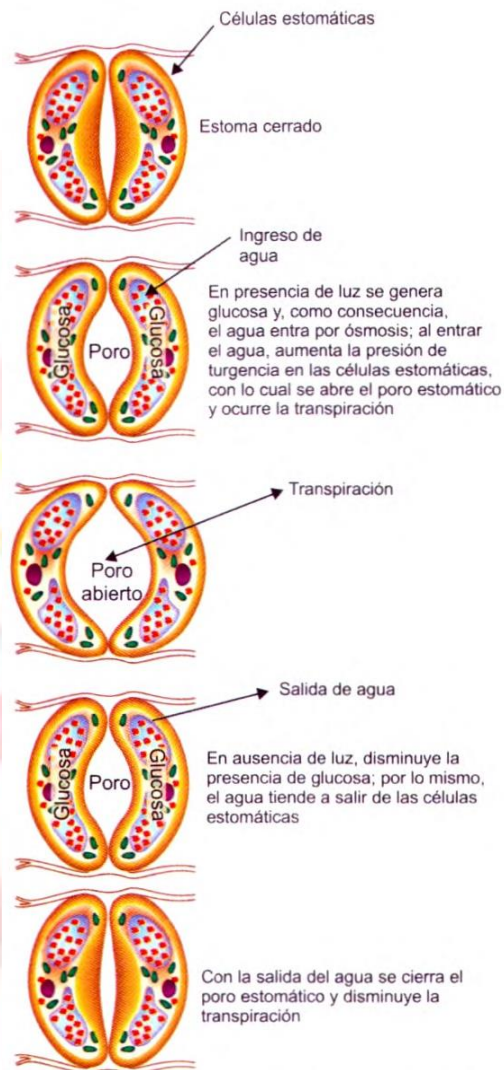


Figura 6.7 Esquematación del funcionamiento de los estomas.

El ascenso del agua permite el acarreo hacia arriba de los minerales disueltos en el agua que fueron absorbidos por la raíz y que servirán de nutrimentos para la planta.

Cuando la planta está expuesta a la oscuridad, se suspende la fotosíntesis en las células estomáticas de protección; por lo mismo, disminuye la presencia de glucosa; con ello, el estoma pierde agua a través de un proceso osmótico y las células de protección pierden turgencia, disminuyendo así su tamaño y cerrando el poro estomático. Mediante este proceso, el fenómeno de la transpiración se revierte evitando que la planta pierda un exceso de agua durante la noche. Es decir, el estoma es una estructura especializada de la epidermis para regular la pérdida de agua y de gases durante el día y la noche (**Figura 6.7**).

En un clima seco y con temperaturas altas, el agua que absorben las raíces es poca. Bajo esta situación, el agua no asciende a las células estomáticas; por lo mismo, no aumenta la presión de turgencia y el estoma no aumenta de tamaño, con lo cual permanecerá cerrado para mantener el agua dentro de la planta, impidiendo su desecación por transpiración.

Aparte de los estomas, las plantas desarrollan estructuras llamadas **lenticelas**, que intervienen en el proceso de excreción. Son masas de células que sobresalen en la epidermis del tallo, principalmente. Tienen aspecto de abultamientos porosos y sirven para facilitar el intercambio de gases.



Ilustración 6.4a Hidrófita.



Ilustración 6.4b Mesófito.



Ilustración 6.4c Xerófito.

Explicado lo anterior, queda claro que el proceso de excreción en las plantas se lleva a cabo, básicamente, en las hojas que contienen abundantes estomas y en los tallos que también tienen células estomáticas, aparte de las lenticelas.

Eventualmente puede ocurrir una pérdida de agua y otros componentes a través de las raíces, pero este proceso es insignificante respecto a lo que ocurre en hojas y tallo.

En el transcurso de su evolución las plantas se han venido adaptando a los diferentes ambientes de la biosfera terrestre, especialmente a aquellos en los cuales las cantidades de agua disponibles varían considerablemente. Así, hay plantas —como los nopales— que se han adaptado a vivir en ambientes muy áridos, con poca disponibilidad de agua. En cambio, hay otras que son acuáticas.

De esta manera, las plantas que viven en ambientes muy húmedos, como el tule y el lirio acuático, reciben el nombre de **hidrófitas (Ilustración 6.4a)**.

Las plantas **mesófitas** son completamente terrestres, pero viven en un ambiente con humedad promedio. Por ejemplo: los pinos,

las hayas, los liquidámbares, etc. (Ilustración 6.4b).

Finalmente, las plantas **xerófitas** son aquellas adaptadas a ambientes secos, con muy poco contenido de agua. Los ejemplos clásicos son los nopales, los cactus y las yucas. Estas plantas tienen pocas estomas y epidermis o cutículas gruesas para impedir la pérdida excesiva de agua (Ilustración 6.4c).

6.5 El tallo y el transporte vegetal

Lo que se denomina tallo en las plantas arbóreas incluye al tronco y las ramas principales y secundarias. A través del tallo se mueven y distribuyen el agua, minerales y otras sustancias, desde la raíz a las hojas y viceversa. Además, esta parte importante de las plantas da sostén y es el origen de flores, frutos y hojas, a los cuales sostiene (Ilustración 6.5).

Además, los tallos pueden tener células con clorofila para llevar a cabo la fotosíntesis y lenticelas que intervienen en los procesos de excreción. También pueden tener células especializadas para almacenar almidón y otros compuestos

A veces los tallos son subterráneos, como es el caso de los helechos y las papas.

Las *hierbas* como la begonia, la espinaca y el cilantro tienen tallos pequeños, tiernos y delicados. Los *arbustos* tienen varios tallos de tamaño muy parecido que crecen desde la base, como se puede observar en las azaleas, huizaches y adelfas. En cambio, los árboles tienen tallos fuertes que crecen altos antes de ramificarse.

En una planta dicotiledónea (la semilla tiene dos partes



Ilustración 6.5 El tallo da sostén a las plantas, entre otras funciones.

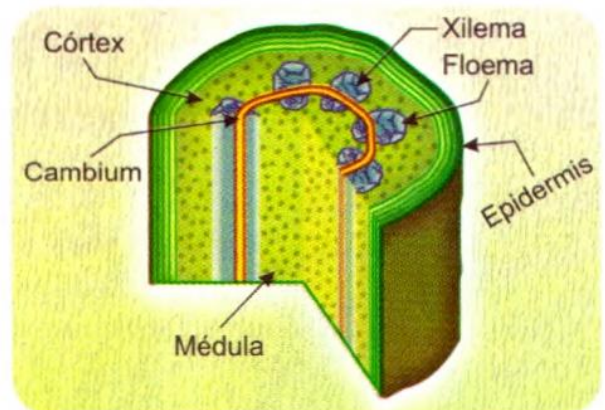


Figura 6.8 Tallo de dicotiledónea.

denominadas cotiledones, como es el caso del frijol), el tallo contiene xilema y floema con una disposición circular con tres zonas: corteza externa, haces vasculares y médula (**Figura 6.8**). Cada haz vascular contiene células de floema y xilema separadas por células meristemáticas llamadas **cambium**.

6.6 Reproducción en plantas angiospermas

Las angiospermas son plantas con flores. Ejemplos de este grupo de vegetales son la magnolia, el tulipán, la azalea, las orquídeas, las rosas; es decir, toda aquella planta que produzca flor desarrolle semillas encerradas dentro de un fruto que les proporciona alimento y protección.



Ilustración 6.6 La flor es una adaptación de las plantas para atraer agentes polinizadores.

Evolutivamente, las flores se desarrollan en las angiospermas como una adaptación para atraer a agentes polinizadores como los insectos, las aves y algunos vertebrados (**Ilustración 6.6**).

Cuando las **anteras** de los estambres liberan el polen, éste es acarreado hacia el pistilo de otra planta, es atrapado por el estigma, pasa por el estilo y finalmente entra en contacto con uno de los óvulos ubicados en el ovario. Cuando las células sexuales (n), óvulos y polen

entran en contacto, ocurre la fecundación y se forma el cigoto ($2n$). El cigoto se desarrolla y da lugar al embrión. Con el tiempo el embrión se transforma en semilla.

Después de la fertilización o fecundación, los sépalos, pétalos, estambres, pistilo y el estigma mueren, se marchitan y caen (**Figura 6.9**). En el lugar sólo se desarrollarán la semilla y el fruto. Posteriormente, cuando las condiciones ambientales sean propicias, la semilla germinará y dará lugar a una nueva planta con flores.

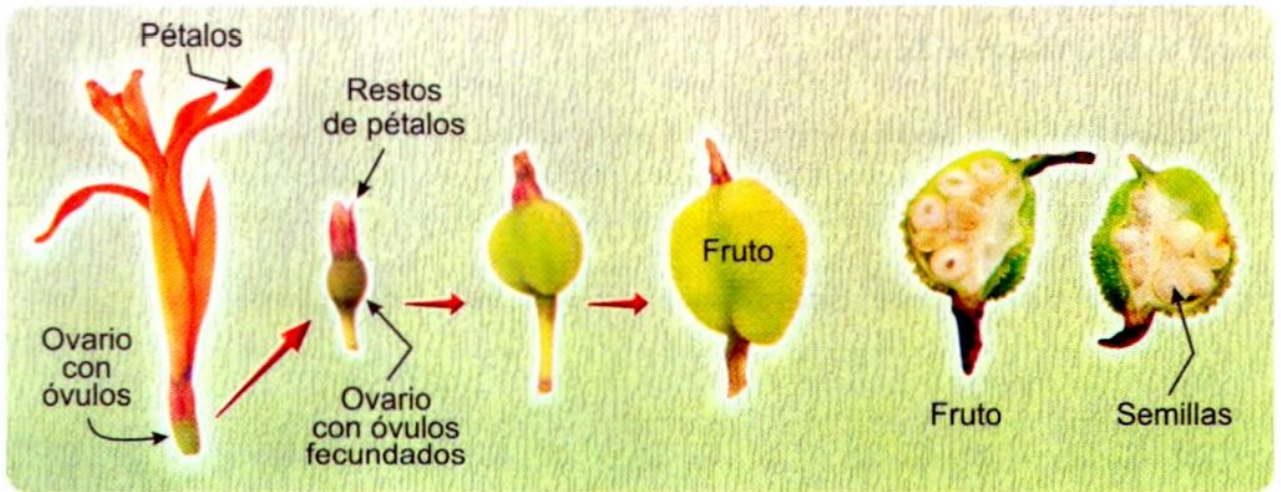


Figura 6.9 Después de la fertilización, se desarrollan el fruto y las semillas dentro de una flor.

Estructura y función de la flor

Una flor tiene las siguientes partes básicas: *sépalos*, que son las partes externas de color verde, muy parecidos a hojas que sirven de base a los pétalos. Los pétalos se acomodan en un círculo de láminas de colores brillantes encima de los sépalos; sirven de atractivo a los animales polinizadores. En el interior del círculo de pétalos coloridos se acomodan los *estambres*, que son los órganos masculinos de la flor; en el extremo de cada estambre hay una *antera*, a partir de la cual se forman los *granos de polen*, que son las células sexuales masculinas (n) de las plantas con flor.

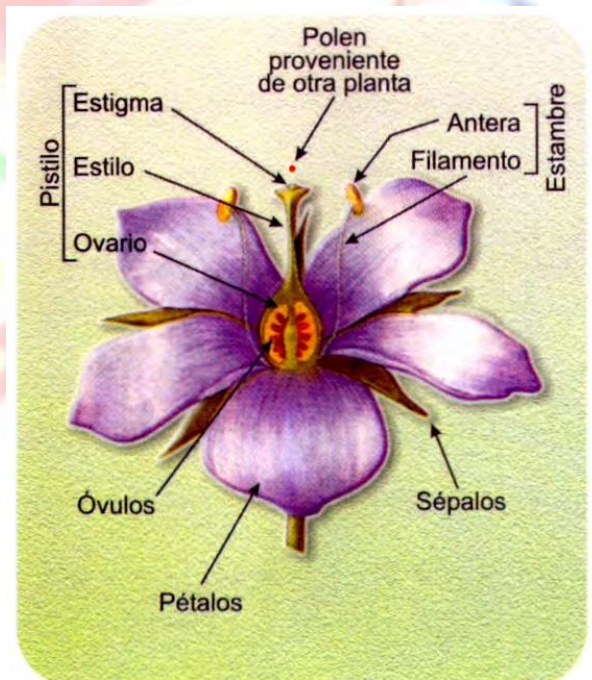


Figura 6.10 Flor con sus partes.

En el centro de la flor se ubican el o los pistilos. En la base del *pistilo* está el *ovario*, que produce las células sexuales femeninas u *óvulos* (n); arriba del pistilo se desarrolla, alargado, el *estilo*, y en la punta del mismo se localiza el *estigma*. Este secreta una sustancia pegajosa para atrapar los granos de polen que llegan a la flor vía los animales polinizadores o el viento (**Figura 6.10**).

Aunque existen plantas que se autofecundan, en su gran mayoría tienen polinización cruzada de una planta a otra. Este hecho proporciona mayores posibilidades de variación genética en la descendencia.

El fruto como estrategia adaptativa de dispersión

Después de la fecundación el embrión empieza a crecer dentro del ovario y, al final, forma el fruto. En el fruto habrá tantas semillas como óvulos hayan sido fecundados en el ovario. Cada semilla es una planta adulta en potencia. En resumen, el fruto es un ovario que contiene óvulos fecundados; o sea, semillas.

Visualmente los frutos son: manzanas, peras, uvas, melones, sandías, habas, pepinos, nueces, frijoles y granos, entre otros muchos de ellos. En el interior de estos frutos están las semillas o embriones.



Ilustración 6.7 Los frutos son agentes de dispersión de las plantas.

Además de su papel como agente protector y alimenticio de la semilla, el fruto es una estrategia adaptativa, producto de la evolución, que permite la dispersión de las plantas. Gracias a esta adaptación, las plantas, que no pueden moverse por sí mismas, han llegado a casi todos los rincones del planeta. Así, los mamíferos, las aves y otros organismos ingieren frutos y semillas. Las partes carnosas y dulces de los frutos sí se digieren dentro del tracto digestivo de los animales, pero las capas duras que protegen a las semillas no lo hacen. Cuando los animales defecan, expelen las semillas intactas, que caen y germinan en lugares lejanos de donde fueron concebidas por sus plantas progenitoras (**Ilustración 6.7**).

A los frutos también los dispersan el aire, las corrientes de agua y todo tipo de organismo viviente de tamaño adecuado. Son muy conocidos los frutos pegajosos o con ganchos para fijarse a la piel, plumas o escamas de los animales, o en la ropa del hombre, para ser dispersados en otros lugares. Muchas islas oceánicas han sido colonizadas por plantas cuyos frutos han sido acarreados por aves o por las corrientes marinas.

6.7 La raíz de las plantas



Ilustración 6.8 Raíces adventicias.

La raíz fija la planta al suelo, mantiene su posición y lleva a cabo las funciones de absorción de agua y minerales y su conducción hacia el tallo.

La raíz más grande que se observa en una planta se llama raíz primaria; sus ramificaciones se llaman **raíces secundarias**. Puede haber vegetales que desarrollen raíces adventicias que crecen a partir de tallos y hojas, como se puede observar en los árboles de mangle o de hule (Ilustración 6.8).

La absorción, transporte y almacenamiento de nutrientes

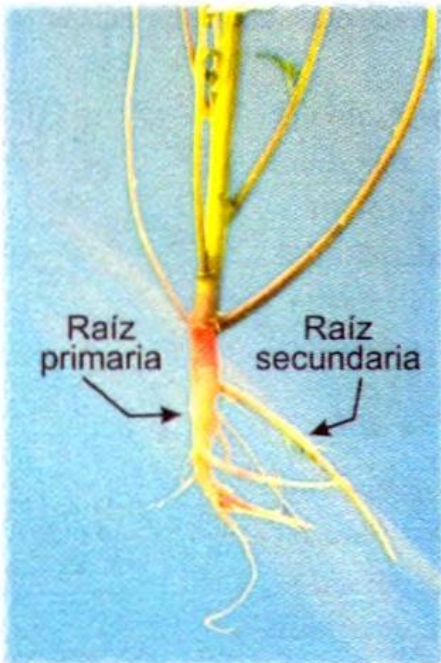


Figura 6.11 Raíz de una planta.

Las plantas absorben el agua y los minerales que necesitan para vivir a partir del ambiente en que se desarrollan. Las algas, por ejemplo, no tienen sistema radical para hacer la absorción a partir del medio acuático en que se encuentran. Esta actividad la realizan a través de sus paredes celulares. En cambio, en las plantas terrestres, en el transcurso de millones de años se desarrolló un sistema radical para la fijación al sustrato y para la absorción de nutrientes y agua (Figura 6.11). La estructura externa de la raíz consiste en una cofia protectora ubicada en la punta de cada raíz. Contiene una región meristemática de crecimiento rápido y una zona de maduración que está cubierta por pelos radiculares, que son los que intervienen activamente en el proceso de absorción.

Vista desde el interior hacia el exterior, la raíz tiene una capa celular externa denominada **epidermis**, que protege a las células internas y además produce los **pelos radiculares**. Debajo de la epidermis está la corteza, constituida por células que son la vía de paso de minerales y agua. Más hacia el interior está el **endodermo**, que engloba al tejido vascular denominado **estela**. Próximo al

endodermo se encuentra el **periciclo**, dentro del cual están el **xilema**, en forma de estrella, y el **floema (Figura 6.12)**. El agua es absorbida, junto con los minerales, a través de los pelos radiculares y de ahí pasa por la corteza, por la estela, hasta llegar al xilema. Las células del xilema forman vasos y tubos conductores que llevan el agua y los minerales hacia las partes superiores de la planta; es decir, el tallo, las ramas y las hojas. En cambio, los tubos del floema son los encargados de transportar el alimento, generado en la planta, hacia todas las partes de la misma. La glucosa que se produce a partir del proceso fotosintético se distribuye a toda la planta por medio del floema.

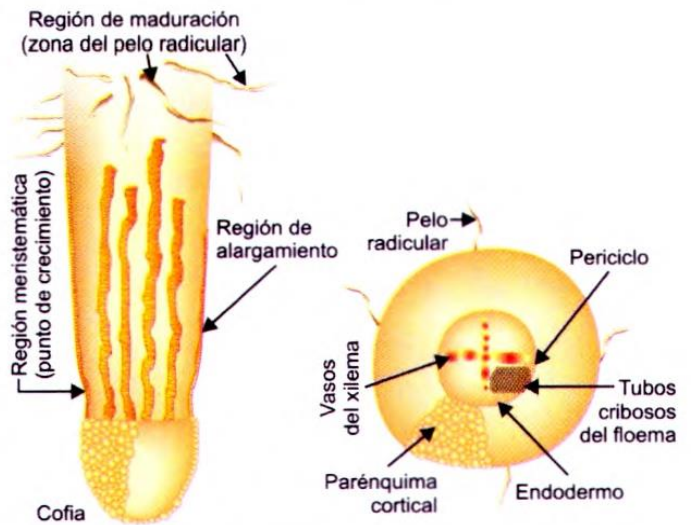


Figura 6.12 Raíz y corte transversal de la misma.

Tal y como se mencionó, después de que la planta llevó a cabo la absorción radicular (en las raíces) de agua y minerales para realizar la actividad fotosintética, en presencia de energía lumínica, produce alimentos que son distribuidos a toda la planta a través del floema. Las plantas acumulan alimentos para soportar periodos extremos en que no hay fotosíntesis o en que requieren proteger y conservar sus partes y energía. Para ello pueden depositar alimentos en las hojas, las raíces y los tallos. Preferentemente, almacenan alimento en sus raíces subterráneas, las cuales están protegidas del ambiente y de los animales. Son bien conocidas las grandes reservas de alimentos vegetales (almidón) presentes en los bulbos carnosos de las papas, mandiocas, camotes, zanahorias, cacahuates, entre otros. El alimento también puede depositarse en las semillas, las cuales tienen proteínas y grasas en cantidades considerables.

6.8 La utilización de las plantas por el ser humano

Desde sus más lejanos antecedentes, el ser humano nómada siempre dependió, entre otras cosas, de los vegetales para sobrevivir. En sus itinerarios para conseguir alimentos de origen animal y sobre todo vegetal recolectó y consumió hojas, raíces, tallos y frutos, que le proporcionaban azúcares, aceites, vitaminas, proteínas en cantidades pequeñas (la mayor

parte de las proteínas provienen de la carne) y eventualmente medicamentos. También a partir de las plantas el ser humano siempre ha obtenido leña, armas, instrumentos, alojamiento para protección y vivienda, vestimentas, cuerdas, etcétera.

Con el descubrimiento de la agricultura hace 10000 años aproximadamente, en la región de Medio Oriente y Asia menor, el uso de las plantas cambió y permitió que la población humana aumentara en número y se pudiera asentar para



Ilustración 6.9 El descubrimiento de la agricultura permitió la formación de ciudades.

formar ciudades de diferentes tamaños. El uso de las plantas se volvió intensivo y extensivo para proveer de alimentos, leña, medicamentos, vivienda, materiales de construcción, etc., a la cada vez más creciente población de seres humanos. **(Ilustración 6.9).**

Por ser un organismo consumidor dentro de los ecosistemas en que se ha desenvuelto, el hombre siempre ha dependido de los vegetales (y desde luego de los animales) para sobrevivir; los ha utilizado de una forma muy variada. El uso que el ser humano ha dado a las diferentes partes de las plantas ha sido, en general; así:

Tallo:

Desde hace 20 000 años el hombre ha utilizado los tallos y ramas como combustible para hacer y mantener fuego a fin de conservar calor y preparar alimentos. También los utilizó, como hasta ahora, para elaborar armas, perchas, paredes, albergues, agujas, canastas, calzado, vestimentas, cercados, cuerdas, vasijas para almacenaje de agua y alimentos, bebidas, tintes, resinas, caucho, adornos y muchos otros instrumentos más que le permitieron hacer más cómoda y llevadera la vida diaria.

Hojas:

Las hojas de las plantas también han sido utilizadas ampliamente a lo largo de la historia humana como alimento, medicamentos, para la extracción de colorantes, forrajes, construcción de viviendas, vestido, sombra para protegerse del sol, cuerdas, envoltorios, combustible, camas para descansar o dormir, para la obtención de compuestos para usos mágicos y alucinógenos, recipientes, medicamentos, etcétera.

Raíces:

En general las raíces han sido hasta la fecha la base para obtener alimentos, medicinas, forrajes, espesantes, tintes o colorantes, almidones, bebidas alcohólicas, cuerdas, recipientes y otras vasijas, tejidos, viviendas, leña, soportes, entre otros.

Frutos, granos y semillas:

Estas partes de las plantas han sido el gran sustento alimenticio de la población humana y de sus animales domesticados. Son la fuente de azúcares, harinas, aceites, pulpas, bebidas, vitaminas, jugos, granos, proteínas, minerales, bebidas alcohólicas, recipientes, adornos, entre otros. En fin, estos componentes vegetales son y han sido el sustento del desarrollo de las civilizaciones.

Algunas plantas que producen frutas, semillas y granos son usadas por el ser humano. Algunas de ellas son:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| ✚ Arroz (<i>Oryza sativa</i>) | ✚ Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) |
| ✚ Avena (<i>Avena sativa</i>) | ✚ Haba (<i>Vicia faba</i>) |
| ✚ Trigo (<i>Triticum sp</i>) | ✚ Café (<i>Coffea sp</i>) |
| ✚ Pimienta (<i>Piper sp</i>) | ✚ Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) |
| ✚ Canela (<i>Cinnamomum verum</i>) | ✚ Uva (<i>Vitis vinifera</i>) |
| ✚ Coco (<i>Cocos nucifera</i>) | ✚ Achiote (<i>Bixa Orellana</i>) |
| ✚ Maíz (<i>Zea mays</i>) | ✚ Nopal (<i>Opuntia robusta</i>) |

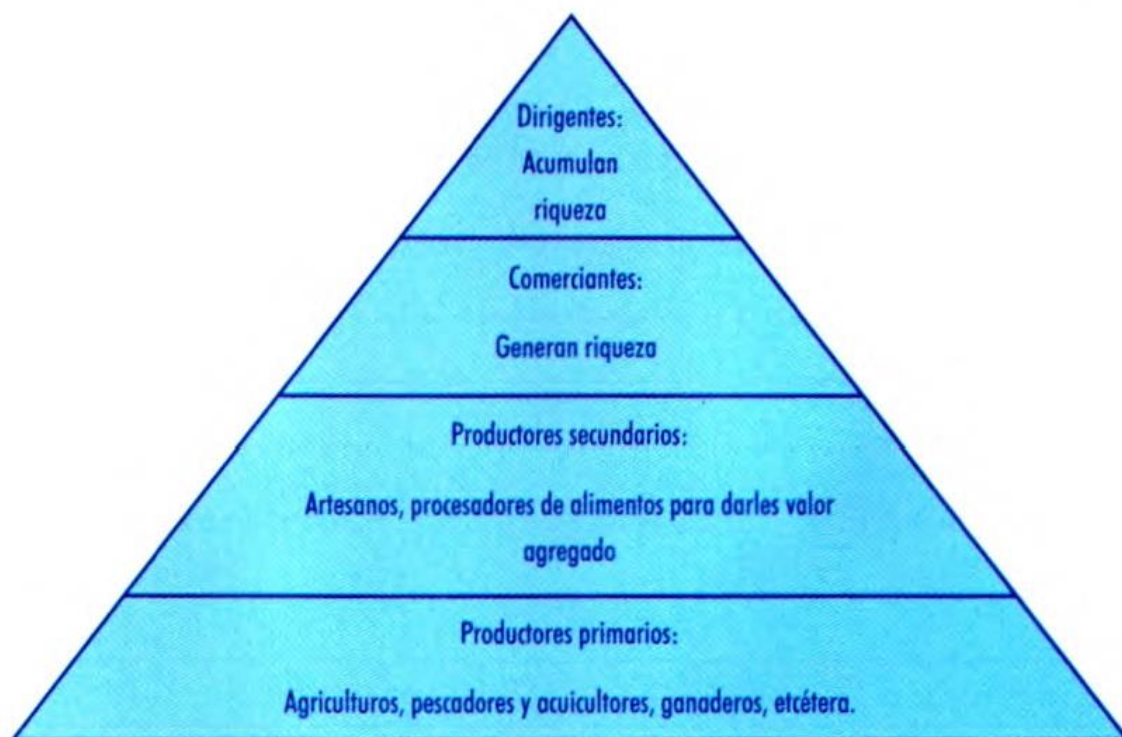
6.9 Importancia cultural, social y económica de las plantas

El cultivo de las plantas permitió la sedentarización del hombre y la formación de ciudades en todo el planeta. Con ello el ser humano tuvo asegurados sus alimentos y su protección; por lo mismo, tuvo más tiempo para desarrollar actividades culturales como la escultura, la pintura, la música, la alfarería, la orfebrería, la cestería, la joyería, la danza, la metalurgia, la investigación, etcétera.

Asimismo, al consolidarse los centros urbanos y al ocurrir el desarrollo de las artesanías, de la fabricación de artículos para el hogar, de las armas, la metalurgia y la producción de artículos de consumo masivo, se formaron los estratos sociales con agricultores, pescadores, artesanos, comerciantes, constructores, líderes religiosos y gobernantes, entre otros.

Con el tiempo, la agricultura y los procesos tecnológicos y comerciales para dar valor agregado a los productos agrícolas y artesanales permitieron el comercio local y regional a gran escala. Este proceso generó riqueza y clases privilegiadas. La estructura socioeconómica de la sociedad humana quedó definida por agricultores, artesanos y productores en general que trabajaban para comerciantes que hacían las actividades de la compra-venta de productos y materias primas, generando riquezas. A su vez, todos ellos empezaron a ser dirigidos y administrados por líderes políticos y religiosos, quienes acumulaban bienes y riquezas para gastarlos en actividades suntuarias, no productivas.

Es decir, en resumen, la agricultura permitió la consolidación y desarrollo de los centros urbanos y de las relaciones y actividades sociales, culturales y económicas del ser humano. Aún sigue siendo así; los agricultores y otras personas que se dedican a la producción de alimentos (productores primarios) sostienen a toda la estructura productiva de los artesanos, procesadores de alimentos (productores secundarios), comerciantes y dirigentes, en una red socioeconómica y cultural que se repite en todos los países del mundo, generando riqueza y acumulación de la misma.



6.10 Importancia de las plantas y del planeta

Los seres humanos y los animales en general vivimos gracias a las plantas, ya que son el sostén de los hábitats en que nos desarrollamos; son fuente de alimento, energía, medicamentos, refugio y otros satisfactores.



Ilustración 6.12 Las plantas son el sostén de los ecosistemas.

Las plantas son los productores de los ecosistemas, y tienen la capacidad de transformar (mediante el proceso de la fotosíntesis) la energía solar a energía química (azúcares) que acumulan en sus tejidos y que posteriormente los animales y otros consumidores pueden aprovechar cuando se alimentan de las plantas. Asimismo, durante el

proceso bioquímico de la fotosíntesis, los vegetales generan oxígeno, que nos permite respirar y llevar a cabo parte de nuestras actividades metabólicas. Biológica y ecológicamente, las plantas son el sostén de los ecosistemas de la vida animal en la Tierra. Sin micro y macrovegetales fotosintéticos no podría haber vida animal (incluida la humana) sobre la Tierra. Los vegetales solos sí pueden vivir, pues son autótrofos, pero los animales (heterótrofos) sin vegetales no pueden hacerlo.

Desde luego, las plantas son la base alimenticia del ser humano y son primordiales para el desarrollo social y económico de los grupos humanos. De ellas vivimos y sobrevivimos. Están en los cultivos, los bosques, las selvas..., en todos los sistemas ecológicos del planeta. Es importante concientizarnos de que son la base de nuestra existencia y que debemos aprovecharlas racionalmente poniendo especial atención en su cuidado y conservación. No debemos agotar los recursos vegetales del planeta, pues ello significaría nuestra autodestrucción.