

Enseñando
Biología

**Material de apoyo
para profesores
de secundaria**

Universidad Nacional Autónoma de México

Rector

ENRIQUE GRAUE WIECHERS

Secretario General

LEONARDO LOMELÍ VANEGAS

Coordinador de la Investigación Científica

WILLIAM LEE ALARDÍN

Directora General de la Facultad de Ciencias

CATALINA STERN FORGACH

Academia Mexicana de Ciencias

Presidente

JOSÉ LUIS MORÁN LÓPEZ

Vicepresidente

ESTELA SUSANA LIZANO SOBERÓN

Tesorera

MARÍA ESTER BRANDAN

Secretarios

CARLOS ARTEMIO COELLO COELLO

ALIPIO GUSTAVO CALLES MARTÍNEZ

Enseñando Biología

Material de apoyo
para profesores
de secundaria

Coordinadores

ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ
LUIS FELIPE JIMÉNEZ GARCÍA
MARTHA CORONEL
EDUARDO ADOLFO DELGADILLO CÁRDENAS
MARÍA CRISTINA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ
SILVIA LÓPEZ ESLAVA
RICARDO NOGUERA SOLANO
BEATRIZ RENDÓN AGUILAR
MARÍA JOSEFINA SEGURA GORTARES
MARÍA DEL LOURDES SEGURA VALDEZ



Coordinación general

ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ

Coordinación académica

ALFREDO ARNAUD BOVADILLA

Coordinación editorial

ROSANELA ÁLVAREZ RUIZ

Asistencia académica

DANIELA FRANCO BODEK

Diseño y formación digital

ANGÉLICA CASTREJÓN / INTIDRINERO, S.A. DE C.V.

Diseño de portada

MIGUEL MARÍN

Corrección

LETICIA GARCÍA URRIZA

BLANCA VERÓNICA GARCÍA

Enseñando biología. Material de apoyo para profesores de secundaria
1ª edición, 2020.

D.R. © febrero, 2020.
Universidad Nacional Autónoma de México
Secretaría General
Facultad de Ciencias
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México

D.R. © febrero, 2020.
Academia Mexicana de Ciencias
Casa Tlalpan, Calle Cipreses s/n, km 23.5 Carretera Federal México-Cuernavaca,
San Andrés Totoltepec, Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México

ISBN:

Hecho en México

Índice

Presentación	9
<i>Dr. Leonardo Lomelí Vanegas</i>	
Presentación	11
<i>Dra. Catalina Stern Forgach</i>	
Presentación serie “Enseñando ciencias”	13
<i>Dr. José Luis Morán</i>	
Prólogo	15
<i>Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez</i>	
Introducción al libro <i>Enseñando Biología</i>	17
<i>Dr. Alfredo Arnaud Bobadilla</i>	
BLOQUE 1.	
Nutrición	
Introducción	19
Tipos de nutrición en diferentes sistemas vivos	21
Análisis comparativo de algunas adaptaciones relacionadas con la nutrición	22
Relación entre la nutrición y el funcionamiento integral del cuerpo humano	24
Valoración de los beneficios de contar con la diversidad de alimentos mexicanos de alto aporte nutrimental	26
Nutrientes en los alimentos	28
La importancia de la dieta correcta para mantener la salud	33
BLOQUE 2.	
Respiración	
Introducción	35
Mecánica de la respiración externa: inhalación y exhalación	40
Respiración interna	40
Análisis de algunas causas de las enfermedades respiratorias más comunes como influenza y resfriados, e identificación de las medidas de prevención	41
Tabaquismo	42
Algunas adaptaciones en la respiración de los seres vivos	42
Respiración celular	43
Fermentación	47

BLOQUE 3.**La reproducción**

La reproducción de los seres vivos: diversidad y adaptación	49
Adaptación y reproducción sexual	51
Reproducción sexual como fuente de variabilidad	55
Ciclo celular	57
Relación entre cromosomas, genes y características: genotipo y fenotipo	59
Estudios de Mendel con chícharos	62
Los trabajos de Morgan con moscas	64
Análisis de las cuatro potencialidades de la sexualidad humana	64
Infecciones de transmisión sexual	65
Infecciones virales	65
Virus del papiloma humano	66
Herpes simple	66
Infecciones bacterianas	67
Tratamiento de las enfermedades de transmisión sexual	67
Métodos anticonceptivos	68

BLOQUE 4.**Evolución**

Introducción	73
La evolución como hecho	75
Evidencias a partir de las cuales es posible plantear que la evolución es un hecho	75
Teorías para explicar el proceso evolutivo antes de las teorías evolutivas	77
Fuerzas evolutivas y evolución	85
La adaptación y la supervivencia diferencial de los seres vivos	88
Causas y consecuencias de la extinción	89
Evolución y la escala de tiempo	90
<i>Homo sapiens</i> y evolución	91

BLOQUE 5.**La biodiversidad**

Introducción	95
¿Qué es la biodiversidad?	95
Los valores de la biodiversidad	98
¿Cuántas especies existen?	98
¿Cómo podemos identificar las especies?	99
La jerarquía de la vida	100
El humano como parte de la biodiversidad	112
México como país megadiverso	113
Países megadiversos	115
Causas y consecuencias de la pérdida de la biodiversidad	115
Aportaciones de la herbolaria de México a la ciencia y a la medicina del mundo	119

BLOQUE 6.**Ecología**

Introducción	121
Características del ambiente	122
Hábitat y nicho ecológico	123
Cambios temporales y espaciales	125
Población	126
Comunidad	127
Valoración de la importancia de los organismos autótrofos y heterótrofos en los ecosistemas y de la fotosíntesis como base de las cadenas alimentarias	129
Ecosistemas de México	132
La participación humana en la dinámica de los ecosistemas	133
Problemas ambientales	134
Análisis de las causas del cambio climático asociadas con las actividades humanas y sus consecuencias	136
Equidad en el aprovechamiento presente y futuro de los recursos alimentarios: hacia el desarrollo sostenible	138
Valoración de la importancia de las iniciativas en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en favor del desarrollo sostenible	139

Bibliografía**140**

Presentación

Estimados maestros y maestras:

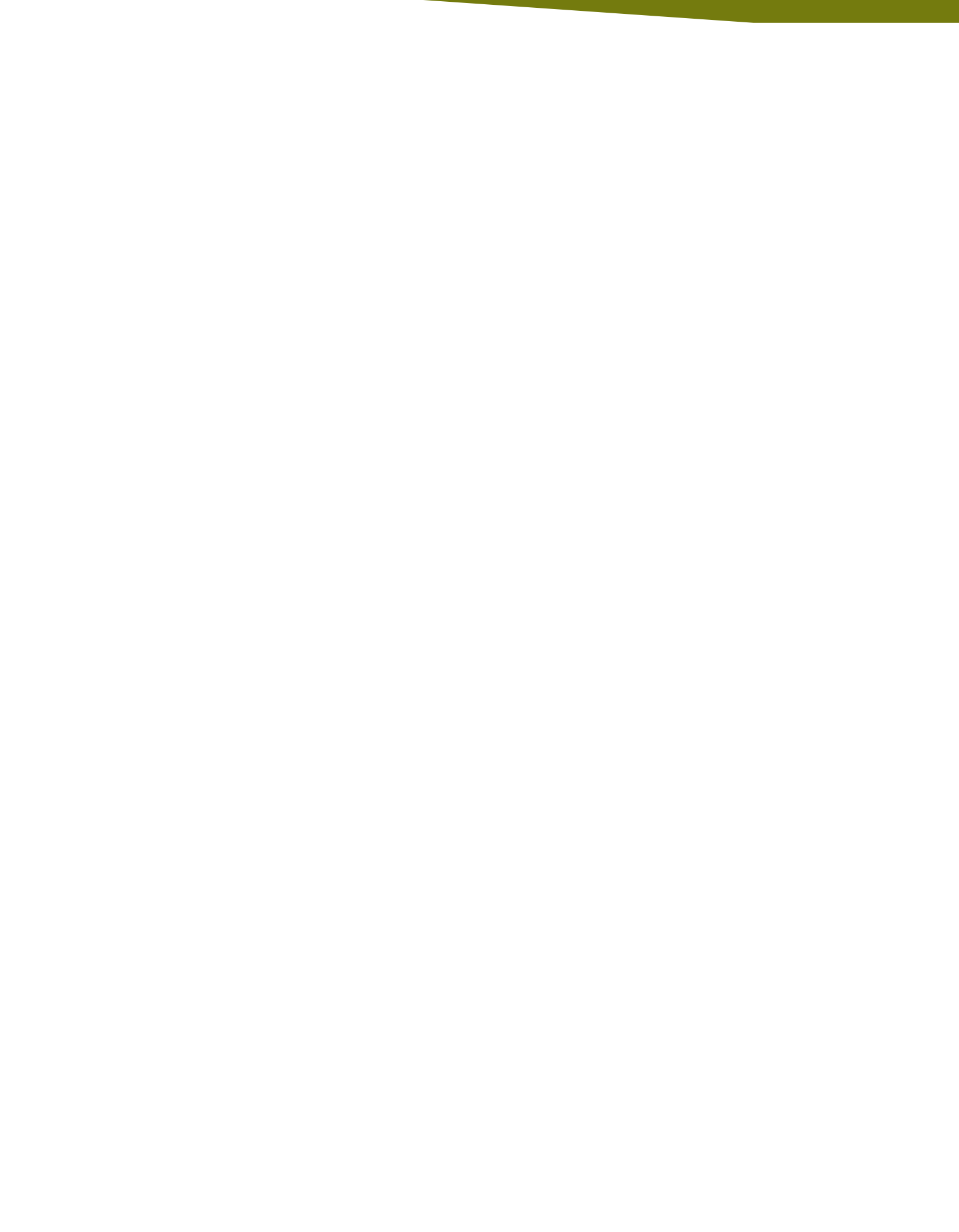
Quisiera, en primer lugar, destacar que su labor como docentes de Educación Básica es de enorme relevancia, toda vez que están trabajando con los niños y jóvenes en la construcción de los conocimientos, de una estructura mental, de las habilidades y las aptitudes que les permitirán convertirse en ciudadanos, futuros profesionistas y protagonistas en la toma de decisiones y resolución de los grandes retos del país.

Consciente de su papel como Universidad Nacional, y preocupada por la educación en todos sus niveles educativos, la UNAM, a través de esta Secretaría General y la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), han combinado sus esfuerzos para preparar esta serie “Enseñando ciencias”, compuesta de cuatro libros dirigidos particularmente a profesores de secundaria de las asignaturas de Biología, Física, Matemáticas y Química.

Para la realización de esta serie, nos hemos dado a la tarea de reunir a equipos de profesores e investigadores de amplia experiencia universitaria, con el fin de diseñar y elaborar estos materiales, cuyo fin es el de proporcionar a nuestros colegas profesores elementos valiosos en los ámbitos disciplinar y metodológico, y con ellos coadyuvar a preservar una educación de calidad, basada en el rigor, la constancia, el compromiso y el manejo de conceptos que cuentan con el sustento de la investigación científica de vanguardia que se realiza en las aulas y laboratorios universitarios.

Me congratulo, pues, de poner a disposición de los profesores de secundaria de nuestro país y de cualquier docente de habla hispana, estos materiales que seguramente serán perfectibles, pero que también representarán, estoy seguro, una oportunidad de contrastar ideas y proseguir con este diálogo continuo que motiva la adquisición y actualización permanente de nuestros conocimientos, mismos que irán en beneficio de los alumnos.

DR. LEONARDO LOMELÍ VANEGAS
Secretario General de la UNAM



Presentación

DRA. CATALINA STERN FORGACH
Directora General de la Facultad de Ciencias de la UNAM

Presentación serie “Enseñando ciencias”

En las últimas décadas, instituciones educativas de varios países han volteado a ver y a estudiar de manera muy seria el problema de la enseñanza en general y de las ciencias en particular. Lo anterior, en función de la demanda creciente de profesionistas que ha observado este ámbito y que tendrá en los próximos años, pero sobre todo porque la alfabetización científica es ahora, más que nunca, un derecho y una responsabilidad ciudadana en vistas del vertiginoso avance que han conocido las ciencias y la tecnología desde el último cuarto del siglo pasado y que, al día de hoy, tienen una aguda penetración en prácticamente todos los ámbitos de nuestra cotidianeidad.

Este escenario, nos lleva a considerar que mejorar el aprendizaje de los alumnos es una prioridad, y que alfabetizar en ciencias, no es una tarea fácil: implica formar ciudadanos que conozcan los principales conceptos y teorías de los distintos campos de conocimiento, que sean capaces de usarlos en la resolución de problemas, que conozcan la naturaleza social de la ciencia y sus implicaciones para la sociedad; supone también la formación de capacidades cognitivas, como la interpretación de fenómenos naturales, el procesamiento de información de distintas fuentes y la evaluación de dicha información. El reto para los docentes no es trivial; por ello, fortalecer su formación se convierte en una necesidad inaplazable.

Es, justamente, a partir de este compromiso que la UNAM y Academia Mexicana de las Ciencias (AMC) hemos asumido la tarea de elaborar la colección “Enseñando ciencias” donde se analizan teorías y conceptos centrales de la Biología, las Matemáticas, la Física y la Química, con el propósito de apoyar a los profesores en el fortalecimiento de sus conocimientos disciplinarios, ya que éstos constituyen un elemento central del proceso didáctico. Los nuevos enfoques en el campo de la didáctica de las ciencias, señalan que es fundamental que los docentes, además de una sólida formación pedagógica y didáctica, tengan una comprensión profunda sobre la ciencia a enseñar y que conozcan las dificultades en la enseñanza-aprendizaje inherentes a los distintos saberes científicos. Por tanto, deben contar con criterios disciplinarios claros que les permitan determinar los

conceptos, teorías, modelos, entre otros, que son relevantes en la comprensión de las disciplinas científicas en la educación secundaria.

Por lo anterior, me es muy gratificante ver consolidado el esfuerzo de varios colegas en esta colección que se pone al alcance de aquellos que tienen la gran tarea de preparar y formar a nuestros jóvenes en estas áreas de especial relevancia para el contexto actual.

DR. JOSÉ LUIS MORÁN
Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias

Prólogo

Estimados maestros:

Es un verdadero gusto para mí presentar este libro que forma parte de la serie “Enseñando ciencias”, resultado de la labor que desde la Secretaría General de la UNAM y la Academia Mexicana de Ciencias venimos realizando desde hace más de una década en apoyo al fortalecimiento de la Educación Básica, Media Superior y Superior.

En efecto, he tenido el privilegio de coordinar e impulsar desde el año 2008, diversos proyectos institucionales en apoyo a profesores de todo el país, que se han visto consolidados en cursos, diplomados, estudios diagnósticos y materiales que a lo largo de los años se han ido ajustando y optimizando, con el único fin de coadyuvar al esfuerzo que muchas instituciones y grupos de académicos hemos venido realizando en pro del mejoramiento continuo y permanente de la educación en nuestro país.

A pesar de la trascendencia que tiene la formación científica para los ciudadanos, un buen número de trabajos muestran que los alumnos tienen dificultades para comprender teorías y conceptos científicos. Existe, asimismo, una gran dificultad para que modifiquen sus ideas previas, asimilen nuevas concepciones y para que apliquen los conocimientos adquiridos. A esto se suma la frustración de los profesores debido a los insuficientes resultados en su práctica docente. Son diversos los factores que han originado esta crisis, y entre los más importantes encontramos: la distancia entre las necesidades formativas de los estudiantes y los currículos de ciencia; la gran cantidad de temas que abordan los contenidos escolares y lo poco significativos que resultan para los estudiantes; en muchos casos, una enseñanza de la ciencia basada en visiones deformadas de la actividad científica y en estrategias memorísticas que poco alientan la formación que requiere la sociedad actual; las deficiencias en los enfoques didácticos empleados para abordar las estrategias de razonamiento y solución de los problemas propios de la ciencia.

El trabajo realizado durante estos años parte de la consideración de que la formación científica en campos como las Matemáticas, Física, Química y Biología

es fundamental para todos los ciudadanos, ya que cada una de estas disciplinas ofrece distintas maneras de leer, comprender, transformar y preservar el mundo que nos rodea. Los conocimientos que se derivan de estos campos de conocimiento pueden emplearse en la solución de problemas socialmente relevantes y ayudan a tomar decisiones argumentadas y razonadas; fomentan la formación de capacidades cognitivas como la interpretación de fenómenos, el procesamiento y la evaluación de información, la solución de problemas, entre muchos otros aspectos. Por estas razones es tan relevante que los estudiantes de secundaria conozcan teorías y conceptos centrales de estas ciencias y comprendan cómo cada una de ellas explica el mundo que nos rodea. Esto les aportará herramientas para configurar un pensamiento científico que les permita explicar situaciones que les afectan en su vida cotidiana y entender problemas de relevancia científica y social.

En este contexto, el presente libro, producto de la experiencia recabada a lo largo de muchos años de trabajo hombro con hombro con maestros y maestras de todo el país y del conocimiento y compromiso de expertos de la Universidad Nacional Autónoma de México en estos campos del saber, busca ofrecer a los profesores de secundaria un apoyo especialmente pensado para fortalecer sus conocimientos disciplinarios, que acompañados por su experiencia en el aula y su conocimiento pedagógico y didáctico, seguramente aportará elementos para reforzar su práctica docente, tarea fundamental en estos momentos en que el país requiere de ciudadanos educados y comprometidos con ellos mismos, con la sociedad y con el cuidado de la naturaleza.

DRA. ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ
Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias, UNAM

Introducción al libro

Enseñando Biología

Estimados colegas:

Este libro, que forma parte de la serie “Enseñando ciencias”, es un texto dirigido y pensado para apoyar en su labor diaria a los profesores de secundaria que imparten la asignatura de Biología.

El texto está compuesto por seis grandes apartados escritos por experimentados profesores de biología de la UNAM, en sus muy particulares áreas de especialización al interior de la biología misma.

De esta forma, se abordan los temas de nutrición, respiración, reproducción, evolución, biodiversidad y ecología. Cada uno de ellos, descrito y abordado con extremo rigor académico, expone los procesos, los cambios y adaptaciones que ciertos organismos han sufrido a lo largo de la historia, en aras de preservar su existencia, su reproducción o pervivencia como especie.

En los temas de nutrición, respiración y reproducción, se abunda en detalladas especificaciones y descripciones sobre la interacción de los órganos que intervienen en las distintas funciones vitales, de defensa, protección y prevención de enfermedades, así como de hábitos que pueden ser saludables, o bien nocivos para nuestra propia salud.

En el tema de la evolución se revisan conceptos como adaptación, extinción, cambio, morfología y fisiología, en relación con la constitución genética de las especies y la diversidad biológica. Este apartado es de gran importancia porque nos permite tener un entendimiento diacrónico de la evolución de las especies a lo largo de 3,800 millones de años, lo que conecta con biodiversidad y ecología, los dos últimos temas, y nos da las bases y pistas para poder imaginar el derrotero de los seres vivos en este planeta.

Los dos últimos apartados nos conducen a un plano más amplio para relacionar a los seres vivos con sistemas complejos y dinámicos que están en permanente cambio, gracias a las interacciones que operan entre los múltiples elementos que juegan en su interior.

Es así como estos seis capítulos fueron planeados y desarrollados para entablar un diálogo con los profesores de biología de secundaria, quienes encon-

trarán, sin lugar a dudas, estrategias, herramientas, y valiosos consejos para la mejora y profundización de su práctica cotidiana.

DR. ALFREDO ARNAUD BOBADILLA
Coordinador Académico de la serie "Enseñando ciencias"

1 | Nutrición

La nutrición es un proceso biológico que involucra la obtención, ingesta, asimilación, metabolismo y desecho de nutrimentos por cualquier sistema vivo. Es básicamente un proceso celular que ocurre en forma continua, determinado por la integración de factores genéticos y ambientales y que permite la vida.

Introducción

Los seres vivos son parte de la materia del universo, con características y capacidades específicas, como la obtención constante de energía y materiales del exterior, y la eliminación de los productos de desecho del metabolismo, para lo cual los seres vivos metabolizan (reacciones químicas que transforman la energía), crecen (aumento de tamaño o número de células individuales de un organismo) y se autorregulan para tener un equilibrio con el medio.

La nutrición, originalmente sinónimo de alimentación, es un proceso biológico que involucra la obtención, ingesta (alimentación), asimilación (digestión y absorción), metabolismo y desecho de nutrimentos por el organismo. La nutrición es fundamentalmente un proceso celular que ocurre en forma continua y está determinado por la integración de factores genéticos y ambientales.

La alimentación es el conjunto de procesos relacionados con la elección e ingestión de alimentos (órganos, tejidos, células o secreciones que contienen cantidades apreciables de nutrimentos) por el cual el organismo obtiene del medio los nutrimentos para satisfacer sus necesidades.

El alimento, como se consume, no es ideal para el uso como fuente de energía por ninguna célula; primero debe someterse a un proceso de degradación para formar moléculas más pequeñas, de tal manera que se puedan transportar a través de las membranas citoplasmáticas. Los órganos que conforman esta función constituyen el aparato digestivo (**figura 1-1**), el cual está dividido tradicionalmente en dos grandes grupos: el gastrointestinal o conducto alimentario, que es un tubo continuo que corre a lo largo de la cavidad ventral del cuerpo y se extiende desde la boca hasta el ano (boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado y grueso, ciego, recto y ano); y el grupo constituido por glándulas accesorias (dientes, lengua, glándulas salivales, hígado, vesícula biliar y páncreas).

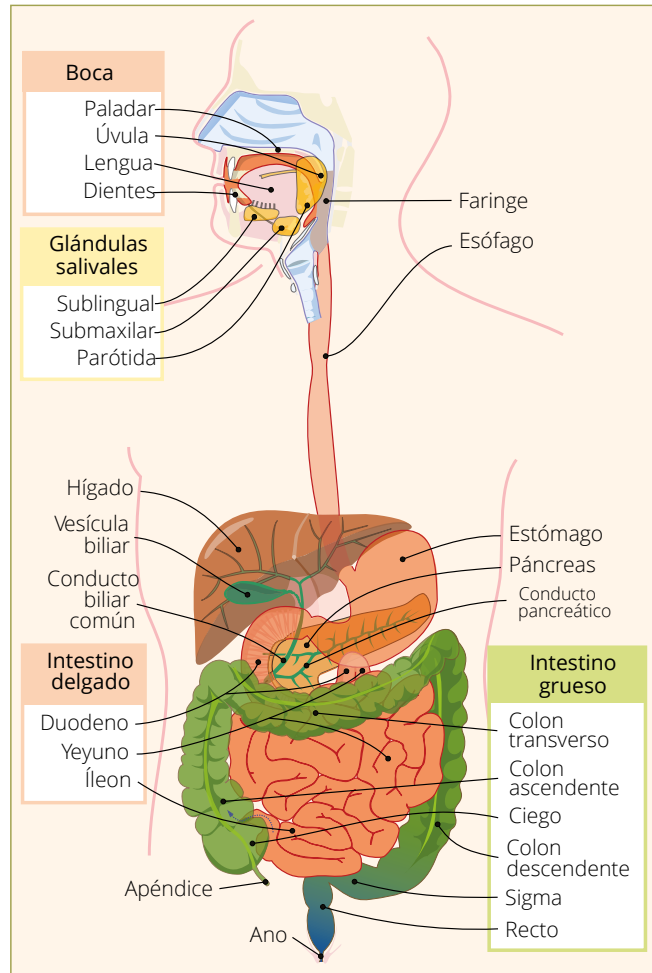


Figura 1-1.
Aparato digestivo con sus órganos
y glándulas accesorias.
Fuente: Wikipedia.com

El aparato digestivo prepara el alimento para su consumo por parte de las células a través de cinco funciones básicas: ingestión (cuando el cuerpo toma el alimento), movilización del alimento (paso del alimento a lo largo del aparato digestivo), digestión (degradación del alimento por procesos químicos y mecánicos), absorción (paso de los alimentos digeridos hacia el sistema cardiovascular y linfático), y defecación (eliminación de sustancias no digeribles del aparato digestivo).

Los nutrimentos son sustancias que habitualmente se obtienen de la dieta y pueden ser inorgánicos (iones, agua y oxígeno) y orgánicos (lípidos, proteínas, hidratos de carbono y vitaminas). Estas sustancias satisfacen las siguientes necesidades en el cuerpo:

- Aportan energía para impulsar el metabolismo y las actividades celulares, como los hidratos de carbono y lípidos, y las proteínas en ausencia de estos.
- Constituyen bloques de construcción químico, como los aminoácidos que conforman moléculas complejas específicas para cada organismo.
- Los iones y vitaminas, que son necesarios para diferentes reacciones metabólicas.

En síntesis, la nutrición es un proceso para obtener y procesar nutrientes hasta conseguirlos en forma utilizable.

Tipos de nutrición en diferentes sistemas vivos

En general, los sistemas vivos tienen dos tipos de nutrición: autótrofa y heterótrofa. Los organismos fotosintéticos son autótrofos (que se autoalimentan, en griego) o productores, porque producen alimento para sí mismos utilizando algunos compuestos químicos y luz solar, como las plantas, helechos y árboles (figura 1-2).

Al hacerlo, estos organismos, en forma directa o indirecta, también producen alimento para prácticamente todas las demás formas de vida. Los organismos que no llevan a cabo la fotosíntesis, denominados heterótrofos (que se alimentan de otros, en griego) o consumidores, deben obtener la energía y muchos de sus nutrientes previamente empacados en las moléculas que componen el cuerpo de otros organismos, como los animales.

La nutrición en organismos procariontes (eubacterias y archaeobacterias) es muy variada: algunos son fotoautótrofos, que utilizan la energía del sol y el bióxido de carbono como fuente de carbón; los hay fotoheterótrofos, que usan luz solar como fuente de energía pero compuestos orgánicos como fuente de carbono; otros son quimioheterótrofos, que como fuente de energía y de carbono utilizan compuestos orgánicos; y los quimioautótrofos, que obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos, como el sulfuro de hidrógeno y el bióxido de carbono como fuente principal de carbono.

Los hongos, al igual que los animales, son heterótrofos, sobreviven degradando nutrientes almacenados en el cuerpo o en los desechos de otros organismos (figura 1-3).

Algunos hongos son saprobios, es decir, que digieren el cuerpo de los organismos muertos. A diferencia de los animales, los hongos no ingieren alimento, pero en cambio secretan enzimas que digieren moléculas complejas fuera de su cuerpo y las descomponen en subunidades más pequeñas, susceptibles de ser absorbidas. Otros son parásitos que se alimentan a costa de organismos vivos y producen enfermedades, y otros más viven en relaciones simbióticas, como los líquenes y las micorrizas.

Los protozoarios tiene una nutrición muy variada: algunos son heterótrofos (holozóica), ya que se alimentan de otros organismos o de restos de organismos; otros son autótrofos, pues son organismos que pueden sintetizar su propio alimento a partir de agua, dióxido de carbono, iones y energía solar; y otros más son

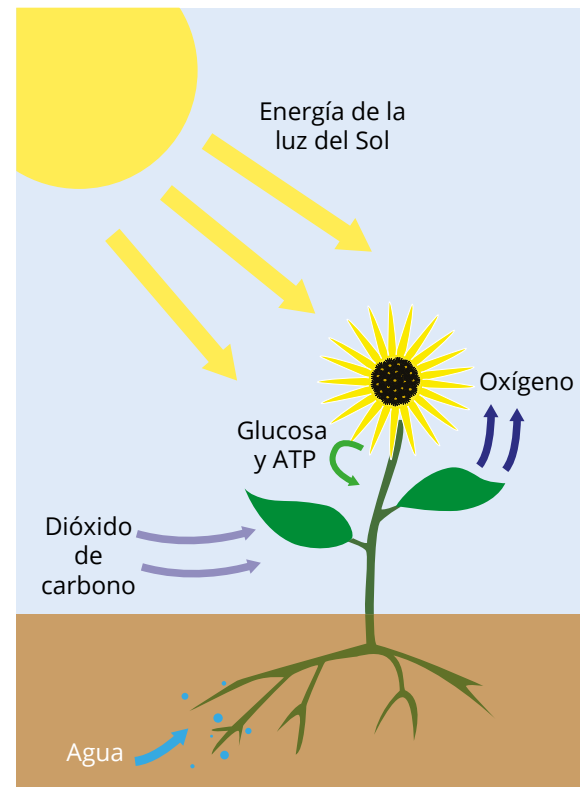


Figura 1-2.
Nutrición autótrofa por fotosíntesis.



Figura 1-3. Hongos. Degradan la materia orgánica, como las hojas de los árboles, por eso son heterótrofos.

saprobios, ya que se nutren de materia orgánica en proceso de descomposición.

Análisis comparativo de algunas adaptaciones relacionadas con la nutrición

Todos los seres vivos se nutren, y para hacerlo se han adaptado a diferentes ambientes como resultado del proceso evolutivo. Los seres vivos son sistemas abiertos que constantemente están en interacción con el medio; por ello, los organismos necesitan materiales y energía para mantener su elevado nivel de complejidad y organización (la homeostasis, crecimiento y reproducción), para lo cual toman los materiales que necesitan, llamados nutrimentos, de los alimentos, que se extraen del ambiente, donde se reciclan continuamente entre los seres vivos y su entorno.

Los ecosistemas son extraordinariamente variados; sin embargo, hay modalidades bien definidas.

La comunidad característica de cada ecosistema está dominada por organismos adaptados especialmente a condiciones ambientales particulares; las variaciones de temperatura y la disponibilidad de agua, luz y nutrimentos modelan la adaptación de los organismos que habitan un ecosistema. La sobrevivencia de las especies depende de muchos factores, uno de los cuales es la alimentación y la habilidad que tengan para la obtención de su alimento.

La comunidad del desierto, por ejemplo, está dominada por plantas adaptadas al calor y la sequía; sus hojas con apariencia de espinas y sus tallos gruesos que almacenan agua son adaptaciones para climas secos (**figura 1-4**).

Además, tienen adaptaciones metabólicas para fijar el carbono. Al vivir en lugares cálidos y con poca agua, mantienen los estomas cerrados para almacenar la mayor cantidad de agua; debido a que también necesitan CO_2 , abren sus estomas cuando los niveles de luz son bajos, lo que permite la entrada de este gas, el cual lo almacenan para producir su alimento (organismos autótrofos) por una vía metabólica conocida como fotosíntesis C_4 .

Otro ejemplo son los castores (**figura 1-5**), en los que la mutación de un gen que favoreció el desarrollo de dientes más grandes, representó una ventaja respecto a los que no los desarrollaron, ya que les permitió cortar mejor los árboles, construir diques y refugios más grandes, y comer más corteza que los castores con dientes más pequeños, lo que representó ventajas en la sobrevivencia y reproducción. Con el paso del tiempo los castores de dientes más pequeños, y por lo tanto menos exitosos, serían cada vez más escasos, y después de muchas generaciones los castores de dientes grandes aumentarían considerablemente su número.



Figura 1-4. Cactáceas. Son organismos que representan al matorral xerófilo de México. Adaptadas a climas de mucho calor y sequía.



Figura 1-5. Castor. Los dientes de los castores (*Castor* spp.) son una adaptación para poder vivir en su hábitat.

Los hongos (heterótrofos) sobreviven degradando nutrimentos almacenados en el cuerpo o en los desechos de otros organismos. Algunos hongos se han adaptado a digerir el cuerpo de organismos muertos, otros son parásitos que se alimentan a costa de organismos vivos y producen enfermedades, otros más viven en relación mutuamente benéfica con otros organismos que les brindan alimento, y hay incluso algunos hongos depredadores que atacan a gusanos diminutos del suelo. A diferencia de los animales, los hongos no ingieren alimento, en cambio secretan enzimas que digieren moléculas enteras fuera de su cuerpo para después ser absorbidas.

En los protistas (figura 1-6) se presentan tres formas principales de nutrición: algunos son capaces de ingerir su alimento, otros absorben nutrimentos del



Figura 1-6.

Euglena. Las euglenas son protistas excepcionales, ya que tienen cloroplastos y realizan nutrición autótrofa, pero también pueden consumir materia orgánica y ser heterótrofos.

entorno y otros más captan la energía solar directamente para realizar la fotosíntesis. Los protistas que ingieren su alimento son generalmente depredadores, con membranas celulares flexibles que pueden cambiar de forma para rodear y atrapar bacterias (pseudópodos); otros emplean los cilios para generar pequeñas corrientes que dirigen las partículas de alimento hacia las aberturas del protozooario; otros más se alimentan por absorción y pueden ser de vida libre o parásitos, absorben directamente los nutrientes del ambiente que contengan materia orgánica muerta, donde realizan una función de descomposición; y los fotosintéticos, que abundan en los océanos, lagos y estanques, son organismos autótrofos y producen el alimento en el cloroplasto, al igual que las plantas.

Los procariontes consiguen colonizar hábitats muy diversos, en parte porque han desarrollado distintos métodos para adquirir energía y nutrientes del ambiente. Sean aerobios o anaerobios, diferentes especies de procariontes pueden extraer energía de una gama sorprendente de sustancias. Los procariontes no sobreviven solamente de carbohidratos, proteínas y lípidos, sino también de alimentos que no son comestibles o que incluso son tóxicos para el humano, incluidos el petróleo, el metano y solventes como el benceno y el tolueno; también son capaces de metabolizar compuestos inorgánicos liberando sulfatos o nitratos, nutrientes fundamentales para las plantas. Algunas especies de bacterias, como las cianobacterias, llevan a cabo fotosíntesis para captar la energía de la luz solar.

Relación entre la nutrición y el funcionamiento integral del cuerpo humano

Nuestra especie pertenece al orden de los primates, que apareció hace 60 millones de años. A la mitad del camino, hace 30 millones de años, los primates,

posiblemente insectívoros en un principio, perdieron la capacidad de producir su propia vitamina C, por lo que se volvieron herbívoros obligatorios; es decir, dependientes de tejidos vegetales frescos. El *Homo erectus*, un homínido ya bípedo que surgió hace dos millones de años, nuestro antecesor directo, gradualmente empezó a incluir peces y la médula de huesos. La expansión de las sabanas y la contracción de los bosques obligó a *Homo erectus* a comer más semillas maduras, que suelen tener baja digestibilidad, mal sabor y a veces gran dureza; el dominio del fuego ocurrió en ese tiempo, lo que permitió al *Homo sapiens* cocer las semillas para hacerlas más digeribles, blandas y agradables; a partir de entonces las semillas fueron cobrando mayor importancia en la alimentación humana hasta que, hace unos 10 mil años, se estableció la agricultura y dichas semillas desplazaron a los tejidos vegetales frescos como base de la dieta.

La historia de la especie humana muestra la formación de civilizaciones en donde la alimentación sufrió modificaciones por el establecimiento de la agricultura, primero, y de la ganadería, después, que fue cuando empezaron a aparecer en forma significativa alimentos de origen animal, incluidas las mantecas, derivados de la leche, como las mantequillas, y también se descubrieron los aceites obtenidos mediante la compresión de ciertas semillas. Otras novedades alimentarias de los últimos milenios son el alcohol (bebidas fermentadas y recientemente las destiladas), el azúcar, la sal y, en los últimos dos siglos, la refinación y los aditivos industriales. Durante el presente siglo la tendencia de la dieta de las poblaciones urbanas ha sido aumentar el contenido de TG (triacilglicéridos) y almidones, y disminuir el de las fibras, lo que conduce a mayor densidad energética llevando a las poblaciones genéticamente predispuestas a enfermedades crónicas degenerativas, como la diabetes tipo 2, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, etcétera.

La nutrición humana se entiende como el conjunto de procesos biológicos, psicológicos y sociológicos involucrados en la obtención, asimilación y metabolismo de los nutrimentos por el organismo. La nutrición es fundamentalmente un proceso celular que ocurre en forma continua y está determinado por interacción de factores genéticos y ambientales.

El término dieta se refiere a todos los alimentos y platillos que se consumen en un día, independientemente de que en su conjunto sean o no adecuados; la diferencia la hace el adjetivo, dieta correcta o incorrecta, hipercalórica o hipocalórica, etc. Con respecto a los alimentos prohibidos o “chatarra”, aunque todos entran en algún grupo de alimentos, y por lo tanto contienen nutrimentos, se debe controlar su ingestión; se denominan así por tener un bajo contenido nutricional, y un exceso de grasas y carbohidratos. Algunos se deben evitar por completo, como los refrescos o gaseosas, con un contenido muy alto de azúcares; otro ejemplo son los tacos, tortas y tamales por el alto contenido de lípidos e hidratos de carbono; sin embargo, si se hace una equilibrada combinación con el resto de alimentos entonces dejan de ser “chatarra” y pasan a formar parte de una dieta correcta, la cual se caracteriza por ser completa, variada, equilibrada, inocua, adecuada y suficiente, en tanto que una dieta incorrecta es aquella que no cumple con al menos una de estas particularidades. En México, para crear entre la

población el hábito de una dieta correcta, la Secretaría de Salud (SSA) difundió “El Plato del Bien Comer” para dar una orientación alimentaria y una metodología para la elaboración de dietas personalizadas por el Sistema de Equivalentes, que surgió de la necesidad de ofrecer una herramienta didáctica sencilla para dar variedad a la dieta individual del paciente con diabetes mellitus. Actualmente, el Sistema de Equivalentes es un método útil para el diseño de planes de alimentación normales, medicados y personalizados, en especial para personas que necesitan controlar su ingesta energética y equilibrar la de nutrimentos para obtener un peso corporal saludable.

Los objetivos de la nutrición humana son:

- a) Aportar la energía necesaria para llevar a cabo todas las funciones biológicas.
- b) Formar y mantener estructuras, desde el nivel celular al máximo grado de composición corporal.
- c) Regular los procesos metabólicos para que todo se desarrolle de una manera armoniosa.

Ahora bien, el suministro de nutrimentos se debe dar en cantidades determinadas para obtener las siguientes finalidades:

- a) Evitar la deficiencia y exceso de nutrimentos.
- b) Mantener el peso adecuado.
- c) Impedir la aparición de enfermedades relacionadas con la nutrición.

Valoración de los beneficios de contar con la diversidad de alimentos mexicanos de alto aporte nutrimental

Para cumplir con estos objetivos, muchos países han diseñado una representación gráfica de los grupos de alimentos que debe consumir la población de acuerdo con las características propias de cada región. Por ejemplo, en India es una especie de pirámide en forma de escaleras con cuatro categorías; en Guatemala es una olla de barro con seis categorías; en Canadá es un abanico con cuatro categorías; en el caso de Estados Unidos, en 1992 se diseñó una pirámide que se ajustó en 2005. En México esta pirámide se utilizó por mucho tiempo y en algunos lugares continúa vigente, aunque no cumple con los requerimientos de la población mexicana; por esta razón, en 2002 un grupo de investigadores de la SSA publicaron el diseño de la imagen de los grupos de alimentos para México, al que se denominó “El Plato del Bien Comer”, que consiste en un plato con tres grupos de alimentos, un tenedor, un cuchillo y una cuchara, con el propósito de que sea entendible, atractivo y sobre todo representativo para las familias mexicanas (figura 1-7). Hasta 2002 la información presentada estaba bajo la norma oficial de la SSA proy NOM-SSA2-043-1999; en 2006

se publicó la norma oficial para “El Plato del Bien Comer” (Norma Oficial Mexicana NOM-43-SSA2-2005).

“El Plato del Bien Comer” es una representación gráfica elaborada de acuerdo con las características, costumbres y necesidades de la población de México como una guía para lograr una alimentación correcta. De los tres grupos (verduras y frutas, cereales, y leguminosas y alimentos de origen animal) no hay uno que sea más importante que otro, se necesitan los tres para obtener una dieta correcta. Las verduras y frutas son un grupo variado que contiene y aporta principalmente vitaminas, nutrimentos inorgánicos (iones y agua), proteínas e hidratos de carbono, y se deben consumir de preferencia crudas y con cáscara; se identifican por el color verde que indica “sigue” y la leyenda “muchas”, o sea, que pueden comerse sin limitaciones.

El segundo grupo, en amarillo, se muestra como indicador de precaución con la leyenda “suficientes”. En este grupo se encuentran tubérculos como papa, camote y yuca, y el maíz, trigo y avena. De preferencia hay que combinar los cereales y tubérculos, tortilla, arroz, pan, pastas, avena y galletas con leguminosas (frijoles, garbanzos o lentejas) para obtener proteínas de calidad, o sea, que contengan al menos los diez aminoácidos esenciales para formar las proteínas.

El tercer grupo se marca en color rojo como símbolo de “alto”, es decir que estos alimentos se deben consumir en baja cantidad. Las leguminosas –lenteja, haba, frijol, garbanzo y soya– y las oleaginosas –cacahuate, avellana, nuez, semilla de calabaza y girasol– están incluidas en este grupo. Los alimentos de origen animal tienen proteínas de calidad, pero con alto contenido en grasas saturadas y colesterol, razón por la cual deben comerse en poca cantidad; es preferible elegir pollo, pavo, pescado o carne magra (sin grasa) de res o de cerdo, asados o cocidos sin piel; el huevo y los lácteos también pueden combinarse.

Las recomendaciones para integrar una alimentación correcta, utilizando “El Plato del Bien Comer” como una herramienta en la orientación alimentaria, son las siguientes:

1. Incluir al menos un alimento de cada grupo en cada comida (desayuno, comida y cena).
2. Consumir gran variedad de alimentos, es decir, no limitarse a unos cuantos.
3. Comer de acuerdo con las necesidades y condiciones: ni de más ni de menos; un nutriólogo podrá indicar las cantidades que se requieren.
4. Consumir pocas grasas, azúcar y sal.



Figura 1-7. “El Plato del Bien Comer”. Fuente: NOM-043-SSA2-2005.

5. Beber agua pura en abundancia (dos litros en promedio) durante todo el día.
6. Procurar la máxima higiene al almacenar, preparar y consumir los alimentos.
7. Consumir bien cocidos los pescados y mariscos.
8. Acumular 30 minutos de actividad física al día.
9. Mantener un peso saludable, pues el exceso o la falta de él favorecen el desarrollo de problemas de salud.
10. Vigilar el crecimiento y desarrollo de los niños.
11. Evitar fumar.
12. Comer tranquilamente, disfrutando los alimentos en compañía, de preferencia con la familia.

Nutrimientos en los alimentos

Los nutrimentos se dividen en: orgánicos (carbohidratos, lípidos, proteínas y vitaminas) e inorgánicos (minerales o iones y agua).

Los carbohidratos forman gran parte de la dieta del ser humano, en la que deben cubrir del 60 al 63% del total de la energía; se conocen también como glúcidos y tienen la fórmula general $C_n(H_2O)_n$. Los carbohidratos más simples son los monosacáridos, que de acuerdo con el número de carbonos se clasifican en triosas, tetraosas, pentosas y hexosas; la unión de dos de estas unidades básicas da lugar a los disacáridos, si son más de tres y hasta diez unidades son oligosacáridos, y los polisacáridos son más de diez.

La glucosa es un carbohidrato importante porque es la primera fuente de energía para muchas de las células de nuestro cuerpo, principalmente las neuronas, por lo que si se dejan de ingerir puede provocar daño al cerebro, que en casos extremos es irreversible.

Los carbohidratos son la primera fuente de energía y aportan 4 Kcal/g. Antes del destete, la lactosa es el disacárido más importante; después del destete la dieta se compone de numerosos alimentos que contienen una variedad de carbohidratos de los cuales los almidones, la sacarosa, las fibras y a veces, en mucho menor cantidad, la lactosa, la maltosa, la glucosa y la fructosa libre están presentes; por supuesto, la dieta también contiene inositol y vitamina C (tabla 1-1).

Los carbohidratos participan en diferentes funciones; la glucosa es, por mucho, el principal sustrato energético del organismo, por lo tanto, la demanda de glucosa es elevada y virtualmente continua, aunque la mayoría de los tejidos pueden usar fuentes alternativas de energía; las neuronas y plaquetas no pueden hacerlo y su supervivencia depende de la presencia de este monosacárido. El excedente de glucosa no oxidada se puede guardar como glicógeno en el músculo y en el hígado o convertirse en ácidos grasos (AG) y guardarse como triglicéridos (TG) en el tejido adiposo. Por otra parte, las tres hexosas forman parte de las glucoproteínas que tienen funciones estructurales o enzimáticas, y de los glucolípidos con funciones catalíticas; el glicerol forma parte de los TG y de los fosfolípidos de las membranas celulares; la ribosa y la desoxirribosa son parte estructural del RNA (ácido ribonucleico) y del

Tabla 1-1. Carbohidratos y sustancias relacionadas con la nutrición humana.

Hidrato de carbono	Moléculas	Unidades	Ejemplos de alimentos
Monosacáridos (y similares)	Hexosas	Glucosa, fructosa y galactosa	Frutas y verduras
	Pentosas	Ribosa y desoxirribosa	Todas las células de los alimentos
	Triosas	Glicerol	Aceites
	Inositol (polialcohol cíclico de seis átomos de carbono)		
	Ácido ascórbico (vitamina C)		Frutas y verduras
Disacáridos	Sacarosa o azúcar de mesa	Glucosa-fructosa	Postres
	Lactosa o azúcar de la leche	Galactosa-glucosa	Leche de vaca
	Maltosa o azúcar de malta	Glucosa-glucosa	Cerveza
Polisacáridos	Almidones	Glucosa-glucosa	Cereales y tubérculos
	Fibras	Celulosa, hemicelulosa, mucílagos, pectina	Frutas y verduras
	Glucógeno	Glucosa-glucosa	Carnes e hígado

Fuente: Tomado y modificado de H. Bourges, 2000. El inositol y el ácido ascórbico son moléculas parecidas a los carbohidratos.

DNA (ácido desoxirribonucleico), respectivamente; la vitamina C tiene funciones catalíticas (reductor fácilmente regenerable, antioxidante e interviene en la absorción intestinal del hierro y en numerosas reacciones catalizadas por metaloenzimas).

Los nutrimentos de naturaleza lipídica (ácidos grasos, esteroides, carotenos, retinoides, tocoferoles y quinonas) tienen numerosas y complejas funciones importantes en la dieta del ser humano (figura 1-8).

Los AG (ácidos grasos) son ácidos orgánicos lineales que tienen como fórmula general $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$. Los diferentes AG se pueden clasificar en AG de cadena corta, mediana y muy larga; y por su grado de saturación se les divide en saturados e insaturados, y a estos últimos en monoinsaturados y poliinsaturados (tabla 1-2).

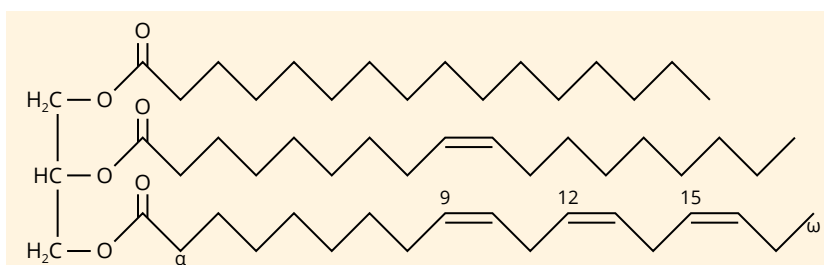


Figura 1-8. Triglicérido no saturado. Formado por un glicerol, en la parte superior un ácido palmítico, al centro un ácido oleico y al fondo un ácido linoleico.

Tabla 1-2. Ácidos grasos (AG) relacionados con la dieta humana.

Ácido	Ejemplos	Características
Ácidos grasos saturados (AGS)	<ul style="list-style-type: none"> • Palmítico (*C16) • Esteárico(*C18) • Láurico (*C12) 	<ul style="list-style-type: none"> • Son sustratos energéticos. • Al ácido palmítico y al láurico se les ha atribuido efecto aterogénico.
Ácidos grasos insaturados(AGI)	Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) <ul style="list-style-type: none"> • Palmitoleico (*C18 n-7) • Oleico (*C18 n-9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Forman parte de los fosfolípidos de las membranas celulares. • Al ácido oleico se le ha atribuido efecto protector contra la aterosclerosis.
	Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) <ul style="list-style-type: none"> • Familia del ácido linoleico (*C18; n-9, n-6) • Familia del ácido linolénico (*C18 n-9, n-6, n-3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden excluir de la dieta, ya que el organismo no los puede sintetizar.

Fuente: H. Bourges, 2000.

*C se refiere al número de carbonos y n al carbón o carbones en donde se encuentra el doble enlace.

Los ácidos grasos trans se generan cuando los alimentos con alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados son sometidos a procesos de hidrogenación, como el caso del proceso de elaboración de la margarina.

Los esteroides son lípidos cíclicos derivados del ciclo pentanoperhidrofentantreno, entre los que figuran el colesterol y las vitaminas D2 y D3. Los carotenos y retinoides son pigmentos vegetales precursores de la vitamina A, y los tocoferoles y quinonas conforman la vitamina E.

Gran parte de las funciones atribuidas a los lípidos dependen de los ácidos grasos presentes en la dieta, necesarios para el transporte y absorción de las vitaminas liposolubles (A, D, E y K). En el organismo los lípidos son depósitos de energía de reserva (tejido adiposo), así como un elemento protector de órganos torácicos y abdominales que celularmente forman parte de las estructuras de las membranas celulares; el colesterol es precursor de importantes compuestos biológicos, como los ácidos biliares, hormonas esteroideas y vitamina D. El aporte energético de los lípidos es de 9 Kcal/g.

Las proteínas son sustancias orgánicas compuestas de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; este último es el responsable de que en su degradación se formen compuestos como la urea. Las proteínas están compuestas por aminoácidos encadenados por enlaces peptídicos (**figura 1-9**); cuando el número de aminoácidos unidos entre sí no supera los diez tenemos un oligopéptido y polipéptido; el término proteína se reserva para los casos en que la molécula contiene más de un centenar de aminoácidos.

Los aminoácidos se dividen en indispensables (cuando el organismo no los puede producir) y dispensables (cuando el organismo los puede producir y no es necesario consumirlos en la dieta). Se dice que una proteína de calidad es aquella que contiene todos los aminoácidos indispensables (**tabla 1-3**).

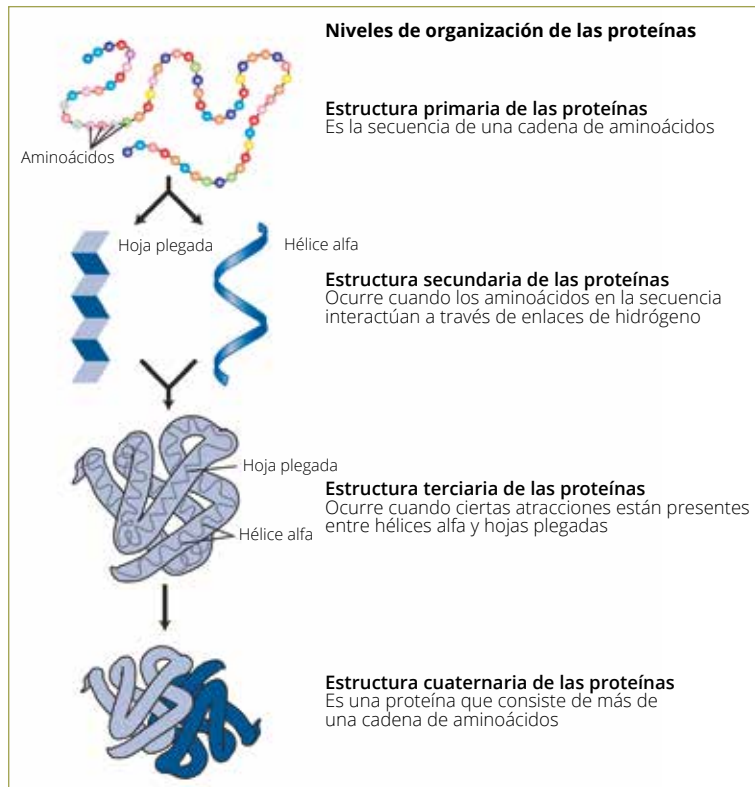


Figura 1-9. Las proteínas están compuestas de aminoácidos y su secuencia y plegamiento dan lugar a cuatro diferentes tipos de estructura. Cortesía: National Human Genome Research Institute, www.genome.gov.

Tabla 1-3. Relación de aminoácidos y las abreviaturas correspondientes.

Aminoácido	Abreviatura de tres letras	Abreviatura de una letra
Alanina	Ala	A
Arginina	Arg	R
Aspargina	Asn	N
Ácido aspártico	Asp	D
Cisteína	Cis (Cys)	C
Acido glutámico	Glu	E
Glutamina	Gln	Q
Glicina	Gli (Gly)	G
Histidina	His	H
Isoleucina	Ile	I
Leucina	Leu	L
Lisina	Lis (Lys)	K
Metionina	Met	M
Fenilalanina	Fen (Phe)	F
Prolina	Pro	P
Serina	Ser	S
Treonina	Tre (Thr)	T
Triptófano	Trp	W
Tirosina	Tir (Tyr)	Y
Valina	Val	V

Nota: Los aminoácidos en negritas son indispensables.

Muchos aminoácidos, además de formar proteínas, tienen otras funciones específicas, como ser precursores de algunos neurotransmisores (ácido glutámico, triptófano), son antioxidantes (cisteína), etcétera.

Las proteínas tienen diferentes funciones: estructural o plástica (colágeno), reguladora (hormonas y anticuerpos), defensiva (anticuerpos/inmunoglobulinas, fibrinógeno y trombina) y de transporte (la albúmina transporta ácidos grasos libres y la hemoglobina transporta oxígeno, etcétera).

Cuando el aporte de carbohidratos y de lípidos no es suficiente para cubrir las necesidades energéticas, los aminoácidos de las proteínas son oxidados para la obtención de energía, que es de 4 Kcal/g.

Las vitaminas son compuestos orgánicos indispensables que pueden ser liposolubles y se pueden almacenar en el organismo (A, D, K, E), por lo que no se requiere de una ingesta diaria. Las hidrosolubles B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B5 (ácido pantoténico), B6 (piridoxina), B8 (biotina), B9 (ácido fólico), B12 (cobalamina) y C (ácido ascórbico) no se almacenan en el organismo, por lo que se excretan por la orina, a excepción de la B12 que se acumula en el hígado. Cada vitamina tiene una función específica, pero en general se puede decir que son fundamentales en la regulación de los procesos metabólicos, actuando como coenzimas asociadas a las enzimas correspondientes.

Los iones o minerales se necesitan en cantidades muy pequeñas pero son indispensables para el organismo, por lo que tienen que ser incluidos en la dieta; entre ellos se encuentran: azufre, calcio, fósforo, magnesio, potasio y sodio. Los elementos traza son igualmente necesarios, pero en cantidades aún menores, como zinc, cobalto, cobre, cromo, flúor, hierro, manganeso, molibdeno, yodo y selenio. Los minerales desempeñan las siguientes funciones: intervienen en la regulación enzimática de los procesos metabólicos como cofactores; intervienen en el equilibrio ácido-base y en su osmolaridad; desempeñan un papel muy importante en el funcionamiento del sistema nervioso y muscular; y facilitan el transporte a través de las membranas celulares y algunos son estructurales como el calcio en los dientes y huesos.

El agua constituye el medio acuoso de disolución de todos los líquidos corporales, así como secreciones y excreciones (sangre, linfa, secreciones digestivas, heces y orina), posibilita el transporte de nutrimentos a las células, así como el de sustancias de desecho desde esas células y ayuda al proceso digestivo, no sólo permitiendo la disolución de los distintos nutrimentos contenidos en los alimentos, sino también la digestión de los mismos a través del proceso de hidrólisis y contribuye a la regulación de la temperatura mediante la evaporación a través de la piel. El agua no constituye una fuente energética, pues no puede ser oxidada por el organismo, hecho que desmiente la creencia de algunas personas de que el agua engorda o adelgaza. La ingesta excesiva de agua conduce a la pérdida de una cantidad de agua extra por vía renal, produciendo orina abundante o diluida pero con cantidades considerables de iones y vitaminas hidrosolubles, lo que tendrá consecuencias en el funcionamiento integral del cuerpo. Por otro lado, la ingesta deficiente de agua en el organismo produce menos orina pero más concentrada; naturalmente este fenómeno ahorrador de agua tiene un límite y, por

lo tanto, a ingestas muy bajas de agua se produce una deshidratación de mayor o menor gravedad; la recomendación de ingesta de agua diaria es de 1 mL/Kcal.

La importancia de la dieta correcta para mantener la salud

Cuando en una población hay problemas nutricionales se debe a la ausencia de una dieta correcta en sus habitantes con ciertas características genéticas, lo que lleva a que las personas presenten diferentes problemas de salud como desnutrición, sobrepeso y obesidad, diabetes mellitus, hipertensión, infartos cerebrales y cardíacos.

Actualmente uno de los problemas más graves en México es la desnutrición y la obesidad, y sus consecuencias han ido en aumento. La desnutrición es un estado patológico, inespecífico, sistémico y potencialmente reversible que se origina como resultado de la deficiente incorporación de nutrimentos a las células del organismo y se presenta con diferentes grados de intensidad. Además de los aspectos fisiológicos, la desnutrición se asocia con muchos otros factores interrelacionados entre sí de índole social, política económica, ambiental y cultural.

La obesidad es una enfermedad crónica de etiología multifactorial que se desarrolla a partir de la interacción de factores sociales, conductuales, psicológicos, metabólicos y celulares. En términos generales se define como el exceso de grasa (tejido adiposo) en relación con el peso; esto lleva a que personas con obesidad estén expuestas a una alta probabilidad de adquirir enfermedades crónicas degenerativas, como la diabetes mellitus, que es un síndrome complejo que afecta el metabolismo de hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Desde que se describió por primera vez esta enfermedad ha estado relacionada fuertemente con la alimentación, y aunque a lo largo del tiempo las recomendaciones dietéticas han sufrido una notable variación, el tratamiento nutricional siempre ha sido un elemento fundamental en su tratamiento.

Por otro lado, cada vez es más frecuente que en adolescentes y niños, principalmente, se presenten alteraciones en la conducta relacionadas con la alimentación, como la anorexia (falta de apetito), la bulimia (atracones de comida intercalado con provocación de vómito), comedor compulsivo (atracones de comida seguido de un sentimiento de culpa), la ortorexia (obsesión por los alimentos saludables/orgánicos) y la vigorexia (obsesión por el ejercicio para tener un cuerpo perfecto).

Una alternativa para evitar las consecuencias de estas condiciones de salud y con la finalidad de tener una buena calidad de vida se encuentra la actividad física, ya que mejora la salud y previene riesgos en diferentes formas:

- a) Reduce el riesgo de desarrollar o de morir de enfermedad coronaria, de diabetes mellitus tipo 2, de hipertensión y de cáncer de colón.
- b) Reduce los síntomas de ansiedad y depresión.

- c) Contribuye al mantenimiento y desarrollo de huesos, articulaciones y músculos sanos.
- d) Ayuda en el control de peso.
- e) Estimula a los adultos de la tercera edad a mantener una vida independiente y a prevenir caídas y fracturas.

En México la Secretaría de Salud, en coordinación con diferentes instituciones de los sectores salud y educación, han desarrollado el programa “Deporte para la salud” con propósitos preventivos y de promoción, ya que la actividad física, en todas las edades, debe ser central en los programas de fomento de la salud y de prevención de riesgos, junto con una dieta saludable.

2 | Respiración

La respiración aerobia evolucionó después de que las cianobacterias empezaron el proceso de fotosíntesis y, por lo tanto, la producción de oxígeno, hace aproximadamente 2 500 millones de años.

Introducción

Como se mencionó en el capítulo anterior, los nutrientes son sustancias que se obtienen de la dieta y que, entre otras necesidades, satisfacen la de obtención de energía. La respiración es la función que, mediante la oxidación de los nutrientes contenidos en los alimentos, produce una molécula rica en energía, el ATP, que es indispensable para impulsar las diversas actividades celulares (figura 2-1). Todos los organismos obtenemos nuestra energía metabólica de la respiración; sin embargo, usaremos al ser humano para ejemplificar el proceso y su relación con el sistema circulatorio, sin olvidar, por supuesto, la nutrición.

Desde el momento de la concepción humana las células comienzan a respirar, porque aunque los pequeños pulmones en desarrollo no son funcionales, la madre proporciona el oxígeno necesario para todas las células del bebé a través del cordón umbilical. Al nacer, los pulmones se llenan de aire y comienzan los mecanismos de inhalación y exhalación que nos acompañarán a lo largo de nuestra vida; es posible sobrevivir sin agua durante unos cuantos días y algunas semanas sin alimento, pero no es posible sobrevivir más que algunos minutos sin respirar.

Al hablar de respiración hay que distinguir entre el nivel macro y el micro, pues una cosa son los mecanismos que usan los seres vivos para hacer llegar el oxígeno a las células y expulsar el bióxido de carbono, intercambio gaseoso, y otra cosa es lo que sucede a nivel celular. En la respiración hacemos un símil con lo que acontece al quemar azúcar o papel, que es un fenómeno de combustión en el que se obtiene bióxido de carbono, agua y calor; pero los seres vivos aprovechamos la energía del azúcar de manera óptima: los organismos no se calientan como se calienta un objeto que se quema; en lugar de ello se forma ATP (adenosín

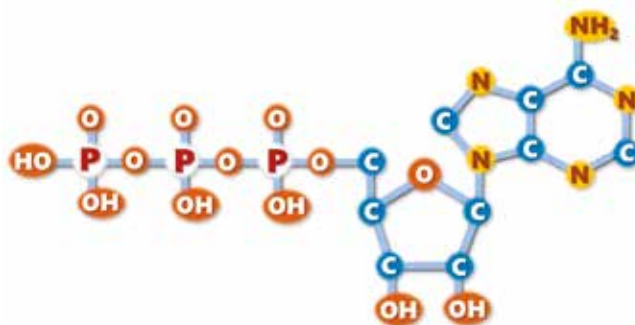


Figura 2-1.
Molécula de ATP.

trifosfato), una sustancia rica en energía que se utiliza para hacer todo el trabajo celular.

Existen dos moléculas de gran importancia para el mantenimiento de la vida: O_2 y CO_2 , oxígeno y dióxido de carbono, respectivamente. Ambos gases están estrechamente relacionados, pues el oxígeno es producido principalmente por la actividad fotosintetizadora de plantas, algas y algunas bacterias. Este gas es removido de la atmósfera por la actividad respiratoria de los organismos aerobios y por la acción oxidante que ejerce sobre diversos compuestos; por ejemplo, sobre los minerales. El dióxido de carbono que se forma como subproducto de la respiración es utilizado por los organismos que contienen clorofila para sintetizar azúcares durante la fotosíntesis, y con esto se cierra el ciclo biogeoquímico del oxígeno-dióxido de carbono.

De lo anterior se deduce que el mantenimiento de la mayor parte de los seres vivos se debe en gran parte al equilibrio entre estos dos gases. El sistema encargado de su transporte en los animales recibe el nombre genérico de sistema respiratorio, el cual les resuelve a los organismos aerobios, es decir, a la mayoría de los seres vivos, el problema de introducir el oxígeno en sus cuerpos y sacar el dióxido de carbono. No olvidemos que las plantas, además de utilizar el dióxido de carbono para efectuar la fotosíntesis, también respiran, es decir, utilizan el oxígeno.

En los organismos unicelulares o pluricelulares pequeños el problema de la obtención de oxígeno se resuelve fácilmente mediante la difusión de este gas. Pero en el caso de organismos complejos, la entrada de oxígeno requiere forzadamente de la existencia de un sistema circulatorio que permita que todas y cada una de las células obtenga el preciado gas y pueda desalojar con celeridad el dióxido de carbono.

Antes de estudiar el sistema respiratorio humano es importante recordar las características generales de los sistemas circulatorios cerrados, como el de los vertebrados. Se necesita primero un órgano propulsor –un corazón– que impulse la sangre, un sistema arterial que distribuya la sangre oxigenada por todo el cuerpo, un sistema capilar que transfiera directamente los materiales de y hacia los tejidos, y finalmente un sistema venoso que regrese la sangre al corazón.

En las distintas clases de vertebrados el corazón no es igual: los peces tienen un corazón con cuatro cavidades en serie, es decir, una después de la otra; los anfibios, como las ranas, poseen dos aurículas y un solo ventrículo; las tortugas, serpientes y lagartijas tienen dos aurículas y un ventrículo parcialmente dividido, y los cocodrilos lo tienen completamente dividido; mientras que las aves y los mamíferos tienen cuatro cavidades perfectamente separadas.

El corazón, vasos y sangre constituyen el sistema cardiovascular, en tanto que el sistema linfático está constituido por vasos, nódulos linfáticos y linfa. Ambos sistemas constituyen el medio ideal para transportar sustancias nutritivas, oxígeno, dióxido de carbono, hormonas y sustancias de desecho; además contribuyen a mantener la temperatura corporal estable y juegan un importante papel al defender al organismo de la acción de agentes infecciosos.

Como se ha mencionado, el centro de este sistema es el corazón –que en los mamíferos y aves tiene cuatro cavidades–, cuya función es la de bombear la san-

gre a través de una complicada red cerrada de arterias y venas que se distribuyen por todo el cuerpo. Este órgano empieza a latir muy temprano en el embrión y deja de hacerlo en el momento de la muerte.

El corazón está conectado al circuito pulmonar donde la sangre se oxigena y deja salir el dióxido de carbono resultado de la respiración, y también al circuito sistémico que, como su nombre lo indica, lleva la sangre al resto de los sistemas corporales. La sangre bombeada por el corazón se transporta mediante un complejo sistema de vasos que se denominan venas y arterias. Las arterias transportan la sangre que se oxigenó en los pulmones; las arterias se ramifican constantemente a lo largo del cuerpo hasta formar delgadísimos vasos llamados capilares arteriales, cuyas paredes, formadas por una sola capa de células, permiten la difusión de gases y de nutrientes. Los capilares arteriales se comunican directamente con los capilares venosos que poco a poco confluyen en vasos cada vez más gruesos, hasta llegar a formar las grandes venas que llegan al corazón (figura 2-2).

El movimiento de la sangre se efectúa de manera eficiente gracias a los siguientes mecanismos:

- Contracción de los músculos del corazón.
- Presencia de tejido elástico en las paredes arteriales.
- Movimientos del cuerpo que oprimen constantemente los vasos sanguíneos, impulsando el fluido sanguíneo.
- Contracciones peristálticas de los músculos lisos que rodean a los vasos.

La sangre es un tejido, pero uno muy particular, pues sus células no están unidas como en todos los demás tejidos. La sustancia que se encuentra entre las células es líquida y se denomina plasma sanguíneo, las células que lo forman son los eritrocitos o células rojas, los leucocitos o células blancas y las plaquetas.

Los eritrocitos juegan un papel fundamental en el proceso de la respiración; los eritrocitos se forman en la médula ósea y cuando pasan al torrente sanguíneo ya no llevan núcleo, se han convertido prácticamente en pequeñas bolsas repletas de una proteína maravillosa: la hemoglobina. Cuando la sangre se encuentra en los capilares que rodean a los alvéolos pulmonares, el oxígeno se difunde uniéndose a la hemoglobina (figura 2-3).

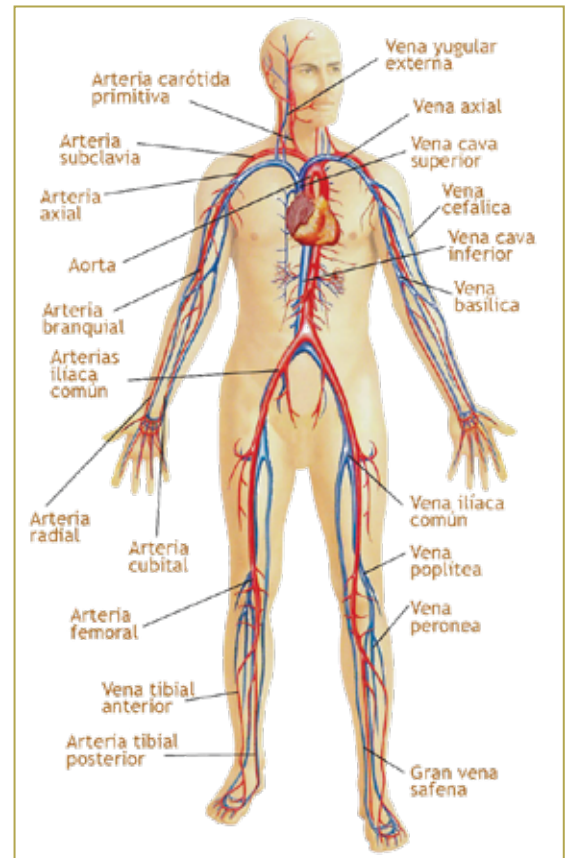


Figura 2-2. Circulación sanguínea en el cuerpo.
Fuente: wikipedia.com

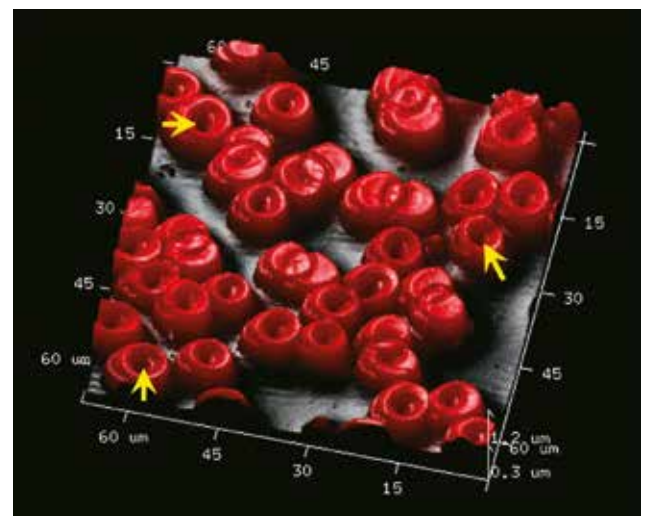


Figura 2-3. Eritrocitos con el microscopio de fuerza atómica.

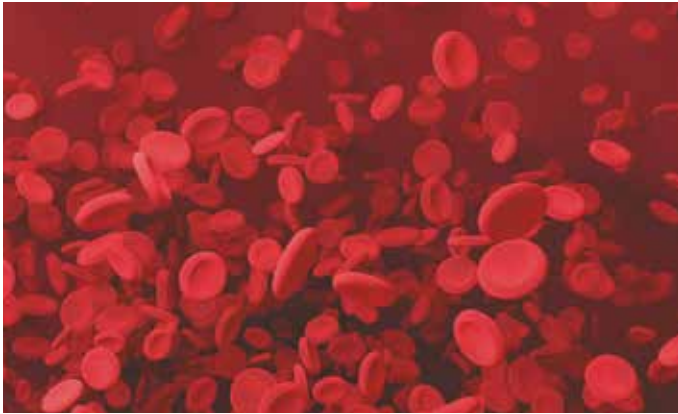


Figura 2-4.

Los glóbulos rojos contienen cientos de miles de moléculas de hemoglobina que transportan oxígeno.

Fuente: nutricion1.com

De esta manera, transportado por el sistema cardiovascular, el oxígeno llega a todas las células de nuestro cuerpo. El 98% del oxígeno se transporta por la hemoglobina, y el resto se disuelve en el plasma. Una pequeña parte del dióxido de carbono que resulta de la respiración es transportado por esta proteína, mientras que la mayor parte se disuelve en el plasma en forma de bicarbonato.

Por lo tanto, la sangre juega un importante papel al llevar el oxígeno de los pulmones a las células y al transportar el dióxido de carbono

de las células a los pulmones. A continuación se relaciona lo anterior con el sistema respiratorio, para explicar de qué manera interviene en el intercambio gaseoso y cuál es la relación que tiene con el sistema cardiovascular.

El sistema respiratorio participa en la respiración externa y la respiración interna. La primera se refiere al intercambio de gases que se lleva a nivel de los pulmones entre el aire y la sangre; la segunda tiene relación con el intercambio de gases que se efectúa entre las células del cuerpo y la sangre que se encuentra en los capilares.

Finalmente, cuando el oxígeno llega a las células tiene lugar el proceso más importante: la respiración celular, que consiste básicamente en utilizar la energía que se encuentra en los compuestos del carbono, como los azúcares, para transferirla a la molécula energética por excelencia: el ATP, sin la cual es imposible efectuar, por ejemplo, el transporte de sustancias a través de la membrana celular, la contracción muscular o la elaboración de distintos compuestos celulares.

Empecemos por analizar la respiración externa. En el caso de los vertebrados que respiran fuera del agua, como es el caso de los mamíferos, el pulmón es el órgano adaptado para hacer el intercambio de gases entre la atmósfera y la sangre.

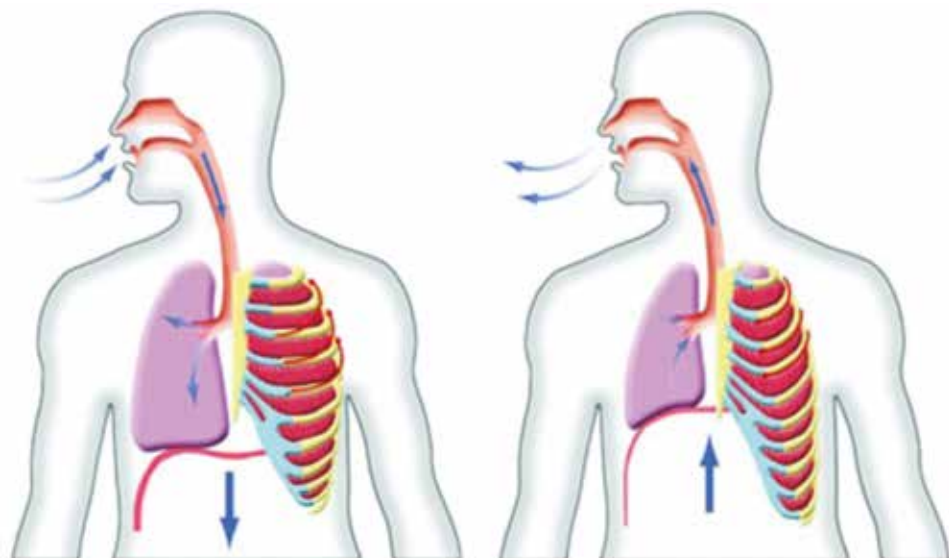


Figura 2-5.

En la respiración externa los pulmones permiten realizar el intercambio de gases.

Fuente: frases333.com

Los pulmones están colocados en la cavidad torácica que se encuentra rodeada por las costillas y separada del abdomen por el diafragma. Toda la cavidad y las dos secciones de que consta el pulmón están rodeadas por la pleura, que secreta un fluido acuoso que evita la fricción de este órgano cuando se expande.

El sistema respiratorio está subdividido en dos porciones: la que conduce el aire y la que está comprometida con el intercambio gaseoso. La primera está constituida por la tráquea, que es un grueso tubo que tiene un armazón formado por cartílago que evita que se colapse; este tubo se divide en dos bronquios, que se van dividiendo en tubos cada vez más delgados: bronquiolos, bronquiolos terminales y bronquiolos respiratorios (figura 2-6).

Esos tubos desembocan en millones de sacos interconectados llamados alvéolos, que se encuentran rodeados por numerosos capilares arteriales y venosos. Los bronquiolos terminales, los respiratorios y los alvéolos constituyen la porción respiratoria del pulmón (figura 2-7).

Los pulmones tienen dos características adaptativas muy importantes: ciertas células de los alvéolos producen una sustancia surfactante que disminuye la tensión superficial del agua que las rodea, y sin esta sustancia los pulmones no podrían expandirse adecuadamente; además, hay una producción abundante de moco que retiene las partículas de polvo y microorganismos que constantemente inhalamos. El moco se desaloja gracias al movimiento de los cilios de las células que recubren los pasajes aéreos; el movimiento ininterrumpido de estos organelos conduce las partículas extrañas hacia la faringe, donde son deglutidos.

El aire entra por la nariz o por la boca, sigue por la faringe, que es una región en forma de embudo, y se une con la laringe en la que se encuentran dos pliegues de tejido, las cuerdas vocales, que son las que permiten la emisión de todo tipo de sonidos. La laringe desemboca en la tráquea; la epiglotis evita que el alimento entre a la laringe y a la tráquea, pero cuando accidentalmente pasa algo de comida, una tos convulsiva tratará de expulsar el cuerpo extraño (figura 2-8).

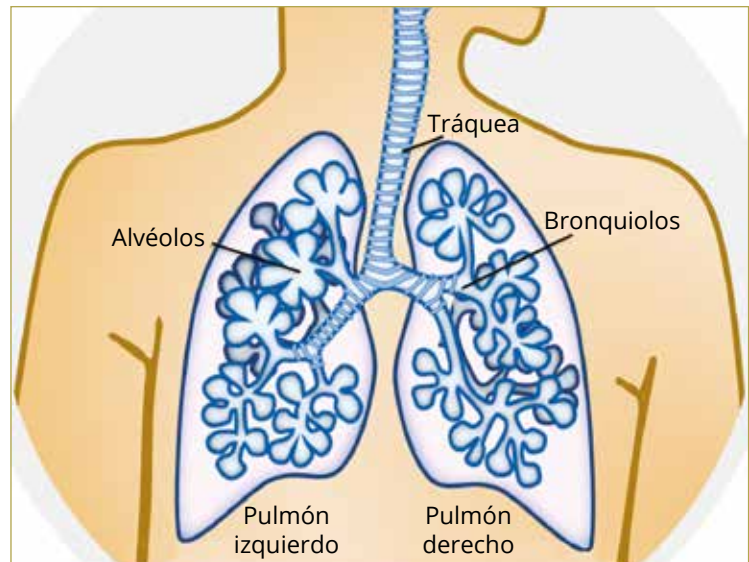


Figura 2-6. Tráquea, bronquios y bronquiolos.

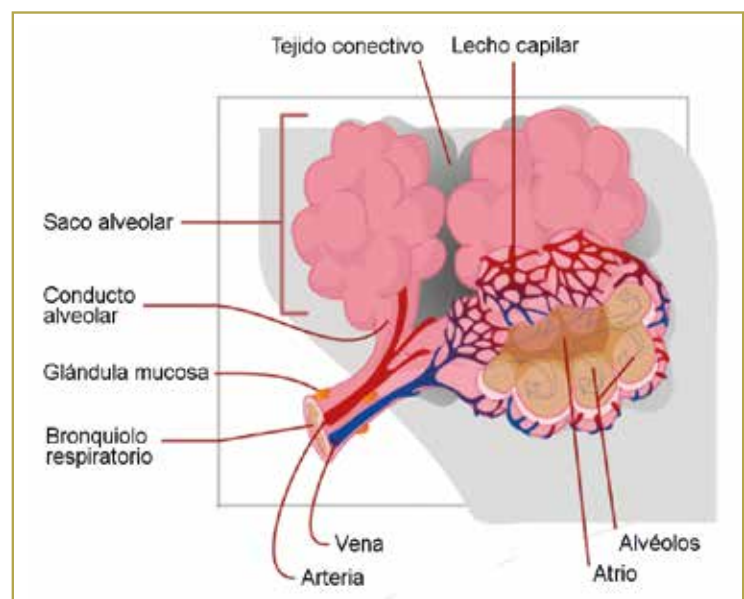


Figura 2-7. Alvéolos pulmonares. Fuente: wikipedia.org

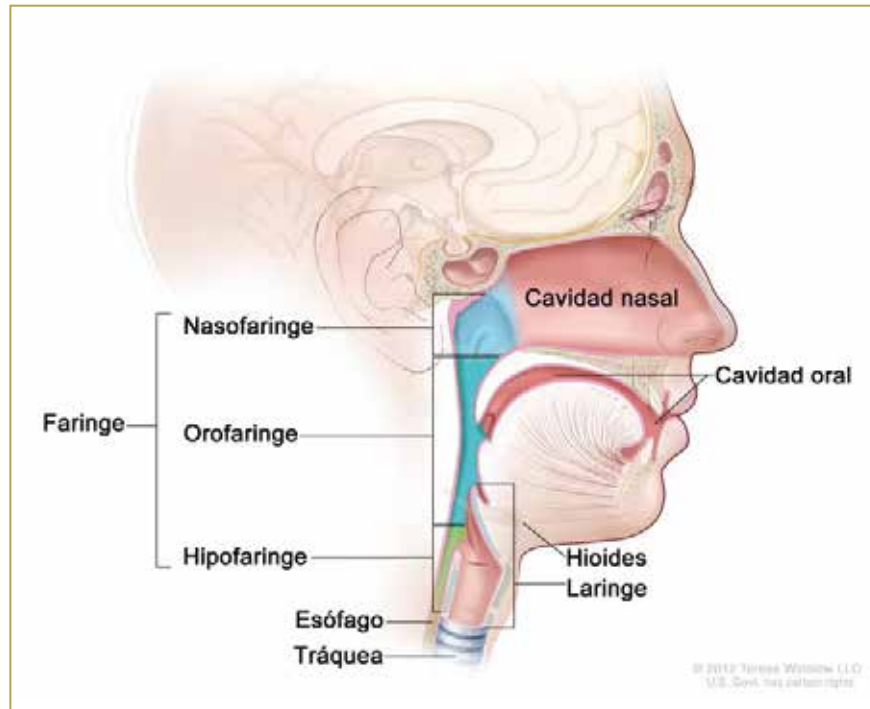


Figura 2-8. Cavidades nasal, laringe y tráquea. Fuente: informacionimagenes.net

Mecánica de la respiración externa: inhalación y exhalación

Los pulmones son órganos sumamente elásticos que se encuentran suspendidos en la cavidad torácica, limitada por las costillas y separada del abdomen por un importante músculo: el diafragma. La pared de la cavidad torácica y los pulmones se encuentran recubiertos por la pleura. Cuando los pulmones se extraen del cuerpo su volumen es mucho menor del que presentan normalmente; por esta razón, cuando se punciona la cavidad torácica los pulmones se colapsan, condición que se denomina neumotórax.

Durante la inhalación la caja torácica se expande gracias a la acción, por una parte, de los músculos intercostales que elevan las costillas, y por la otra, por el diafragma que baja al contraerse. Podemos comprobar lo anterior de manera inmediata: nos ponemos de pie, colocamos una mano sobre el pecho e inhalamos profundamente, al hacer esto disminuimos la presión que hay en los pulmones, por lo que el aire penetra fácilmente al interior de nuestro cuerpo. La exhalación, a diferencia de la inhalación, es un proceso pasivo; es decir, no involucra contracción muscular. Tratemos de sostener el aire dentro de los pulmones pero después de un rato, involuntariamente, el aire saldrá de manera espontánea.

Respiración interna

Como se mencionó, el intercambio gaseoso tiene lugar en los alvéolos. Estos pequeños sacos están formados por una sola capa de células que se ponen en

contacto con la única capa de células de los capilares, lo que favorece la difusión rápida del oxígeno y del dióxido de carbono. Ahora recordemos lo que se analizó cuando examinamos el sistema cardiovascular: la sangre sin oxígeno –es decir, cargada de dióxido de carbono– que llega al corazón procedente de todo el cuerpo, es conducida a los pulmones por las arterias pulmonares. A nivel de los alvéolos el dióxido de carbono disuelto en el plasma se difunde hacia su interior, mientras que el oxígeno sigue el camino opuesto para fijarse en la hemoglobina de los eritrocitos.

Una estimación de la capacidad cardiovascular de una persona se puede determinar mediante su pulso cardiaco y la tasa de respiración, medida antes y después de hacer un ejercicio aeróbico. Usualmente, una persona que tiene mayor capacidad presenta un pulso más lento y una tasa de respiración más baja después del ejercicio, y su pulso cardiaco retorna a la normalidad más rápidamente en comparación con lo que ocurre con una persona que tiene una menor capacidad.

Análisis de algunas causas de las enfermedades respiratorias más comunes como influenza y resfriados, e identificación de las medidas de prevención

El sistema respiratorio es muy susceptible a infecciones virales y bacterianas. Entre las más importantes se encuentran la influenza y los resfriados producidos por virus.

La influenza es provocada por un virus (figura 2.9) que tiene gran capacidad para mutar rápidamente; entre otros síntomas, esta enfermedad se caracteriza por fiebre alta, dolor agudo de cabeza y músculos, debilidad general y tos seca. Una influenza suele durar de 10 a 14 días, antes de que pueda ser eliminada por el sistema inmune.

Los resfriados se diferencian de la gripe o influenza en que rara vez hay fiebre, y el dolor de cabeza y el malestar general son bastante leves. Se caracterizan por estornudos frecuentes, y flujo nasal acuoso y abundante; los resfriados son causados por 200 tipos diferentes de virus.

Ambas dolencias no pueden ser tratadas con antibióticos. Para la influenza los médicos prescriben antivirales y medicamentos para reducir los síntomas; se recomienda el reposo en cama y la ingestión abundante de líquidos calientes para reducir la sensación de congestión. En el caso de los resfriados se recomienda igualmente el reposo, tomar muchos líquidos y medicamentos que reduzcan los síntomas.

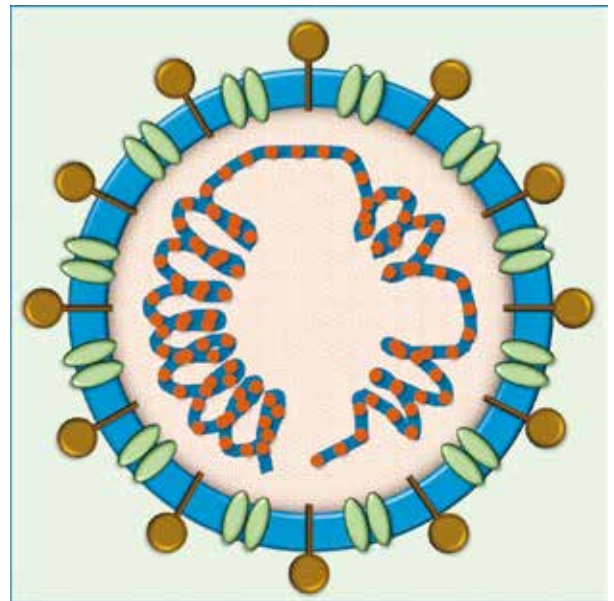


Figura 2.9.
Virus de la influenza.

Como medidas de prevención se recomienda evitar los lugares concurridos cuando hay epidemias de estas enfermedades, lavarse repetidamente las manos y el uso de mascarillas. Además, para el caso de la influenza es recomendable la vacunación anual, sobre todo en el caso de los niños y las personas de edad avanzada.

Tabaquismo

La inhalación de tabaco es la causa principal de cáncer en el pulmón. Los fumadores tienen de 11 a 25 veces más probabilidad de desarrollar cáncer de pulmón que los no fumadores; desafortunadamente está presente el riesgo para los fumadores “pasivos” que involuntariamente inhalan el humo de los cigarrillos que consumen otras personas.

El humo de los cigarrillos produce también Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) que incluye enfisema, bronquitis y alto riesgo de accidentes vasculares debido al deterioro progresivo de las paredes alveolares que, a su vez, conduce a la pérdida paulatina de la función pulmonar.

En general, las personas fumadoras son más susceptibles de padecer resfriados y otras infecciones respiratorias. Los niños cuyas familias son fumadoras se enferman más frecuentemente de las vías respiratorias que los niños de padres no fumadores. Además, se ha demostrado que las madres fumadoras dan a luz hijos con menos peso que las madres que no fuman.

El humo del tabaco contiene numerosas sustancias, como el dióxido de azufre, que paraliza los cilios del recubrimiento del sistema respiratorio; las partículas de carbono, que también se producen, se adhieren fuertemente a las paredes de las diferentes partes del sistema, propiciando el desarrollo de cáncer; el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, por su parte, se convierten respectivamente en ácido nítrico y ácido sulfúrico, provocando el enfisema; por otra parte, el monóxido de carbono es el responsable de los ataques de angina.

Algunas adaptaciones en la respiración de los seres vivos

El intercambio gaseoso es parte fundamental de los procesos vitales. Hay diversas soluciones para asegurar el aporte necesario de oxígeno y el subsecuente desalojo del bióxido de carbono. En los organismos unicelulares el problema se resuelve por simple difusión de ambos gases; lo mismo sucede con animales como las esponjas, cnidarios y gusanos planos, cuyo cuerpo se encuentra en contacto casi directo con el agua, lo que facilita la difusión de los gases en ambos sentidos.

Por otro lado, los organismos voluminosos presentan diversas estrategias adaptativas, como el uso de toda la piel como órgano respiratorio, como el caso de la lombriz de tierra (figura 2-10), que requiere de una cubierta húmeda que

facilite el intercambio de gases; lo mismo sucede con los anfibios que viven en el agua o en sitios muy húmedos.

Para facilitar el intercambio gaseoso, algunas especies recurren al aumento de la superficie de su sistema respiratorio, y las branquias, tráqueas y pulmones son ejemplo de este tipo de solución.

Las branquias son características de animales acuáticos, como las almejas o crustáceos. Debido a que la concentración del oxígeno en el agua es menor que la del aire, las branquias necesitan tener un eficiente sistema de ventilación;

por ejemplo, los cangrejos tienen apéndices especializados que provocan un movimiento continuo de agua que propicia una ventilación adecuada. En el caso de los peces óseos, las branquias ricas en capilares sanguíneos son bañadas por el agua que penetra por la boca y sale a través del opérculo, proporcionando oxígeno y retirando el bióxido de carbono.

Las tráqueas y los pulmones son adaptaciones a la vida terrestre. En el aire los gases respiratorios se difunden mejor que en el ambiente acuático, por lo que no se presenta el problema de la ventilación. La superficie respiratoria debe estar siempre húmeda para facilitar el intercambio de los gases; para evitar la evaporación de esta superficie, los sistemas respiratorios deben ser internos.

Los insectos tienen un sistema traqueal conformado por largos tubos o tráqueas por los que circula el aire; estos tubos se abren al exterior por medio de orificios denominados espiráculos. Las tráqueas se adelgazan en tubos cada vez más delgados, que llegan directamente a las células. Como el oxígeno y el bióxido de carbono se difunden más rápidamente en el aire que en el agua, esta adaptación ayuda al transporte de oxígeno y bióxido de carbono sin la necesidad de un sistema circulatorio.

Respiración celular

Recordemos que la célula es la porción más pequeña que tiene vida, y todas, con excepción de los eritrocitos, tienen un núcleo que lleva las instrucciones para formar las proteínas, que son las sustancias que desarrollan la mayor parte de las funciones celulares. Además, se encuentran otras estructuras que efectúan funciones variadas como la digestión intracelular; entre ellas están las mitocondrias, llamadas familiarmente centrales energéticas, en las que se produce la mayor parte del ATP.

Las mitocondrias son estructuras celulares de historia muy curiosa: hace millones de años fueron bacterias que podían vivir en presencia de oxígeno (las cianobacterias son los primeros organismos que realizaron la fotosíntesis y em-



Figura 2-10.

Las lombrices realizan el intercambio gaseoso a través de la piel.
Fuente: caracolesybabosas.com

siste en transferir fosfatos a otra molécula para aumentar su capacidad de participación en reacciones. Como dato relevante hay que mencionar que cada día producimos la cantidad de ATP equivalente a la mitad de nuestro peso corporal.

Cuando el ATP transfiere sus fosfatos se convierte en ADP o en AMP (adenosín difosfato y adenosín monofosfato, respectivamente) los cuales, eventualmente, restituyen el ATP en el proceso de respiración.

La respiración celular, en la mayoría de los organismos, necesita del oxígeno –de ahí el nombre de respiración aerobia– y de glucosa que se utilizan como combustible; sin embargo, también se pueden usar grasas y aminoácidos como combustibles celulares.

Cuando se usa glucosa, previamente se efectúa un proceso de preparación en el citosol de las células, denominado glucólisis, que no requiere de oxígeno; se trata, por lo tanto, de un proceso anaerobio (el nombre de glucólisis etimológicamente significa destrucción de la glucosa). Una molécula de glucosa de seis carbonos se divide en dos moléculas de tres carbonos cada una (ácido pirúvico) y en el proceso se forman dos moléculas de ATP y dos moléculas de NADH o dinucleótido de nicotinamida y adenina reducido; es decir, con hidrógeno adicional.

Observen que en la primera fase de la glucólisis se utilizan dos moléculas de ATP que sirven para activar energéticamente la vía. La segunda fase de la glucólisis es de ganancia energética: se obtienen 4 ATP de las cuales hay que restar las dos que se gastaron al principio, por lo que la ganancia neta es de sólo 2 ATP. También se obtienen dos moléculas de NADH.

Cuando hay suficiente oxígeno en las células, las dos moléculas de ácido pirúvico se introducen en la mitocondria (en las células puede haber cientos de estos organelos), y es ahí donde se lleva a cabo la verdadera respiración celular (figura 2-12). La mitocondria tiene dos membranas: una externa que está en contacto con el citosol –citoplasma sin organelos– y otra interna que rodea un espacio llamado matriz; entre las dos membranas se localiza el espacio intermembranal.

El ácido pirúvico de tres carbonos, que se ha introducido en la mitocondria, efectúa una reacción de transición: se libera una molécula de CO_2 (descarboxilación) y se retiran hidrógenos, los cuales se depositan en el NAD para formar NADH.

MITOCONDRIA

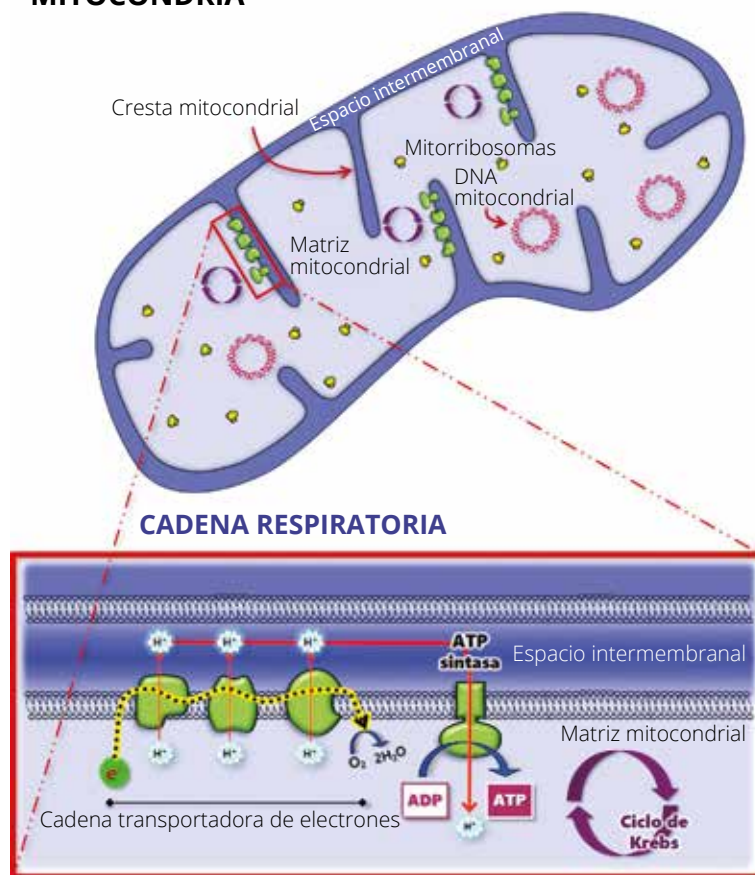


Figura 2-12.
Mitocondria.

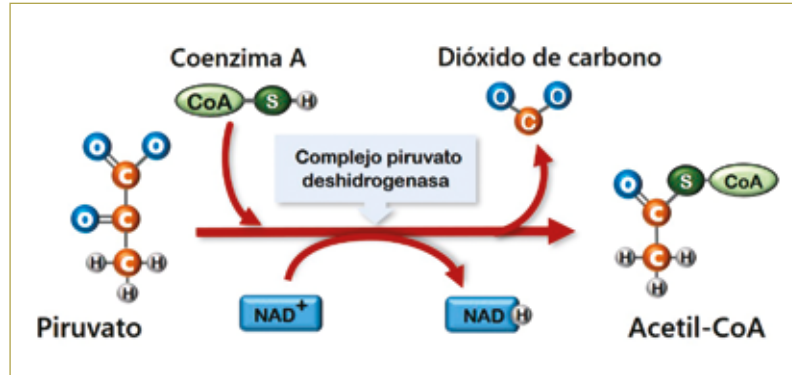


Figura 2-13. Proceso de formación de acetil coenzima A.

El producto de esta reacción es una molécula de dos carbonos llamada acetato que, unida a la coenzima A, forma acetil-coenzima A (figura 2-13).

La coenzima se desprende del acetato en la matriz mitocondrial y se inicia una serie de reacciones de oxidación y descarboxilación de esta molécula. Varias enzimas de la matriz mitocondrial son las encargadas de llevar a cabo las reacciones de esta vía metabólica, en la cual los hidrógenos procedentes del acetato (que se encontraba unido a la coenzima A como acetil) se depositan en el NADH y el FADH₂ (dinucleótido de flavina y adenina). El CO₂ producido en este proceso se difunde hacia el exterior de la célula y es exhalado durante la respiración pulmonar. A este proceso se le conoce como ciclo de Krebs o ciclo del ácido cítrico, puesto que la primera molécula que se forma es el ácido cítrico, resultado de la combinación del acetato de dos carbonos con el oxaloacetato de cuatro, y finaliza con la restauración del oxaloacetato, tras lo cual se reinicia el ciclo (figura 2-14).

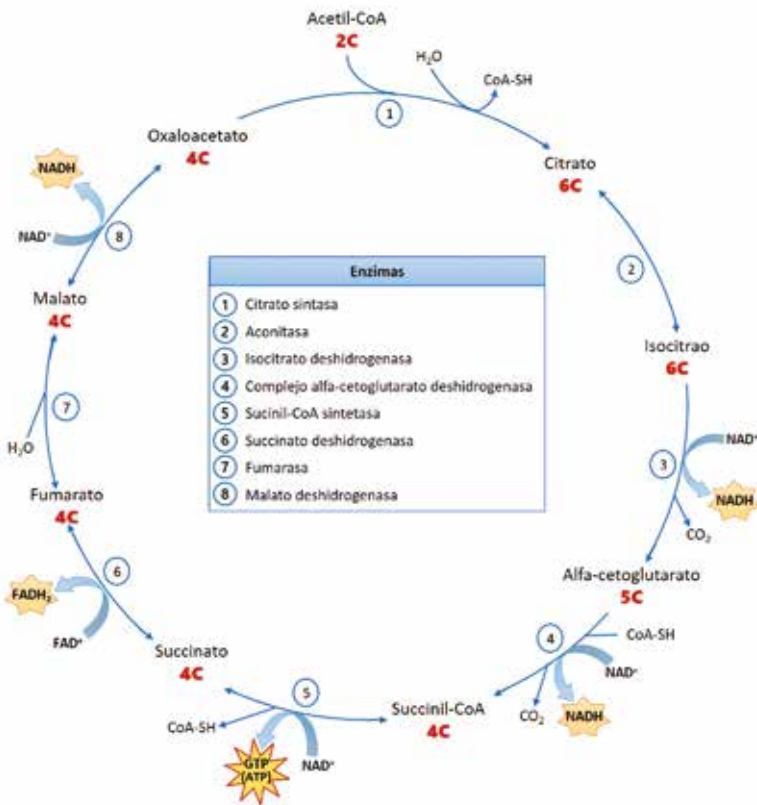


Figura 2-14. Ciclo de Krebs o del ácido cítrico. Ilustración: Ana Paulina Menza von der Borch.

Tanto en la glucólisis como en el ciclo de Krebs se muestra cómo las células oxidan la glucosa. No obstante, en ninguna de las etapas anteriores se obtiene una cantidad considerable de ATP –dos en la glucólisis y una en el ciclo de Krebs–, aunque sí se “recolectan” muchos hidrógenos (H) que quedan depositados en las coenzimas NADH y el FADH₂. La reducción de estas moléculas asegura el proceso final mediante el cual se sintetiza la mayor parte del ATP.

A continuación, en la denominada cadena respiratoria (figura 2-15), estas coenzimas se oxidan; esto es, pierden los hidrógenos que habían aceptado. Los

coenzimas se oxidan; esto es, pierden los hidrógenos que habían aceptado. Los

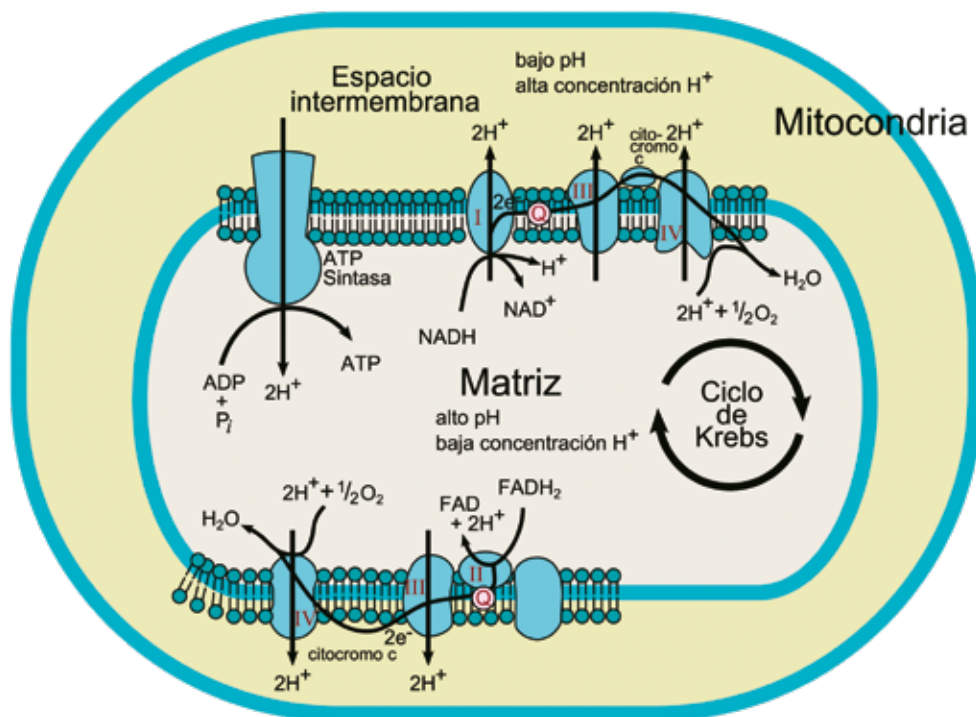


Figura 2-15.
Cadena respiratoria.
Fuente: Wikipedia.com

electrones de estos hidrógenos se transportan a través de una serie de proteínas que se encuentran en tándem a lo largo de tramos de la membrana interna de la mitocondria. La energía de los electrones va disminuyendo gradualmente conforme viajan a lo largo de los transportadores, hasta que finalmente son capturados por el oxígeno, que es su aceptor final. La energía que van perdiendo es aprovechada para translocar o “bombear” los protones de los hidrógenos hacia el espacio intermembranal, es decir, al espacio que queda entre la membrana externa e interna de la mitocondria. Se establece entonces un gradiente (diferencia de concentraciones) entre este espacio y la matriz. Eventualmente, los protones acumulados en el espacio intermembranal regresan a la matriz a través de una nanomáquina prodigiosa, la ATP sintasa, que usa la fuerza motriz de los protones para favorecer la síntesis de ATP. Por cada molécula de glucosa procesada por la glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, pueden obtenerse aproximadamente 36 moléculas de ATP.

Es importante resaltar el hecho de que el oxígeno que caracteriza a la respiración aerobia se comporta como aceptor final de los electrones que han viajado a través de la cadena de transportadores y de los protones que han servido para accionar la ATP sintasa. Después, protones, electrones y oxígeno producen agua, que es otro de los subproductos de la respiración junto con el dióxido de carbono.

Fermentación

Cuando un corredor de 100 metros finaliza una carrera en 10 segundos, la cantidad de oxígeno consumido por sus músculos disminuye rápidamente, de tal

manera que no se puede llevar a cabo la respiración aerobia. Bajo estas condiciones –ausencia de oxígeno–, el piruvato o ácido pirúvico no llega a la mitocondria, sino que permanece en el citosol; el NADH producido durante la glucólisis cede el hidrógeno al piruvato y lo transforma en ácido láctico que, al acumularse en los músculos, produce cansancio y dolor, que desaparecen en pocos días conforme el ácido láctico se difunde hacia la sangre. El ácido láctico es conducido al hígado, órgano en el cual se lleva a cabo la gluconeogénesis, que es una serie de reacciones opuestas a la glucólisis, que tienen, como su nombre lo indica, la función de producir nuevamente glucosa, la cual es transportada por la sangre a otros órganos, entre ellos al músculo para generar nuevamente energía necesaria para las funciones vitales. Esta serie de reacciones recibe el nombre de ciclo de Cori (figura 2-16).

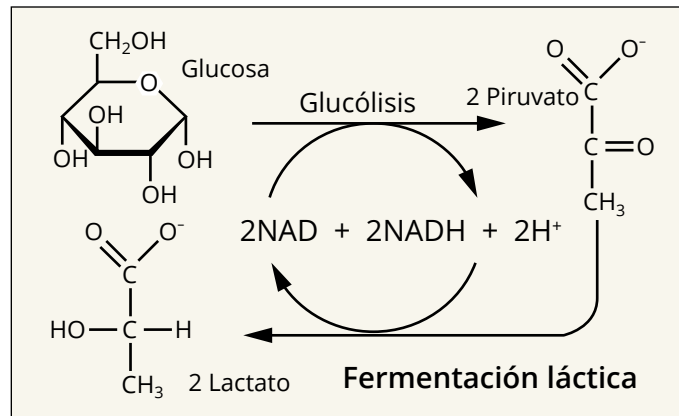


Figura 2-16.
Fermentación láctica.

3 | La reproducción

La reproducción de los seres vivos: diversidad y adaptación

Comparación entre reproducción asexual y reproducción sexual

La reproducción es una de las características fundamentales de los seres vivos desde que surgió la vida en nuestro planeta.

Las primeras moléculas con capacidad de auto-duplicación fueron los ácidos nucleicos, es decir, el RNA y el DNA.

Las células primitivas duplicaban su material genético y se dividían a continuación, produciendo copias exactas de sí mismas. Ese tipo de reproducción asexual se conserva hasta la fecha.

En esta forma de reproducción sólo participa un progenitor y es propio de los organismos unicelulares: una bacteria, un protozooario o una levadura unicelular forman, por este medio, nuevas generaciones de organismos.

En los organismos pluricelulares, la reproducción asexual ocurre en células del cuerpo o somáticas, con lo cual se sustituyen células que están constantemente muriendo, como es el caso de las células del epitelio intestinal, las células sanguíneas, las de la piel, etcétera.

La mayor parte de los organismos que se reproducen asexualmente lo hacen por medio de *bipartición* (figura 3-1), es decir, el DNA se duplica y el citoplasma de la célula progenitora se divide en partes iguales; pero no siempre sucede así: la levadura de la cerveza forma una pequeña yema que posteriormente se separa para constituir un organismo independiente, proceso que se conoce como *gemación* (figura 3-2). En otros casos, el núcleo de la célula madre se divide muchas veces rodeándose

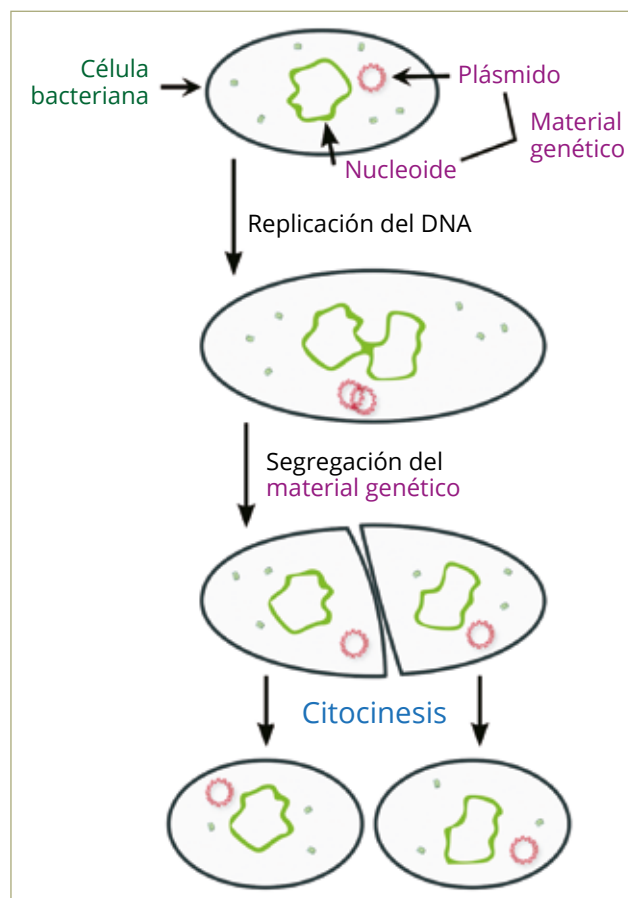
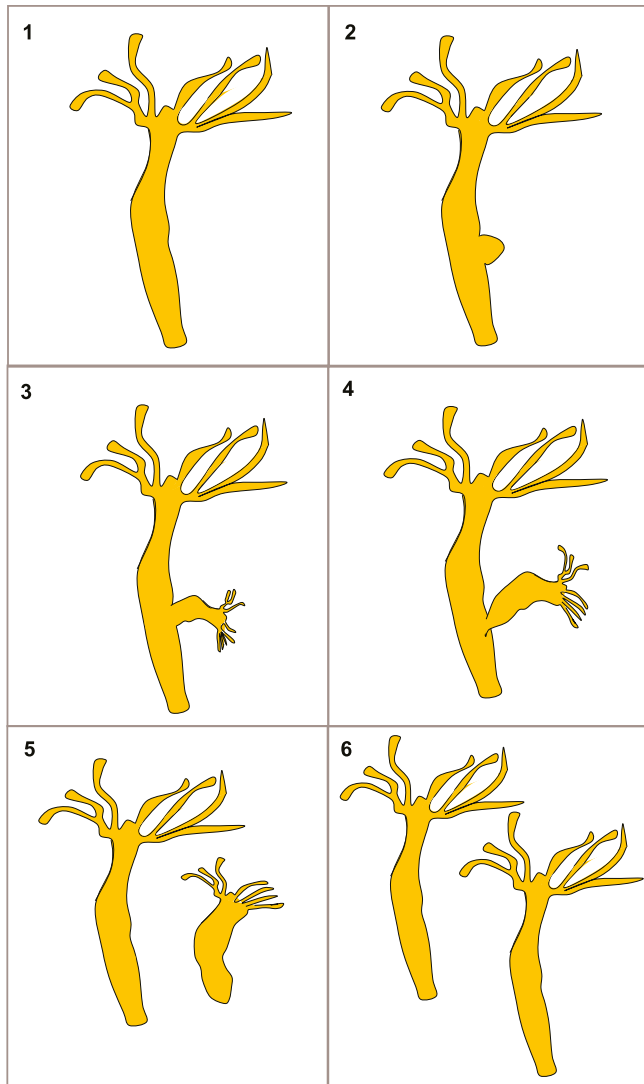


Figura 3-1. Bipartición en bacterias. Tipo de reproducción asexual.

**Figura 3-2.**

Gemación en levaduras.

Fuente: Wikipedia.com

**Figura 3-3.**

Reproducción asexual en hidra.

Fuente: Wikipedia.com

de citoplasma y membrana para constituir las llamadas esporas y el proceso se conoce como *esporulación*: el protozoo que produce el paludismo se divide de este modo en el interior de los eritrocitos.

La reproducción asexual no está restringida únicamente a los seres unicelulares; las hidras forman una protuberancia en su parte inferior, la cual va tomando la forma de la hidra adulta, hasta que finalmente se separa del cuerpo que le dio origen (**figura 3-3**); muchos gusanos y estrellas de mar se forman a partir de la *fragmentación* del progenitor.

La reproducción asexual en plantas y algas puede ser de forma artificial o natural y es quizá el proceso que mejor se conoce. Por ejemplo, es posible que una rama pequeña de una planta se coloque directamente en la tierra y produzca raíces, ramas nuevas y constituya un nuevo organismo. A este método se le denomina reproducción por *esqueje* (**figura 3-4**). Si la rama es joven se llama esqueje; si la rama es leñosa se denomina *estaca*.

Otros métodos incluyen a los *rizomas*, que son raíces subterráneas que tienen yemas de donde crece otro organismo (el jengibre y la papa); los *bulbos* son órganos subterráneos de almacenamiento de nutrientes y producen "hijuelos", que al separarse dan origen a una nueva planta (la cebolla o el tulipán); los *estolones* son brotes que nacen de la base del tallo y cuyos entrenudos forman raíces que pueden separarse y formar organismos individuales (el trébol y algunos pastos); y los *tubérculos* son tallos con yemas de los que brotan raíces (zanahoria, camote, etc.).

Estos organismos, al igual que algunos insectos, efectúan los dos tipos de reproducción, es decir, tanto la asexual como la sexual de manera alternante.

El material genético pasa así de una generación a la siguiente. En el caso de las bacterias, su único cromosoma se duplica y a continuación la bacteria crece llevando a cada cromosoma a los extremos; finalmente, aparece un tabique en la parte media y se producen dos bacterias exactamente iguales. Si no hay mutación, todos los descendientes de esa bacteria formarán un clon.

En los organismos eucariontes la reproducción asexual da lugar a dos protozoarios a partir de uno; o a nuevas hidras o esponjas a partir de protuberancias formadas asexualmente; o a todas nuestras células a partir de una célula huevo. Se forman prácticamente de la misma manera que en las bacterias, sólo que debido a la presencia de núcleo, el proceso es diferente y se conoce como mitosis.

Adaptación y reproducción sexual

La mayoría de los organismos sexuados forman sus gametos masculinos y femeninos en diferentes organismos: hay machos y hembras, si hablamos de animales, o bien organismos masculinos o femeninos, si nos referimos a otras especies. Aunque en algunas especies hay diferencias muy notorias, en otras no existe una clara diferenciación. Los mecanismos que se usan para poner en contacto los óvulos y los espermatozoides son muy variados. Por ejemplo, los organismos acuáticos como los peces, las esponjas o los corales utilizan el agua como método de transporte de sus células sexuales. La salida de óvulos debe ocurrir al mismo tiempo y en el mismo lugar que la de los espermatozoides para asegurar la fecundación (figura 3-5).

Los primeros organismos con reproducción sexual vivían en el agua y en ella los gametos móviles tenían que atraerse rápidamente para poder efectuar la fecundación; por eso la selección natural favoreció el desarrollo de sustancias químicas y receptores específicos para ese encuentro.

La reproducción sexual consiste en la recombinación de material genético o DNA que ocurre normalmente entre dos individuos de la misma especie. La manera en que se produce el acercamiento entre dos individuos varía enormemente. En un ambiente acuático, los individuos depositan las células sexuales femeninas y masculinas en el agua y al mismo tiempo. La gran cantidad de células que se expulsan favorece un mayor número de óvulos fecundados, como en los corales, las medusas y las hidras, animales celenterados. Estos animales que en conjunto forman los arrecifes de coral, expulsan en determinada época



Figura 3-4. Después de obtener un esqueje, se coloca en agua para estimular el crecimiento de raíces.



Figura 3-5. Los peces utilizan el agua para que sus gametos puedan encontrarse. Las hembras depositan sus huevos y luego los machos los fecundan con sus espermatozoides. Fuente: aquariumcostadealmeria.com

del año millones de óvulos y espermatozoides de manera simultánea. La fecundación se lleva a cabo y las larvas son arrastradas por la corriente de agua con lo que se colonizan otras regiones, sin competencia con los progenitores. No todos los gametos llegan a unirse ni todas las larvas se convertirán en corales; la gran mayoría de éstos serán el alimento de numerosos organismos como peces y muchos invertebrados.

La mayoría de los peces también depositan los gametos en el agua, pero incluye además un proceso de cortejo que lleva a que los óvulos y espermatozoides sean liberados al mismo tiempo. Paralelamente al mecanismo de reproducción se ha desarrollado en algunos peces el cuidado de la prole, que puede alcanzar una gran sofisticación. Por ejemplo los caballitos de mar, en donde el macho fecunda a la hembra, pero ésta deposita su prole en una bolsa ventral que tiene el macho, de la cual es liberada más adelante. El macho también puede colocar a los pequeños peces en su boca en caso de peligro.

Los anfibios son animales de vida mixta –parte acuática y parte terrestre– y no pueden prescindir del agua para aparearse. Los huevecillos quedan en el agua o cerca de ella para que la larva, plenamente desarrollada, pueda pasar la primera etapa de su vida como animal acuático. Su existencia como animal adulto puede efectuarse en el ambiente terrestre, pero sin alejarse demasiado del agua (figura 3-6).

En el transcurso de millones de años de vida en el planeta, los animales acuáticos dieron origen a los

animales terrestres: los antepasados de los vertebrados, peces y anfibios evolucionaron hacia las formas terrestres representadas primeramente por los reptiles. Estos animales sobrevivieron a ambientes carentes de suficiente agua gracias al surgimiento de adaptaciones como la piel gruesa, seca y escamosa, característica de los reptiles, en lugar de la húmeda y delgada de los anfibios. Además, el huevo que en los anfibios carecía de envolturas protectoras contra la desecación, fue favorecido por uno impermeable al agua, aunque permeable al oxígeno y al dióxido de carbono. Éste fue un gran avance evolutivo que, junto con la fecundación interna, garantizó la supervivencia de estos organismos en el ambiente terrestre. Lagartos, serpientes, cocodrilos y tortugas desarrollaron a través de generaciones, el proceso de fecundación interna que caracteriza a todos los organismos que habitan fuera del agua (figura 3-7). Los óvulos y los espermatozoides son incapaces de sobrevivir fuera del organismo, de manera que el desarrollo de órganos especializados propició el desarrollo de la fecundación interna. Las aves y los mamíferos, además, cuentan con cantos



Figura 3-6.
Algunos anfibios llevan a su prole encima de ellos, asegurando su sobrevivencia.
Fuente: efeverde.com

y plumajes coloridos en los pájaros machos, que juegan un papel importante en el proceso de cortejo.

Por otro lado, las plantas colonizaron la tierra firme hace millones de años gracias al desarrollo de adaptaciones de sobrevivencia y reproducción en ambientes secos. En estos organismos se desarrolló una manera muy peculiar de vida: el ciclo alternante que consiste en la presencia de dos tipos de plantas dentro de la misma especie: el esporofito forma esporas y el gametofito es la planta productora de gametos. Las plantas, como los musgos y las hepáticas, cuentan con las dos formas. En el caso de los helechos,



Figura 3-7.

En los reptiles, la permeabilidad de sus huevos al oxígeno y la reproducción interna, fueron eventos importantes para su sobrevivencia en ambientes terrestres.

Fuente: Wikipedia.com

las plantas productoras de esporas alcanzaron gran altura, pero las plantas que producían gametos tenían tamaño pequeño y se desarrollaban a ras del suelo de la misma manera que lo hacen los musgos (figura 3-8). Con ello, se favoreció que las células masculinas móviles se transportaran en las gotas de rocío hacia el sitio donde se encontraban las células femeninas.

Las plantas gimnospermas y las angiospermas también tienen ciclo alternante, aunque en ellas los gametofitos femenino y masculino son diminutos y se encuentran dentro de los estambres y dentro del pistilo de la flor. El grano de polen, al encontrarse en la superficie del estigma de la flor, se rompe y lanza el tubo polínico que lleva directamente el gameto masculino hacia el femenino: éste es también un caso de fecundación interna comparable con la que sucede en los animales (figura 3-9).

La mayoría de las plantas tienen fecundación cruzada, es decir, el polen de una flor debe ir hacia el estigma de otra flor, generalmente de la misma especie. La polinización ocurre por acción del viento, el agua, los insectos, las aves, los murciélagos e inclusive ciertos roedores pequeños. Paralelo a esto se favorecieron relaciones entre especies, como el mutualismo, en el que ambas especies intercambian factores que utilizan para su sobrevivencia. Por ejemplo, la planta proporciona néctar, que es un líquido azucarado cuya producción representa un gasto de energía. A cambio, sus gametos masculinos pueden ser llevados a otra planta para fecundarla. Los animales, por su parte, han desarrollado ciertas características que facilitan la obtención del néctar y el transporte del polen; por ejemplo, los murciélagos polinizadores de



Figura 3-8.

Ciclo de vida de un helecho.

Fuente: curiosoando.com

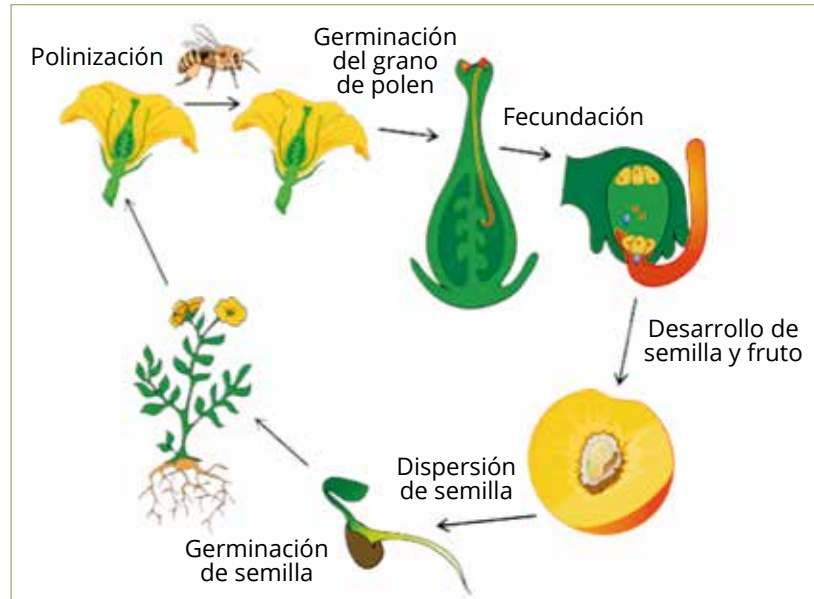


Figura 3-9.
Ciclo de vida de una angiosperma, planta con flor.
Fuente: ck12.org



Figura 3-10.
Esfíngido diurno, mariposas normalmente nocturnas, mostrando su larga trompa. Con ella tiene acceso al néctar, que está hasta el fondo de la flor.
Fuente: cumbrepuebloscop20.org

las cactáceas tienen una forma de cráneo que facilita la introducción de la cabeza al interior de la flor; las abejas cuentan con un cuerpo con abundantes pelitos y con su lengua afilada recogen grandes cantidades de néctar y polen que se pega a su cuerpo; las aves, como el colibrí, polinizan las flores que tienen corolas en forma de tubo angosto a las cuales un artrópodo como la abeja o los abejorros no pueden acceder (**figura 3-10**).

El resultado de la polinización es la fecundación y la producción de semillas que llevan en su interior el embrión de la planta (**figura 3-11**). Las semillas entonces se dispersan y ello reduce la competencia entre la planta progenitora y los descendientes. En el proceso participan factores como el viento, el agua y los animales.

La dispersión de las semillas del diente de león se produce cuando el viento sopla sobre la cabezuela blanca (**figura 3-12**).

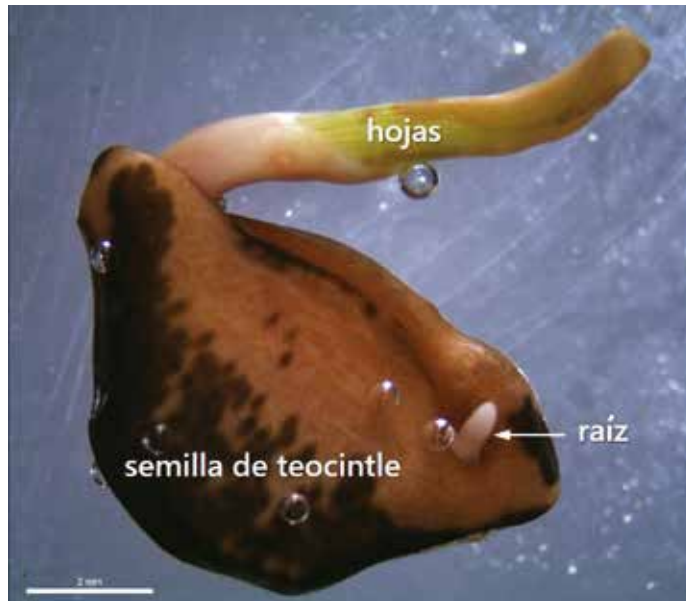


Figura 3-11.

Con la germinación inicia el desarrollo de un nuevo organismo a partir de la salida de un embrión.

Fuente: ecoinventos.com



Figura 3-12.

Diente de león.

Los animales también juegan un papel muy importante en la dispersión de las semillas: los mamíferos pueden transportar semillas poseedoras de pequeños ganchos que se pegan en su pelaje; los murciélagos y las aves comedoras de frutas se tragan la fruta junto con las semillas; cuando defecan tiran las semillas lejos de la planta progenitora favoreciendo así la dispersión de la planta.

Reproducción sexual como fuente de variabilidad

Los organismos unicelulares presentan fenómenos de sexualidad en algún momento de su vida. La sexualidad consiste en la mezcla de material hereditario (DNA) de dos células, con la ventaja evidente de formar una célula diferente a aquellas que le dieron origen. La reproducción sexual entonces, genera prole diferente.

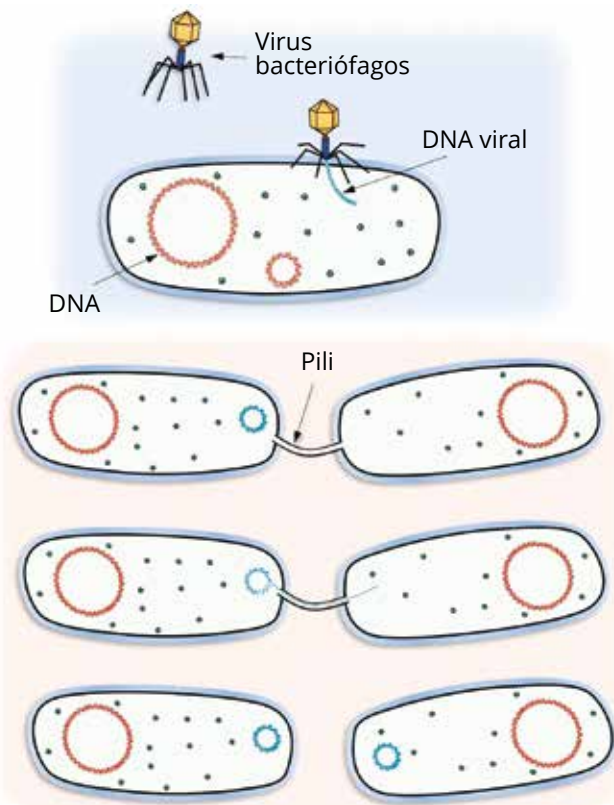


Figura 3-13.

Los pili les permiten a las bacterias intercambiar material genético.

Con el paso de millones de años, los organismos desarrollaron diversas modalidades de la sexualidad a su modo de vida. Los primeros modelos de reproducción sexual consisten en la formación de dos células iguales + y - que actuaban como gametos o células sexuales; este tipo de reproducción es propia de eucariontes unicelulares como ciertas algas. En otros organismos, los gametos se diferencian en tamaño, no así en forma: los más grandes son equivalentes a gametos femeninos, mientras que los pequeños son equivalentes a gametos masculinos.



Figura 3-14.

Espermatozoides y óvulo durante la fecundación.

Fuente: pixabay.com

En plantas y animales las células sexuales están claramente diferenciadas: los gametos femeninos son células grandes provistas de abundante material nutritivo, mientras que las células masculinas son pequeñas y a menudo móviles. A pesar de que la reproducción sexual tiene ventajas evidentes sobre la asexual, en muchos organismos se conservó este modo de reproducción (figura 3-14).

La reproducción asexual, tanto en bacterias como en eucariontes, se lleva a cabo por división celular; pero mientras que las bacterias se dividen por bipartición, las células de los eucariontes, ya sean protozoarios o las células de nuestro cuerpo, se reproducen por mitosis. Las bacterias tienen un solo cromosoma y los eucariontes

te a sus progenitores y a sus hermanos, por lo que se aumenta la variedad de organismos: cada uno de nosotros es diferente a todos los demás.

Cuando hay variación entre los individuos, la fuerza de la selección actúa sobre las poblaciones eligiendo a los individuos que tengan las características adecuadas que les permitan sobrevivir y dejar el mayor número de descendientes en un entorno particular.

Hace aproximadamente 2 000 millones de años surgió la reproducción sexual en los organismos unicelulares. Hasta ese momento, el mundo de los organismos unicelulares era bastante uniforme debido a que su reproducción era únicamente asexual; pero, de manera fortuita, las células empezaron a unirse y a mezclar su material hereditario. Las bacterias actuales nos muestran cómo pudo efectuarse esa unión. Algunas toman del medio fragmentos de DNA de bacterias muertas; otras utilizan virus que les inyectan DNA procedente de otras bacterias; y otras más se unen mediante puentes de citoplasma, lo que permite el paso de DNA (figura 3-13).

tienen en su núcleo un número variable de cromosomas, lo que hace diferente a este mecanismo de reproducción.

Ciclo celular

Para entender cómo sucede la mitosis, es importante que primero se conozca el ciclo celular, es decir, la historia de vida de una célula (figura 3-15). El ciclo está dividido en las siguientes fases:

- Fase G_1 : la célula crece.
- Fase S: el DNA, y por lo tanto los cromosomas, se duplican.
- Fase G_2 : continúa el crecimiento de la célula.
- Fase M: el material hereditario duplicado se reparte, por partes iguales, en dos células hijas.

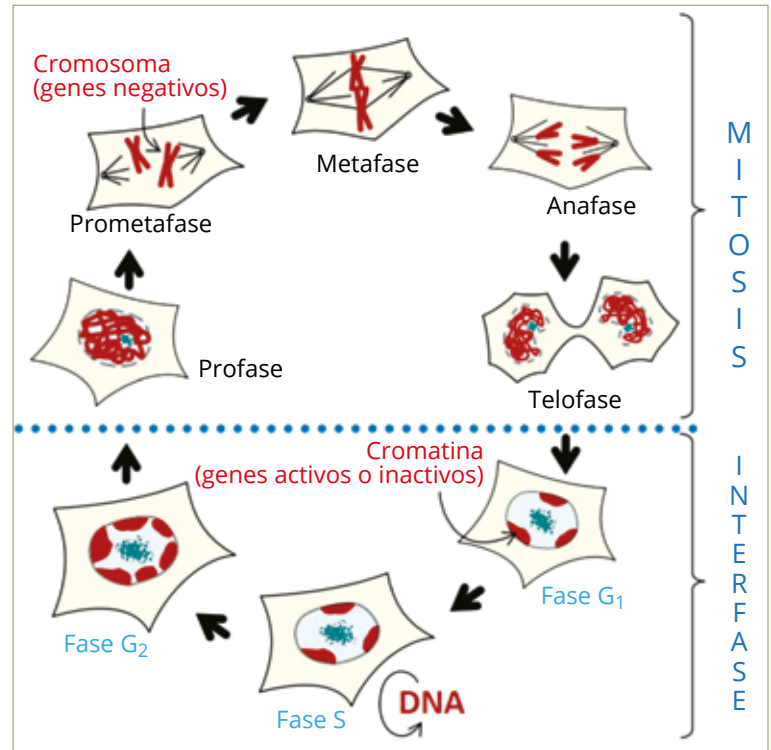


Figura 3-15. Ciclo celular, interfase y mitosis.

Esta última etapa es la que recibe el nombre de mitosis. En el proceso se reparte de manera equitativa el material hereditario (DNA/cromosomas) en dos células hijas, de tal manera que en sucesivas generaciones, las células de un determinado organismo conserven el número de cromosomas que les corresponde como especie: 46 para el humano, 8 para una mosca de la fruta o 78 para un pollo.

En este proceso se presentan cromosomas duplicados (92 para humano, 16 para mosca y 156 para pollo), dos centriolos (centros de formación de microtúbulos en las células animales) y un huso mitótico (formado por microtúbulos) que será el aparato que se utilizará para separar equitativamente a los cromosomas duplicados, los cuales se encuentran unidos en una zona llamada centrosoma, que es el sitio donde se fijan los microtúbulos en el huso mitótico.

Para su estudio, el proceso de mitosis se divide en cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase. Se debe recordar que antes de la mitosis la célula pasa por las fases G_1 , S y G_2 y a este periodo se le llama también interfase. Durante la fase S es el momento en que la información genética se duplica (por eso, al inicio de la mitosis se tiene el doble de cromosomas).

Los eventos más importantes del ciclo celular son (figura 3-16):

- Interfase: en la fase S se duplica el material genético.
- Profase: se forman los cromosomas duplicados, antes de esta etapa el material genético se llama cromatina. El centriolo se divide en dos y migra a polos opuestos en la célula para formar el huso mitótico.

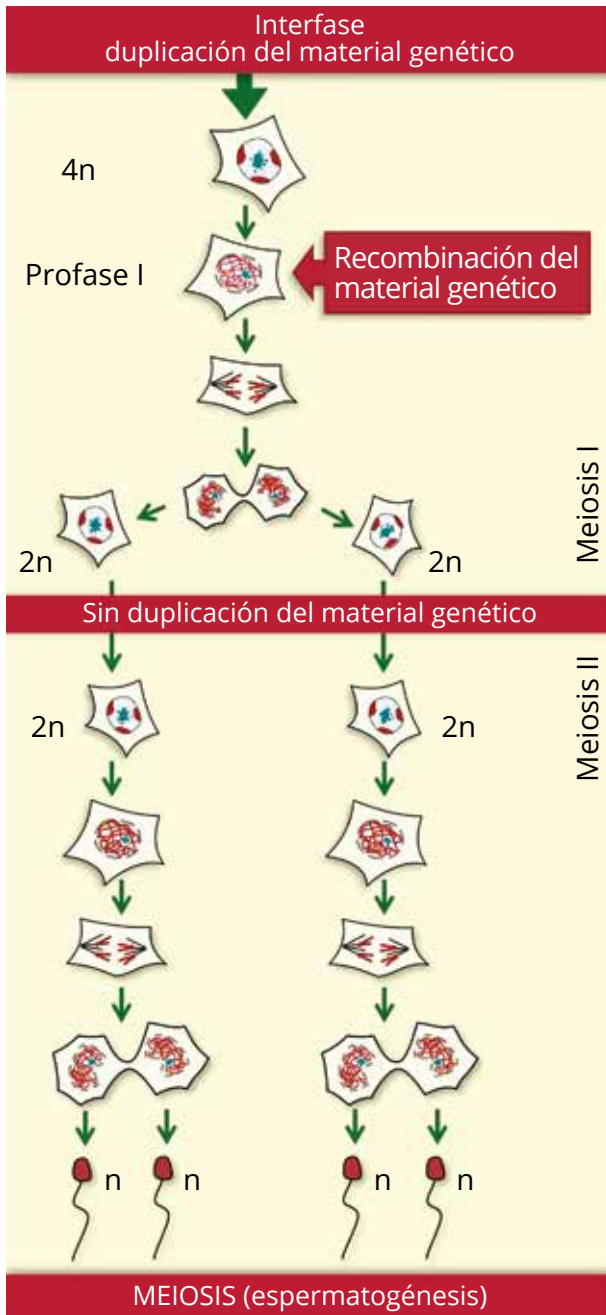


Figura 3-16.
Fases de la meiosis.

- c) **Metafase:** los cromosomas duplicados se ubican en el centro de la célula y cada cromosoma se fija en un microtúbulo del huso mitótico.
- d) **Anafase:** los cromosomas se separan y se dirigen hacia cada centriolo.
- e) **Telofase:** se comienza a dividir la célula en dos con el número original de cada especie, es decir, para el humano 46, 8 para mosca y 78 para pollo.

En este proceso las células resultantes son exactamente iguales a la que les dio origen, es decir, se trata también de clones. Si no hay mutaciones (cambios en el material genético) las células serán iguales generación tras generación. La desventaja de este sistema como mecanismo de reproducción es clara: cualquier evento que altere a uno de los organismos como un ataque de virus, cambios en el ambiente, etcétera, afectará a toda la población.

Los organismos eucariontes reproducen asexualmente sus células por mitosis. Una célula con 46 cromosomas como las nuestras, al dividirse formará dos células con 46 cromosomas cada una; esto es posible debido a que durante la fase S las células duplican su material genético. En cambio, para que el huevo resultante de la fecundación humana conserve 46 cromosomas, un grupo de células originan a los gametos que llevan a cabo el proceso de la meiosis, similar a la mitosis, pero que tiene diferencias que llevan a que las células resultantes tengan sólo un juego de cromosomas. Por esta razón, los gametos son llamados haploides (N), es decir, poseen sólo un juego de cromosomas, mientras que el resto de las células que forman el cuerpo –células somáticas– tienen dos juegos de cromosomas y por

ello se les denomina diploides ($2N$).

La meiosis consiste de dos divisiones sucesivas con una sola duplicación de material genético que se da en la fase S previa a la primera división.

La primera división dio como resultado dos células, cada una con un cromosoma duplicado, y cada una de ellas, al dividirse, formará dos células, pero éstas llevan ya un solo cromosoma.

El proceso se lleva a cabo de manera similar en todos los organismos con reproducción sexual. En la primera división meiótica los cromosomas homólogos intercambian su material genético, con lo cual aumenta en gran medida la varia-

ción genética de los hijos. Por otra parte, hay que precisar que la formación de las cuatro células al final de la meiosis es característica de los gametos masculinos; los varones tienen en sus testículos muchas células especiales que hacen constantemente meiosis, y cada una de estas células forma cuatro espermatozoides. Como existen millones de estas células especiales, la cantidad de espermatozoides que se origina constantemente es enorme.

En las mujeres el proceso es diferente. Las células que dan origen a los óvulos se encuentran presentes en el ovario del embrión; cada una de estas células efectuará la meiosis, pero la primera división producirá una célula grande y otra muy pequeña, y lo mismo sucede en la segunda división, de tal manera que se forma un solo óvulo y dos pequeñas células que no tienen ningún papel en la reproducción. Por esta diferencia, el espermatozoide es una célula pequeña con muy poco citoplasma, lo que le permite una gran movilidad; por el contrario, el óvulo es una célula muy grande que contiene en el citoplasma el material nutritivo del cual se alimentará el embrión en desarrollo, antes de que pueda establecer una conexión directa con la madre a través de la placenta.

Cuando se lleva a cabo la fecundación, óvulo y espermatozoide se fusionan (figura 3-17); los cromosomas de sus respectivos núcleos se entremezclan, cada uno de los cromosomas se duplica y rápidamente se lleva a cabo la primera división por mitosis.

Relación entre cromosomas, genes y características: genotipo y fenotipo

En la fecundación se unen los núcleos de las dos células con sus correspondientes cromosomas (figura 3-18). De esta unión resulta un organismo que posee una mezcla de características paternas y maternas. La búsqueda de una explicación del porqué los organismos se parecen a sus progenitores tuvo ocupados a los hombres de ciencia durante muchos siglos.

A partir del descubrimiento del microscopio se inició la indagación acerca del mundo microscópico (figura 3-19); se reconoció a la célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos; se localizaron las estructuras celulares y se reconoció al núcleo como centro de control de la célula, y a los cromosomas que se encontraban dentro de él como estructuras formadas por una molécula de DNA (figura 3-20); con el paso del tiempo, y a partir de numerosas investigaciones, se determinó que esa molécula contiene la información en subunidades denominadas genes.

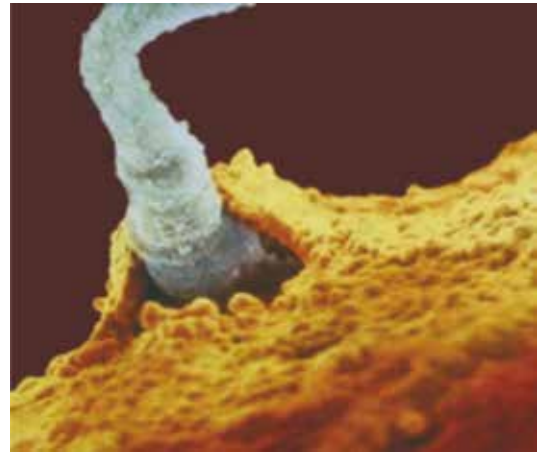


Figura 3-17. Espermatozoide penetrando en un óvulo.

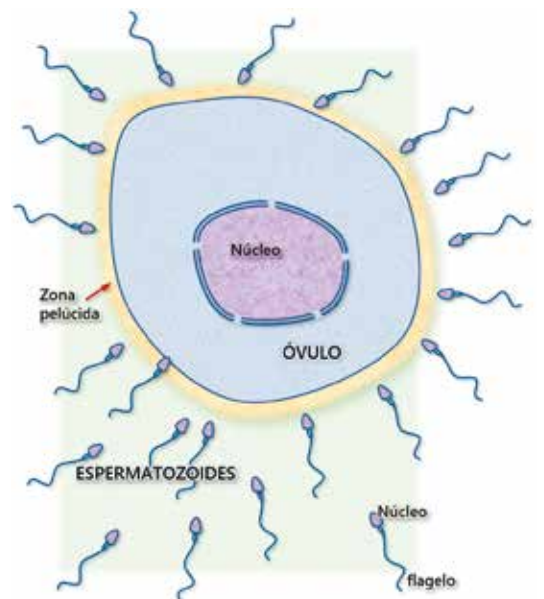


Figura 3-18. En la fecundación el núcleo del espermatozoide entra al óvulo y se junta con su núcleo formando un cigoto.

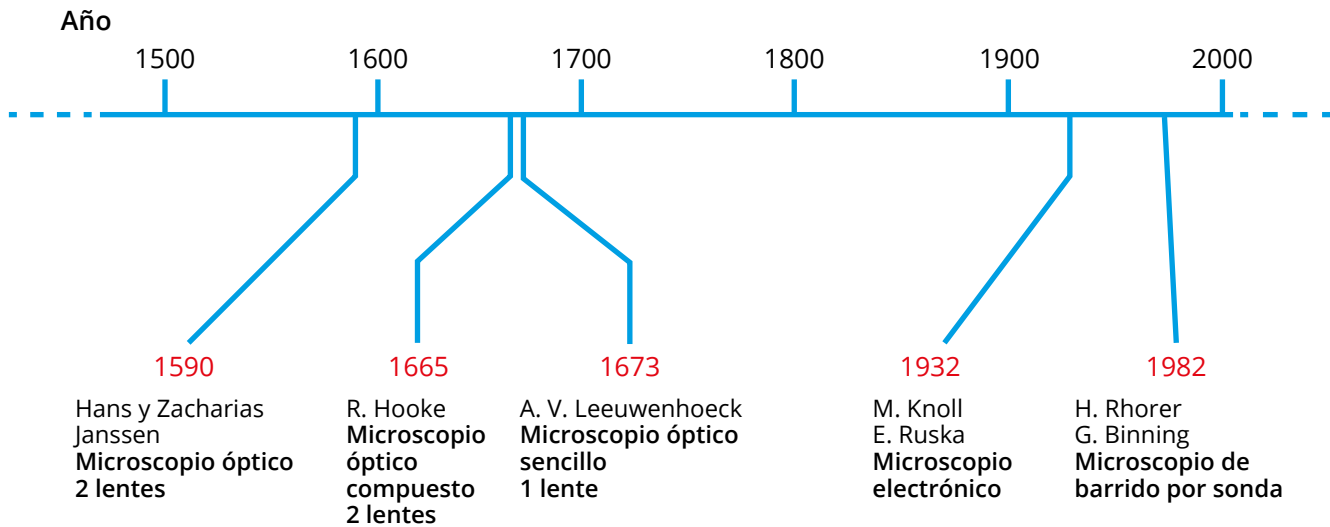


Figura 3-19.
Línea del tiempo de la
microscopía.

Los genes son módulos de información a partir de los cuales se producen proteínas, moléculas abundantes en los seres vivos.

En el momento de la fecundación se unen dos juegos de cromosomas. En el

caso de las células humanas, hay dos juegos de cromosomas con 23 cromosomas cada uno. Así, cada cromosoma que forma un par posee el mismo tipo de genes y solamente uno de ellos, ya sea paterno o materno, proporciona la información para producir una proteína. Aquellos genes que se expresan, es decir, que se manifiestan para hacer proteínas se llaman dominantes, mientras que los que permanecen sin manifestarse se les conoce como recesivos. De los que se expresan unos son maternos y otros paternos, por lo que se origina un mosaico de características paternas

y maternas. Sin embargo, no solamente se expresan los genes dominantes, sino también los recesivos, siempre y cuando éstos se presenten en los dos cromosomas que forman el par.

El total de genes que se tienen, ya sean recesivos o dominantes, constituyen el *genotipo*, mientras que los genes expresados son el *fenotipo*. No sabemos cuál es el genotipo, pero sí se conoce parte del fenotipo, es decir, el conjunto de características que se pueden observar: altura, color, tipo de pelo, tamaño de las pestañas, etcétera; pero también es fenotipo todo lo que hay en el interior del cuerpo: órganos, tejidos, tipo de células y sustancias que se fabrican.

Aunque se piensa que los gemelos verdaderos que proceden de la unión de un óvulo y un espermatozoide son exactamente iguales, en realidad no es así. La acción del medio uterino en que se desarrollaron los gemelos y del medio en que se desarrollan después del nacimiento provoca cambios en la expresión de los genes dando como resultado dos organismos que tienen básicamente el mismo genotipo pero diferencias, a veces muy sutiles, en su fenotipo. Los genes y el medio determinarán el desarrollo posterior.

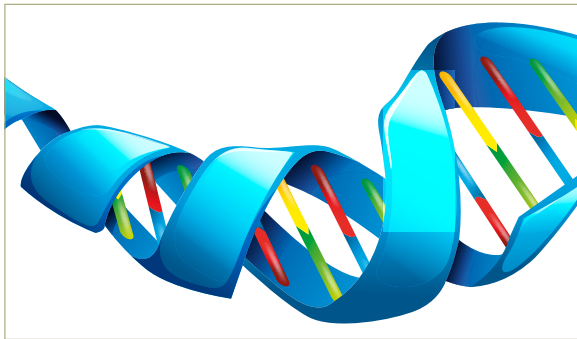


Figura 3-20.

DNA.
Fuente: Freepik.com

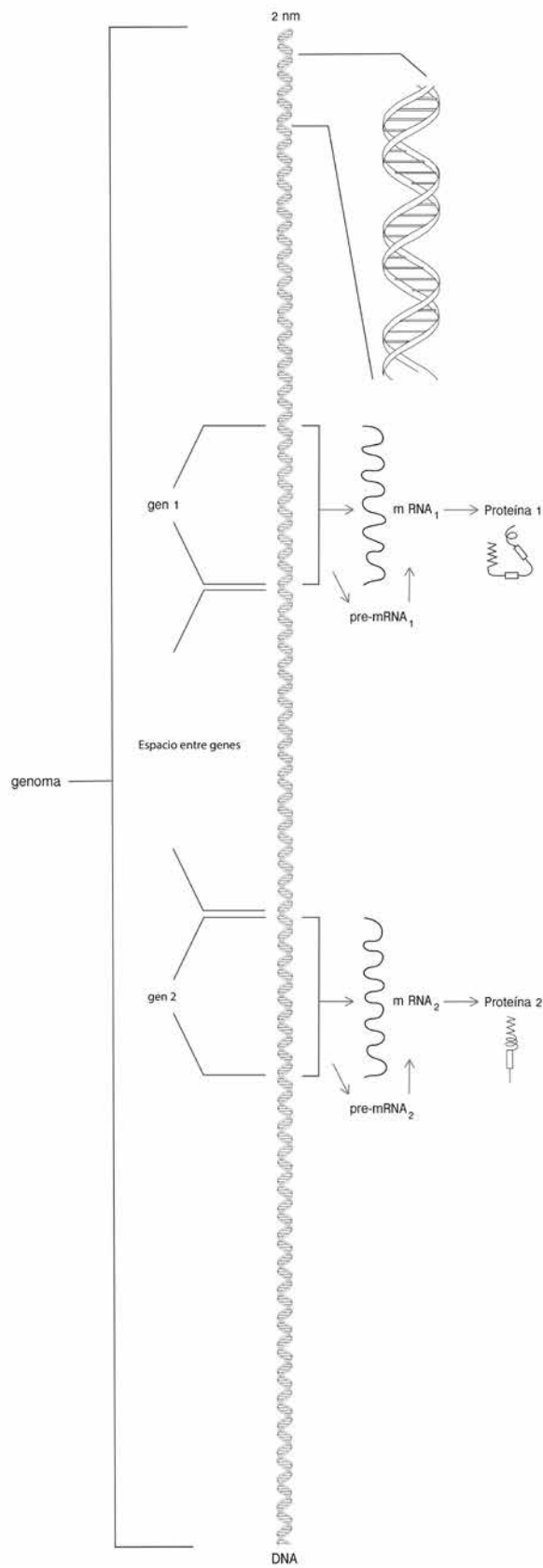


Figura 3-21.
 Genoma.
 Ilustración: María
 Teresa Jiménez



Figura 3-22.
Monasterio en Brno.
Fuente: lugaresquever.com

Estudios de Mendel con chícharos

La historia de la genética como ciencia se remonta al siglo XIX. Johann Gregor Mendel, monje agustino que vivía en un monasterio de la ciudad de Brno, ahora República Checa (figura 3-22), era un horticultor que se dedicaba a desarrollar híbridos; es decir, a la formación de nuevas variedades de plantas a partir de la cruce artificial con variedades diferentes. Entre todas

las plantas con las que experimentaba encontró que el chícharo reunía características que lo hacían ideal para los experimentos de hibridación.

El chícharo tiene características muy contrastantes que pueden apreciarse a simple vista (figura 3-23).















Semillas		Flor	Vaina		Tallo	
Forma	Cotiledones		Forma	Color	Lugar	Tamaño
						
Gris y redonda	Amarillo	Blanca	Inflada	Amarilla	Axiales	Largo
						
Blanca y arrugada	Verde	Violeta	Arrugada	Verde	Terminales	Corto

Figura 3-23.
Tabla de chícharos.

Además, Mendel aprovechó el hecho de que la flor del chícharo tiene una estructura que impide la polinización cruzada, es decir, presenta autofecundación: el polen de los estambres fecunda a los óvulos que se encuentran en la misma flor. De hecho, Mendel cultivaba parcelas en las que se desarrollaban variedades puras de plantas con tallo largo, corto o con flores moradas o blancas.

Mendel inició sus experimentos con los chícharos; por ejemplo, eliminaba los estambres de las flores púrpuras y polinizaba la parte femenina de la flor con polen de una flor blanca; lo mismo hacía con todas las otras variedades de la planta de chícharo y anotaba con todo cuidado cuáles eran los resultados cualitativos y cuantitativos (figura 3-24).

Al cruzar plantas con semillas procedentes de variedades que sólo producían semillas redondas con semillas procedentes de variedades que sólo las producían rugosas y a las que llamó los padres o generación P, obtuvo una primera generación F1 (del latín *filium*, hijo) de plantas con todas las semillas redondas (figura 3-25).

Debido a que el carácter rugoso no se mantenía, Mendel dejó que esta generación se autofecundara y, para su sorpresa, la F2 resultó con semillas

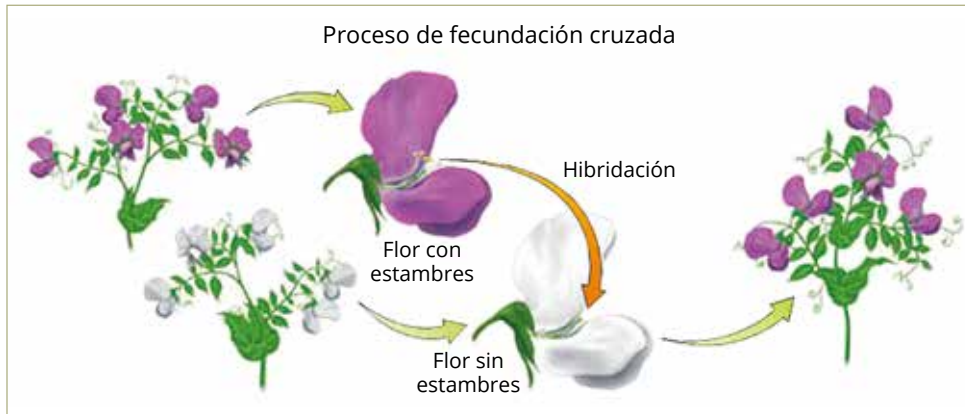


Figura 3-24. Mendel realizó polinización en flores de chícharo.

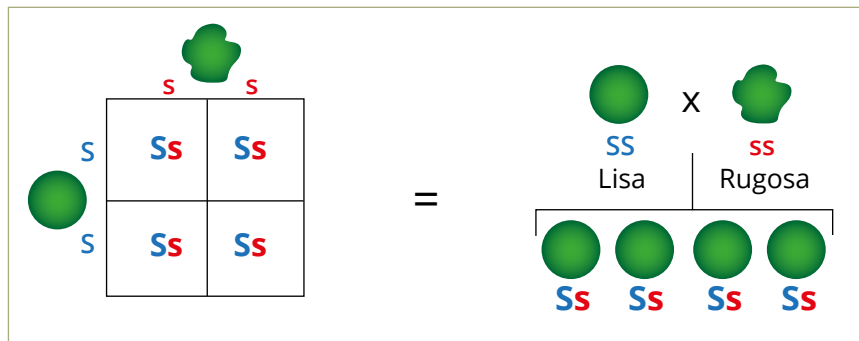


Figura 3-25. Mendel chícharos lisos y rugosos.

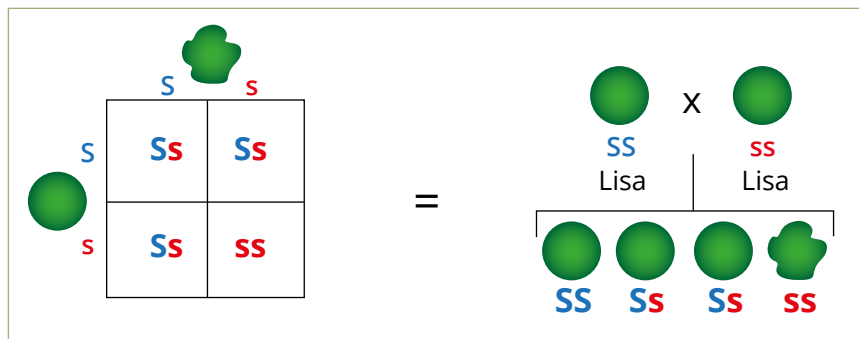


Figura 3-26. Mendel, caracteres liso-liso.

redondas y rugosas pero en una proporción diferente: 3:1; $\frac{3}{4}$ de toda la producción de semillas eran redondas y sólo $\frac{1}{4}$ de la producción era de semillas rugosas (figura 3-26).

La interpretación de tales hechos fue posible gracias a que Mendel conocía las matemáticas y la física, conocimientos que había adquirido en la Universidad Imperial de Viena. Por esa razón, Mendel fue capaz de deducir que los responsables de tales resultados eran unos elementos o factores –que ahora conocemos como genes– que se encontraban por pares en las células de los organismos, y cuando se formaban las células sexuales sólo uno de estos elementos pasaba al gameto. También observó que la característica que se presentaba en el 100% de la primera generación o con mayor presencia en la segunda le llamó dominante, y la que se “ausentaba” en la primera o reaparecía en menor proporción en la segunda la denominó recesiva (de *receso*, *descanso*).

Los trabajos de Morgan con moscas



Figura 3-27.
Drosophila.



Figura 3-28.
Thomas Hunt Morgan.

Un paso muy importante en el desarrollo de la genética fue el establecimiento de los genes como elementos que se encontraban en los cromosomas y que dio origen a la Teoría cromosómica de la herencia. Así como Mendel escogió al chícharo como el sujeto de sus experimentos, Thomas Hunt Morgan eligió a la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, cuyo nombre genérico significa “bebedora de rocío”, aunque en realidad se alimenta de los hongos que crecen sobre la fruta madura (figura 3-27).

A Morgan (figura 3-28) le corresponde el descubrimiento de que los elementos o factores mendelianos se encontraban en los cromosomas. La ventaja de la elección de la mosca de la fruta radica en que tiene sólo ocho cromosomas dispuestos en dos juegos: un juego procede de la madre y el otro del padre; además, uno de los cuatro pares es de cromosomas sexuales X y Y, que determinan el sexo de la mosca, de la misma manera en que se determina el sexo en los humanos: las mujeres tienen dos cromosomas X, mientras que los hombres portan X y Y.

Las numerosas cruces a las que sometió las millones de moscas que Morgan tenía en su laboratorio dio como resultado la producción de una variedad de moscas de ojos blancos, a diferencia de las moscas normales de ojos rojos. Pero, curiosamente, las moscas de ojos blancos siempre eran machos.

Después de repetir muchas veces las cruces de las hembras de ojos rojos con machos de ojos blancos, Morgan llegó a la conclusión de que el carácter de ojos blancos se encontraba en el cromosoma X del macho y era un carácter recesivo; los machos para tener ojos blancos les bastaba con un solo gen presente en el cromosoma X, y para que las hembras tuvieran ojos blancos tendrían que tener en sus dos cromosomas X genes para el color blanco.

Análisis de las cuatro potencialidades de la sexualidad humana

El género

El surgimiento del sexo –que posibilita el intercambio de material genético para producir organismos ligeramente diferentes– propició, a lo largo de la evolución,

el desarrollo de dos individuos con un género diferente, que se fueron especializando cada vez más en cuanto a sus funciones. En el caso de los humanos, el sexo se determina antes del nacimiento; además de las diferencias biológicas que se presentan, se establecen patrones de comportamiento para cada uno de ellos, debido a un proceso de construcción social.

El género en la especie humana comprende actitudes, valores, formas de comportamiento y maneras de ver el mundo; el papel que jugamos, ya sea como hombres o como mujeres, se aprende de la familia, de los amigos y de la sociedad en su conjunto, aunque varía culturalmente y de acuerdo con la época. Desafortunadamente, en casi todas las sociedades se ha devaluado a la mujer y sobrevalorado al hombre, lo que hace que las relaciones entre los sexos lleven a desigualdades que se reflejan en todos los ámbitos de la vida.

Cuando se habla de sexo desde el punto de vista biológico, nos referimos a la combinación de material genético para formar nuevos organismos que son diferentes desde el punto de vista genético, lo que aumenta sus posibilidades de supervivencia. Los seres que presentan reproducción sexual se distinguen normalmente en género masculino y femenino si hablamos de algas o plantas, o machos y hembras en el caso de los animales; éstos a menudo tienen papeles diferenciados como el cuidado de las crías y su protección.

Infecciones de transmisión sexual

En la especie humana, durante la actividad sexual puede ocurrir la transmisión de infecciones. Las infecciones de transmisión sexual (ITS) son producidas por virus, bacterias y hongos. Normalmente se transmiten por la relación sexual y los síntomas de muchas infecciones se manifiestan tardíamente, lo que dificulta su tratamiento oportuno.

Infecciones virales

El Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) que se produce por el VIH (Virus de Inmunodeficiencia Humana), se caracteriza por el debilitamiento del sistema inmunitario (figura 3-29).

El VIH actúa sobre los linfocitos T que son parte importante del sistema inmune. Por esta razón, las personas enfermas de sida son susceptibles al ataque de patógenos que normalmente serían destruidos por nuestro sistema de defensa; por ejemplo, algunos enfermos de sida mueren de un cierto tipo de neumonía que raramente ataca a las personas sanas.

Si bien el sida es una ITS, también se puede adquirir por medio de transfusiones de sangre o bien de la madre al bebé a través de la placenta o por la leche materna. Otro factor de riesgo es el intercambio de agujas contaminadas que usan los drogadictos para inyectarse. No existe ninguna evidencia de que el virus pueda transmitirse por medio de la saliva o por el uso de platos, vasos o cubiertos.

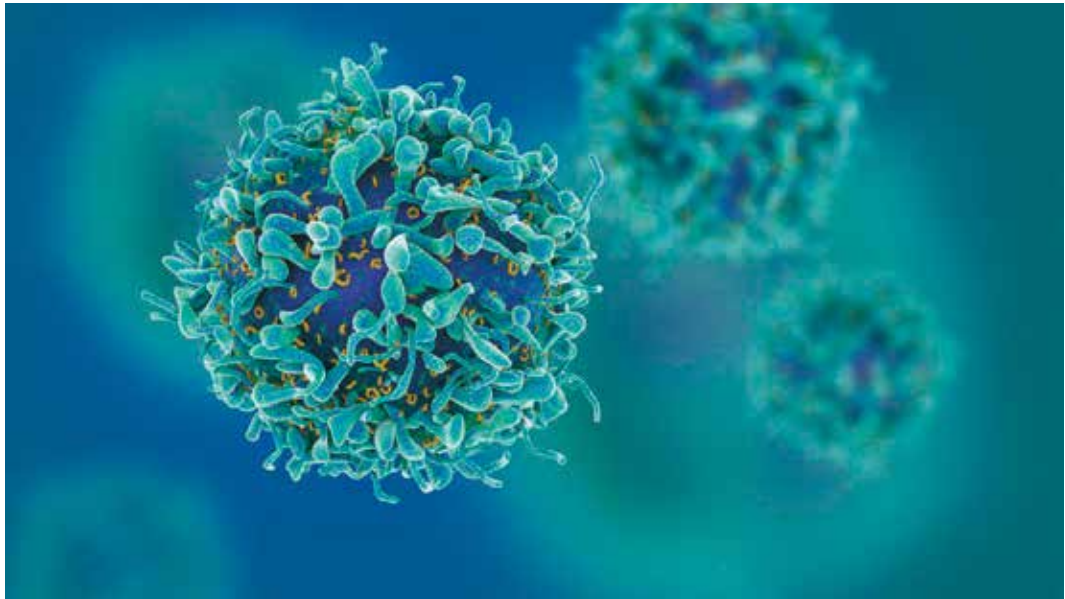


Figura 3-29.
Virus del SIDA.

No existe aún una vacuna en contra de este virus, pues es capaz de mutar muy rápidamente, formando nuevas variedades en muy corto tiempo; esto hace que la fabricación de una vacuna sea extremadamente difícil. Existen antivirales que han resultado muy prometedores, pero su costo es muy alto, por lo que es difícil que muchos enfermos de sida tengan acceso a ellos.

Virus del papiloma humano

Estos virus están muy extendidos en la población humana. Producen verrugas que se localizan en las mucosas, especialmente en la mucosa de los genitales. La mucosa del pene y de la uretra del varón actúa como reservorio de los virus, y por medio de ella se transmiten a la mujer. Se le ha relacionado con el desarrollo de cáncer cervical en la mujer. Existen muchos tipos de papilomavirus y la mayoría, aunque causan infecciones, éstas desaparecen espontáneamente; sin embargo, el riesgo de contraer cáncer no se debe ignorar.

Actualmente se ha desarrollado una vacuna que se puede aplicar a las niñas para prevenir contraer cáncer cervical o del cuello uterino por infección viral.

Herpes simple

Ésta es otra ITS producida por virus. Está muy extendida en la población y cuando se adquiere permanece por toda la vida, es decir, produce infecciones latentes. Los individuos afectados permanecen sin síntomas por meses o años. Los primeros síntomas son inflamación, dolor y comezón intensa en el pene o en los genitales externos de la mujer; posteriormente aparecen ampollas en los genitales y en los muslos y glúteos.

Infecciones bacterianas

Sífilis

Ésta es una de las enfermedades más contagiosas y peligrosas de transmisión sexual que se conocen. Es causada por la bacteria *Treponema pallidum* que penetra las mucosas de la boca, la vagina o el recubrimiento de la uretra. Se puede transmitir también a través de la placenta, de la madre al feto, causándole graves daños como ceguera o diversas malformaciones.

La enfermedad es sumamente peligrosa porque se desarrolla en tres fases; la primera se caracteriza por la aparición de una llaga, que pronto desaparece y muchas veces pasa desapercibida; en la segunda fase hay fiebre, dolor de cabeza y pérdida de apetito; los nódulos linfáticos se inflaman conforme la bacteria se va extendiendo por todo el cuerpo; en la última etapa, los pacientes desarrollan parálisis, insensibilidad e incluso demencia. Esta enfermedad puede ser curada con penicilina si se atiende en sus primeras fases; en la tercera fase, el tratamiento con este antibiótico debe alargarse por más tiempo.

Gonorrea

La bacteria *Neisseria gonorrhoeae*, responsable de esta enfermedad, infecta la uretra del varón, y el canal vaginal y cervical de la mujer. A menudo la infección pasa inadvertida; pero en ocasiones, después de 1 a 14 días de la relación sexual, se produce una descarga de pus a través de la uretra y dolor al orinar en el varón; en las mujeres ocasiona fuertes dolores en el bajo vientre y un flujo vaginal blanquecino. Si el tratamiento se aplica inmediatamente después de la primera aparición de los síntomas, la infección cede fácilmente con antibióticos. La falta de tratamiento puede ocasionar daños en la próstata y en el epidídimo de los varones; además, se producen lesiones en la uretra que dejan cicatrices permanentes que impiden el paso libre de la orina. En las mujeres la infección puede dispersarse y llegar a los oviductos que se bloquean con las cicatrices, provocando infertilidad al impedir el paso de los espermatozoides y óvulos. La madre infectada con gonococo puede infectar a su hijo en el momento del parto.

Tratamiento de las enfermedades de transmisión sexual

Junto con los embarazos no deseados, las ITS constituyen un grave problema de salud pública. Se requiere mayor información, clara y oportuna acerca de los métodos para evitarlas. Por ejemplo, el uso del condón masculino y femenino (figura 3-30).

El ejercicio de una sexualidad responsable evitará el contagio de enfermedades de transmisión sexual y embarazos no deseados. Para ello, es necesario considerar los métodos anticonceptivos.

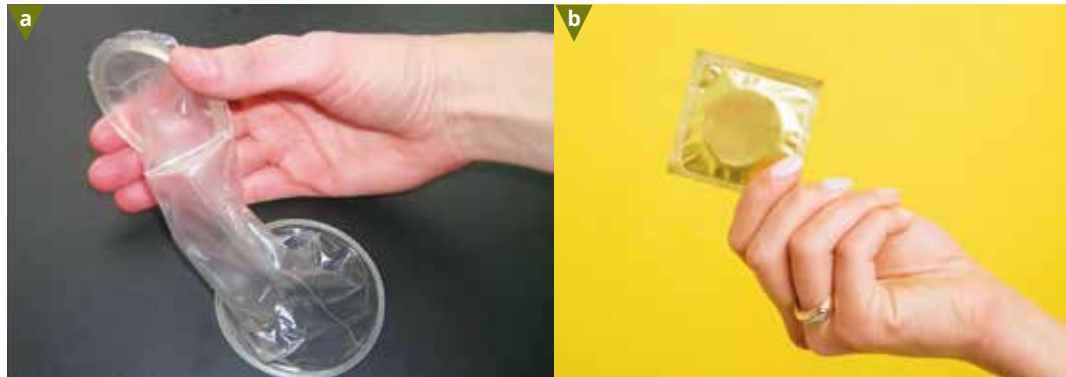


Figura 3-30.

a) Femidón, condón femenino. b) El condón bien utilizado es uno de los métodos más seguros para prevenir las ITS.

Métodos anticonceptivos

Los métodos anticonceptivos pueden evitar que el óvulo y espermatozoide se unan o que no prosiga el desarrollo embrionario.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana *NOM 005-SSA2-1993, De los Servicios de Planificación Familiar*, existen diferentes tipos que se pueden catalogar de la siguiente manera:

- a) Temporales
 - Hormonales orales.
 - Hormonales inyectables.
 - Hormonales subdérmicos.
 - Dispositivo intrauterino.
 - De barrera y espermicidas.
 - Naturales o de abstinencia periódica.
- b) Metodos permanentes
 - Oclusión tubaria bilateral.
 - Vasectomía.

Métodos temporales. Hormonas orales

Los anticonceptivos hormonales se basan en el conocimiento que se tiene acerca de las hormonas que controlan los ciclos menstruales de la mujer y que determinan cuándo el ovario debe liberar un óvulo y cuándo el recubrimiento del útero o matriz se desgarrará para dar lugar a la menstruación. El control de estos eventos es de tal manera exacto, que cuando el óvulo es fecundado, inmediatamente una de las hormonas actúa sobre la pared externa del útero evitando su desprendimiento, pues su textura esponjosa favorece que el embrión se implante, para continuar su desarrollo. Por esta razón, una falta menstrual es un posible indicio de que hay un embarazo.

Los anticonceptivos hormonales pueden ser anovulatorios, es decir, impiden que el óvulo salga del ovario; además, pueden espesar el moco cervical para impedir el paso de los espermatozoides y actúan sobre la pared del útero

para que no pueda implantarse el embrión; algunos actúan solamente sobre el moco cervical. Su presentación es muy variada: pastillas, inyecciones, parches o implantes en la piel (figura 3-31). Si bien son muy eficaces, es necesario un estricto control médico, pues pueden tener efectos nocivos en algunas mujeres; además, si no se usan diariamente como se indica en el instructivo, el control hormonal se altera provocando la ovulación y aumentando el riesgo de embarazo. Las mujeres que optan por este tipo de anticoncepción deben someterse anualmente a la prueba de Papanicolau, que consiste en tomar una pequeña muestra de tejido del cuello del útero, pues se ha visto que existe una correlación entre el uso de los anticonceptivos hormonales y el desarrollo de cáncer cervical.



Figura 3-31. La pastilla anticonceptiva pertenece al grupo de métodos hormonales.

Píldora del día siguiente

Son anticonceptivos de emergencia. Su uso debe restringirse cuando el condón se rompe o cuando hay un caso de violación. La sustancia activa es progesterona cuyo papel es la de impedir la implantación del embrión. Se usan bajo prescripción médica y de ninguna manera deben usarse como método anticonceptivo regular, pues puede alterarse seriamente el ciclo menstrual.

Métodos temporales de barrera y dispositivo intrauterino

Los mecanismos físicos de barrera que impiden el encuentro entre el óvulo y el espermatozoide están representados por el condón masculino y femenino. El diafragma y la esponja impregnada de espermicidas son otros mecanismos físicos de barrera; el primero es un anillo flexible recubierto con una membrana de látex que se coloca directamente en la entrada del útero para evitar el paso de los espermatozoides; se usa junto con un gel espermicida para aumentar su eficacia. El ginecólogo debe establecer cuál es el tamaño de diafragma que conviene a cada mujer. La esponja vaginal tiene el mismo papel que el diafragma: obstruye la entrada al útero pero, por ser muy adaptable al tamaño de la vagina, no necesita prescripción médica.

Existe, además, el dispositivo intrauterino (DIU), que son pequeños objetos de metal o plástico en forma de espiral, de T (figura 3-32) o de 7, que el ginecólogo inserta en el útero para evitar la implantación del embrión. Por ser un cuerpo extraño, en algunas ocasiones se expulsa sin que la mujer se percate de ello, y algunas veces, se produce el embarazo a pesar del dispositivo.

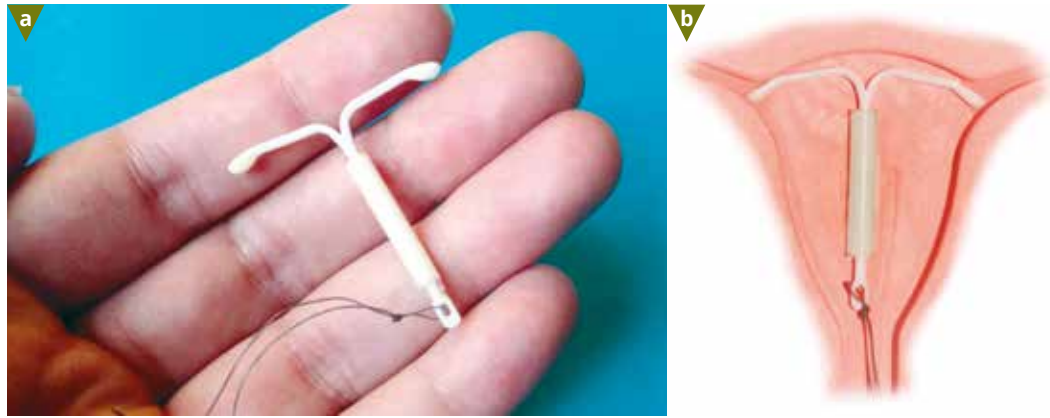


Figura 3-32.
a) DIU. b) Colocación.

Métodos temporales o de abstinencia periódica

Estos requieren de un cuidadoso conocimiento de las funciones corporales. Por ejemplo, el llamado coito interrumpido, que simplemente evita la eyaculación dentro de la vagina, no es seguro, pues requiere de un gran control corporal de parte del varón, lo que es muy difícil de lograr en un adolescente, además de que las primeras gotas que salen del pene pueden contener espermatozoides suficientes para producir un embarazo.

El llamado ritmo o método de Ogino Knauss, se basa en la periodicidad de la ovulación en la mujer; de acuerdo con esto, si se restringe la actividad sexual en el periodo fértil se puede evitar el embarazo; sin embargo, la regularidad del ciclo se altera constantemente, por lo que no es aconsejable.

Existen otros métodos como el de la temperatura basal, que consiste en la toma de temperatura diaria y su registro, para detectar el momento en que ha ocurrido la ovulación que se caracteriza por un aumento de temperatura de medio a un grado. La toma de temperatura debe hacerse durante varios meses para conocer la manera en que se comporta el ciclo y de esta manera se puedan planificar los periodos de abstinencia para evitar el embarazo.

El método Billings se refiere a la observación diaria del moco cervical que sale por la vagina; la mujer aprenderá con el tiempo que esta secreción cambia de aspecto en ciertos días del ciclo: si adquiere consistencia de clara de huevo y no tiene olor ni color, es señal de que la mujer es fértil. En ambos casos, si se desea evitar el embarazo, no hay que tener relaciones sexuales siete días antes y siete días después de observar un aumento en la temperatura o la producción de un moco fluido; pero los dos métodos requieren de gran entrenamiento y de la supervisión de un médico.

Métodos temporales espermicidas

Se caracterizan por el uso de sustancias que dañan a los espermatozoides o impiden la fecundación. Estos métodos incluyen el uso de espumas, geles o supositorios vaginales llamados óvulos. A la fecha, se usan en combinación con métodos físicos.

Métodos permanentes de oclusión tubaria bilateral y la vasectomía

Se denominan también métodos de esterilización. La ligadura de trompas o de oviductos en la mujer se hace mediante una pequeña incisión en el vientre (figura 3-33). En los varones, la vasectomía consiste en un corte en el escroto para localizar los conductos deferentes y proceder a cortarlos y cauterizarlos (figura 3-34). Esto impedirá la salida de los espermatozoides del testículo. El varón continuará teniendo eyaculaciones normales, sólo que el líquido expulsado no contendrá espermatozoides. Ambos procedimientos pueden ser reversibles.

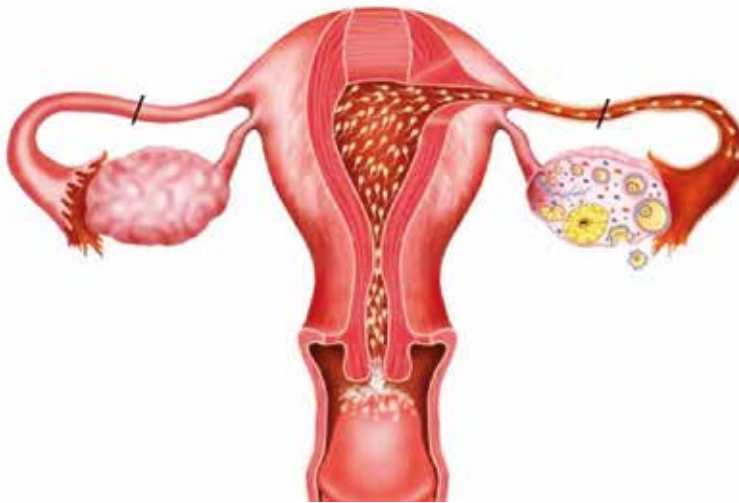


Figura 3-33. Ligado de las trompas de falopio.



Figura 3-34. Vasectomía.

4 | Evolución

La *evolución* se refiere a los cambios heredables en las características morfológicas, fisiológicas y la constitución genética, que ocurren en las poblaciones de seres vivos a lo largo del tiempo. El proceso evolutivo es visible en el desarrollo de *adaptaciones*, que constituyen rasgos que permiten a los organismos sobrevivir y reproducirse; en la gran *diversidad biológica* que existe en nuestro planeta, resultado del surgimiento de nuevas especies y grupos taxonómicos; y en la *extinción* de ciertos grupos de seres vivos. Estas transformaciones son el producto de una serie de acontecimientos y procesos naturales que han dado lugar a los millones de organismos que existen y han existido sobre la Tierra, incluyendo nuestra propia especie.

El enfoque evolutivo es fundamental para el estudio de la vida porque permite comprender los aspectos que unifican a los seres vivos, como la realización de funciones y procesos metabólicos, tales como la nutrición, la respiración y la reproducción; además, explica las variaciones que existen en las estructuras, mecanismos y estrategias que los distintos grupos de seres vivos presentan para llevarlas a cabo, características que les han posibilitado la adaptación a los distintos ambientes en los que viven. Por esta razón, el estudio de conceptos fundamentales en este campo del conocimiento biológico permite una mejor comprensión de los temas abordados en este libro.

En esta unidad se explica, de manera breve, la evolución biológica; se presentan las evidencias de estos procesos, las fuerzas evolutivas a las que se someten los seres vivos, así como el papel que juegan los cambios en el genoma de las especies. Se aborda también, de manera general, el origen y la evolución de los seres humanos.

Introducción

Actualmente se considera que el universo se originó hace 13 000 millones de años, la Tierra hace 4 500 millones de años y los seres vivos hace aproximadamente 3 800 millones de años; es decir, la vida surge en la cuarta parte de la historia del universo.

Los primeros seres vivos fueron formas diminutas parecidas a las bacterias actuales. A partir de dichos organismos evolucionaron todos los seres vivos que han existido y que existen en la Tierra, a través de cambios graduales o drásticos,

Figura 4-1.

La evolución, como proceso dinámico, nos explica el origen de nuevas especies, la adaptación a los diferentes ambientes y la extinción de ciertos grupos de seres vivos, como el caso de los dinosaurios.

Fuente: www.dinosaurios.info



dando lugar a una gran diversidad de especies. A pesar de las grandes diferencias encontradas entre los microorganismos unicelulares y los organismos pluricelulares, todos hemos evolucionado a partir de un grupo de ancestros comunes, por lo que compartimos muchas semejanzas moleculares, celulares y morfofisiológicas, con todos los organismos actuales y extintos (figura 4-1).

En biología, cuando hablamos de evolución, nos referimos a la transformación de los seres vivos en el tiempo, en aspectos morfológicos, fisiológicos, genéticos, conductuales, etcétera.

La evolución es un proceso dinámico que comprende, entonces, tres procesos fundamentales: la formación de nuevas especies –las miles de especies actuales que en conjunto forman la biodiversidad del planeta–, la adaptación a diversos ambientes –la de las aves al vuelo, por ejemplo–, y la extinción –la de los dinosaurios y mamuts, o la de nuestros antepasados del género *Australopithecus*–.

El estudio de la evolución biológica ha transformado no sólo nuestra concepción acerca de la vida en la Tierra, sino que ha impactado todos los ámbitos de la vida humana ya que, además de brindar una explicación científica de la biodiversidad, del origen común de todos los seres vivos y otros fenómenos biológicos, ha cambiado la visión estática y predeterminada del mundo y ha hecho posible explicar el origen natural de todas las especies, incluida la humana.

Antes de abordar con más detalle algunos conceptos y teorías, es importante distinguir dos aspectos fundamentales para comprender el proceso evolutivo. Por un lado, reconocer que la evolución es un hecho plenamente demostrado; y por el otro, que existe un conjunto de teorías que se han planteado para explicar dicho proceso. Por ello, debemos estudiar los razonamientos y las evidencias en que los biólogos evolutivos se basan para afirmar la existencia de la evolución de las especies, así como las distintas teorías que se han planteado para explicar cómo se transforman las especies a través del tiempo.

- Hecho: hipótesis o modelos científicos que se han establecido fuera de toda duda razonable.
- Teoría o modelo: cuerpo de conocimiento, grupo de explicaciones o principios relacionados entre sí, y los hechos que los sostienen.

La evolución como hecho

Una de las evidencias más contundentes del hecho de la evolución es la gran diversidad de seres vivos que existen en nuestro planeta; dichas evidencias nos muestran también que no siempre han sido los mismos. Los organismos que vemos en la actualidad son diferentes a los que existieron hace algunas decenas o miles o millones de años. Sabemos que hay especies que se han extinguido; también se han descubierto especies que son muy diferentes y presentan características muy peculiares o “particulares”. Existen especies que presentan muchos rasgos en común, pero también variaciones en escalas espaciales y temporales, que han generado diferencias muy evidentes entre ellas, como es el caso de los camélidos de Asia y África, con los de Sudamérica.

La evolución como hecho va más allá: las relaciones que se han establecido entre grupos de especies no puede explicarse como producto del azar. Así, el saber que muchas plantas con flor han evolucionado mecanismos muy sofisticados para asegurar la polinización por organismos específicos, como las avispas, los colibríes o los murciélagos, es una evidencia de la existencia de evolución (figura 4-2).



Figura 4-2.
Abeja.
Fuente: pxhere.com

Evidencias a partir de las cuales es posible plantear que la evolución es un hecho

En la actualidad la evolución de los seres vivos es aceptada como un hecho científico; sin embargo, no siempre fue así. Durante mucho tiempo la visión bíblica que concebía a los organismos como creaciones divinas, perfectas e inmutables, fue la concepción dominante. A finales del siglo XVII, la introducción de explicaciones racionales sobre el cambio, tanto en la tierra como en los seres vivos, fue acompañada de pruebas que lo confirmaban. Desde entonces hasta nuestros días, los naturalistas y los biólogos evolutivos contemporáneos han hecho acopio de un cúmulo de evidencias que demuestran, sin lugar a dudas, que las especies evolucionan en el tiempo. Para llegar a esta aseveración, los biólogos y otros científicos han aportado infinidad de pruebas provenientes de diversos campos de estudio. Entre las más importantes están los parecidos en la anatomía y la fisiología, las semejanzas moleculares, las similitudes en el desarrollo embrionario, los fósiles,

la distribución de los seres vivos en la Tierra, entre otras. A continuación explicaremos algunas de ellas.



Figura 4-3.

Los fósiles, como los amonites de esta imagen, son evidencia clara de que la evolución es un hecho. Estuvieron en el planeta desde hace 400 millones de años (ma) y desaparecieron hace 66 ma.

Fuente: pixnio.com

Fósiles

Se sabe que existieron organismos diferentes en el pasado porque se han encontrado restos fosilizados en distintos puntos de la Tierra; gracias a este archivo histórico sabemos que hace millones de años existieron formas de vida como los dinosaurios o los tigres dientes de sable, que actualmente ya no existen. Las evidencias fósiles también nos han permitido entender que la Tierra ha tenido cambios continuos y que los continentes no han sido iguales ni han estado siempre en la misma posición; que se han desplazado a lo largo y ancho del globo terráqueo y que, en ocasiones, masas de tierra que actualmente conforman grandes montañas, en el pasado estuvieron en el fondo del mar (figura 4-3).

Similitudes anatómicas

Nuestras manos tienen huesos muy parecidos a los de las extremidades superiores de gatos, ballenas y murciélagos. Esos huesos, en combinación con diversos tejidos, forman estructuras más complejas que tienen distintas funciones en cada especie: a los gatos las extremidades les permiten caminar y trepar, a las ballenas nadar, a los murciélagos volar y a los humanos cortar, asir o maniobrar. Estas similitudes conforman la evidencia de que todos los vertebrados compartimos un ancestro común.

Similitudes moleculares

Todos los seres vivos tenemos **DNA**; en las secuencias de estas moléculas está la información genética. El **DNA** es una evidencia importante de la ancestría común de todas las especies del planeta; todas compartimos fragmentos idénticos o similares de esta molécula. El **DNA** nos ayuda a trazar las relaciones de parentesco desde el origen de la vida hasta las relaciones que se dan en el seno de nuestras familias (padres, hermanos, hijos); gracias a las similitudes del **DNA** sabemos que las especies actuales y extintas tienen relaciones evolutivas (filogenéticas) con las primeras formas de vida sobre el planeta. De esta manera, se puede afirmar que todos los seres vivos (bacterias, hongos, protozoarios, plantas y animales) formamos parte de un mismo grupo evolutivo, y que las especies y

organismos actuales tiene en su estructura genética la historia evolutiva de más de 3 800 millones de años. Desde esta perspectiva, la mayor evidencia de que los seres vivos compartimos un ancestro común es que las biomoléculas que realizan todas las funciones biológicas se rigen por un mismo código genético.

Similitudes en el desarrollo embrionario

Los embriones de los grupos filogenéticamente cercanos, es decir, con ancestros comunes, tienen un gran parecido en las etapas iniciales. Por ejemplo, los vertebrados, grupo constituido por mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces, tienen embriones indistinguibles en las primeras etapas de desarrollo, incluso presentan primordios de branquias que sólo los peces desarrollan y utilizan por completo. En los humanos, los arcos branquiales nunca llegan a ser funcionales, pero son la base sobre la que se originan posteriormente la cabeza y el tórax. De manera análoga a las aves y otros vertebrados, el embrión humano atraviesa una etapa en la que su corazón consta de dos cámaras como las de los peces, aunque su corazón funcional posee cuatro cámaras.

Biogeografía

Desde siglos pasados los naturalistas se percataron de que las especies no se distribuyen de manera homogénea en todo el planeta, sino que existen áreas de distribución limitadas para la mayoría de ellas. Por ejemplo, sólo encontramos canguros y koalas en Australia, de la misma manera que únicamente hay leones y jirafas en África. Los evolucionistas han explicado estos patrones de distribución como producto de la evolución.

Teorías para explicar el proceso evolutivo antes de las teorías evolutivas

Fijismo y la escala del ser

La percepción sobre la vida, su naturaleza, las relaciones que existen entre los organismos y con el medio no ha sido la misma en la historia de las sociedades humanas. Durante mucho tiempo se creyó que los seres vivos habían sido creados por alguna divinidad y que ocupaban un lugar específico en la naturaleza, por tanto no se consideraba la idea de que las especies se transformaban, ya que se pensaba que eran creaciones perfectas. Hasta el siglo XVIII se consideró, en el ámbito europeo, que los movimientos, las características y las acciones que cualquier especie realizara estaban reguladas por esa fuerza divina, y que todos los seres vivos presentes en la Tierra estaban organizados en la denominada *escala del ser*. A finales del siglo XVIII y principios del XIX se produce una transformación

de estas creencias; se introduce la idea de cambio a través de largos periodos de tiempo, tanto en la tierra como en los seres vivos, y en el campo de la ciencia se proponen algunas teorías que lo explican con base en el conocimiento científico.

Teorías evolutivas

Transformismo

A principios del siglo XIX el naturalista francés Jean B. Lamarck elaboró una explicación coherente sobre la variación dentro de cada especie observada en la naturaleza, así como de las visibles relaciones existentes entre muchas especies. Desde 1802, en materiales que preparaba para sus clases, plasmó sus ideas sobre la necesidad de integrar una ciencia que tuviera como objetivo el estudio de todas las formas vivas y que definiera un conjunto de principios filosóficos que dieran cuenta de los aspectos comunes de los organismos y del hecho más significativo de la vida: su transformación. En 1809 publicó su obra más importante, *Filosofía zoológica*, en donde plantea sus ideas más relevantes: la noción de que las especies no son fijas, sino que pueden cambiar debido a las condiciones del ambiente, gracias a su capacidad de adaptación. Consideraba que la naturaleza no había creado géneros, ni especies, ni variedades, ni razas, sólo individuos que se reproducen y se parecen a las formas anteriores, y que el ser humano, para poder organizar, estudiar las relaciones y conocer el origen de esa multiplicidad de individuos, se ve en la necesidad de construir de manera arbitraria conceptos taxonómicos.

Los principios filosóficos que Lamarck quería construir, a partir del estudio de los animales, tenían como objetivo general comprender el origen de la naturaleza física y moral del ser humano, explicadas en términos de causas naturales. Lamarck sostiene que las formas vivas no surgen de manera simultánea y con la complejidad que presentan, sino que se transforman de manera gradual, se derivan unas de otras mediante variaciones sucesivas que, en palabras de Lamarck, no son sucesiones lineales, sino en forma de ramificaciones que a veces hace imposible clasificar especies hermanas. Acepta la idea de generación espontánea de formas sencillas que darán paso a los primeros organismos, los infusorios que serán los seres vivos más simples. El origen y la variedad de los organismos, según Lamarck, descansan en características de los mismos seres vivos: su poder de variación y adaptación. Concibe a los seres vivos no como estructuras aisladas, sino inmersos en la naturaleza con la que interactúan; con ello destaca la importancia de las condiciones ambientales que, en combinación con la “tendencia a la complejidad”, darán como resultado el estado de las formas actuales, incluidas las más complejas, característica que nos hará creer –dice Lamarck– que hay un desarrollo progresivo, con finalidad, con objetivos, pero eso “es una simple apariencia y no una realidad”. Para explicar la influencia del ambiente utilizó las ideas comunes de su tiempo sobre el uso y desuso y herencia de los caracteres adquiridos, que plantean que entre más se utiliza un órgano o estructura éste se desarrollará más, y dicha transformación se pasará



Figura 4-4. Jirafas de Lamarck. Las jirafas mantuvieron sus cuellos estirados con frecuencia para alcanzar el alimento en las ramas altas.

a la descendencia. Por el contrario, considera que aquellos órganos que no se utilizan, con el tiempo se atrofian (figura 4-4).

Las aportaciones de Lamarck representaron un avance en la explicación sobre la transformación de los seres vivos, y aun cuando la idea de la evolución era compartida por algunos científicos de su tiempo, su teoría evolutiva no tuvo mucha aceptación a pesar de que fue ampliamente leída; varios de los conceptos que incluyó en su explicación sobre la transformación de las especies (entre ellos el uso y desuso, herencia de caracteres adquiridos e influencia del ambiente, usados incluso por Darwin), fueron profundamente cuestionados y rechazados con el surgimiento de las nociones modernas de la herencia. Sin embargo, es importante resaltar que plantea la primera explicación racional sobre la evolución, reforzando la noción de que las especies no son fijas (ideas que ya habían sido expuestas por otros naturalistas, como Erasmo Darwin, abuelo de Charles) y destacando la influencia del ambiente en este proceso.

Evolución por selección natural

Algunas décadas después, Charles Darwin (figura 4-5) plantea ideas fundamentales sobre el estudio de la vida, que constituyen la base del pensamiento evolutivo moderno ya que explican el origen, transformación, historia y diversidad de los seres vivos en el planeta.

La infancia y parte de la juventud de Darwin se desarrolló en el seno de una familia con raíces religiosas. Sin embargo, sus estudios en la universidad de Cambridge le permitieron relacionarse con algunos de los más destacados académicos de su época; conocer las ideas naturalistas más recientes y realizar un viaje alrededor del mundo a bordo del barco *Beagle* (1831-1836), donde pudo establecer comparaciones, observar la gran diversidad presente en el mundo y la gran variación de ambientes y climas. Su reflexión posterior sobre estas observaciones le ayudó a aclarar y desechar muchas de las ideas equivocadas que defendía la ciencia de su tiempo.

Los aspectos fundamentales en los que descansa su teoría de la evolución por selección natural son:

- a) La idea misma de que existe evolución, es decir, que las especies cambian en el tiempo, pero que mantienen una relación con el ancestro del cual

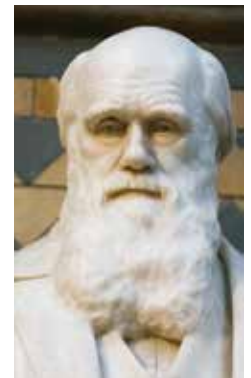


Figura 4-5. Darwin.

descienden. En este mismo sentido, Darwin plantea que los cambios que ocurren entre las especies son graduales y con el tiempo hay divergencias, formándose así nuevas especies.

- b) La existencia de variación dentro de una misma especie, que es la base para que existan diferencias entre los individuos de una misma especie y pueda ocurrir la competencia (recursos, espacio).

Estos conceptos los utiliza para explicar la complejidad en los patrones de distribución de las especies en el mundo, la relación entre los aspectos morfológicos, fisiológicos de las especies, y su relación con el ambiente y con otros organismos; de esta manera, ofrece una interpretación coherente, sistemática e integrada de los procesos que ocurren en la naturaleza.

En su viaje en el *Beagle*, Darwin encuentra que no eran válidas las afirmaciones que en su tiempo se tenían sobre la distribución geográfica de las especies; no se esperaba que ambientes similares tuvieran especies diferentes o que ambientes muy distintos estuvieran poblados por especies parecidas. Darwin también se percató de que no había anfibios en las islas; encontró numerosos fósiles de especies extintas en las pampas argentinas y marsupiales en Australia, entre muchas cosas que llamaron su atención, como la característica vida de las islas Galápagos pues se trata de un archipiélago en el que poblaciones de la misma especie quedan separadas para la reproducción. Pero algo que fue fundamental para la posterior elaboración de su teoría y que llamó grandemente su atención, fue el hecho de que a pesar de las grandes diferencias culturales entre los habitantes de Tierra del Fuego (Patagonia) y los europeos, no había duda de que pertenecían a la misma especie, *Homo sapiens*, que incluye a todos los seres humanos; con ello comprobó la gran variabilidad que hay en el interior de una especie. Observó también que la distribución de especies respondía más a patrones de dispersión de cada una de ellas.

Cuando regresó a Inglaterra y los científicos ingleses identificaron todos los especímenes vivos y fósiles que había colectado y se inició el proceso de análisis de sus observaciones, mismas que lo llevaron a construir su teoría, concluyó que la única manera de dar cuenta de todas sus observaciones era que las especies no habían permanecido inmutables una vez creadas; comprendió que en lugar de un instante de creación, había ocurrido un proceso de transformación de las especies en el tiempo, que comenzó con el surgimiento natural de la vida en la Tierra. Esto explicaría la distribución en los diferentes ambientes de la geografía terrestre, la presencia de los fósiles como los que encontró en las Pampas argentinas, la distribución de los mamíferos y marsupiales, la ausencia de anfibios en islas, la separación de los pinzones en las Galápagos, así como las maravillosas adaptaciones que todos los seres vivos presentan para realizar cada una de sus funciones. Posteriormente incluiría en su explicación la presencia de humanos en tierras tan lejanas del lugar donde se habían originado: África, otra vez la dispersión desde el lugar de origen de una especie.

Ante la reflexión sobre la abrumadora cantidad de información que obtuvo durante su viaje alrededor del mundo (1831-1836), Darwin terminó por conven-

cerse de que las especies del planeta tenían una relación de parentesco y que no se requerían explicaciones sobrenaturales para explicar cómo y por qué se transforman las especies. En las notas que escribió en 1837 menciona que encontró las respuestas que le permitían comprender las causas naturales de lo que en ese momento se llamaba "el misterio de los misterios", refiriéndose al origen de la vida y de las nuevas especies. Sus ideas fueron extensamente planteadas en el libro *El origen de las especies* que fue publicado en 1859. Los planteamientos centrales se resumen a continuación:

1. *Variación.* En la naturaleza existe variación entre los individuos que conforman cada una de las especies. Esta variación surge por azar, es decir, en su origen no tiene una función adaptativa y, por lo tanto, puede tener efectos benéficos, perjudiciales o no tener ningún efecto.
2. *Herencia.* La variación heredable, que se transmite a través de las generaciones, es el material de la evolución. La variación que surge se hereda y se va acumulando a través del tiempo de manera gradual, generando divergencia entre los linajes, al grado de conformar especies diferentes.
3. *Selección natural.* La fuerza que determina y que regula este proceso de divergencia es la selección natural; actúa favoreciendo a aquellos organismos que pueden sobrevivir y reproducirse, y elimina a los organismos que no tienen características que les permiten sobrevivir y reproducirse. En la explicación darwinista todas las especies, pasadas y presentes, comparten un ancestro común.

Este proceso evolutivo ha existido siempre, de tal forma que los organismos ahora extintos, estuvieron sujetos a estos mismos procesos (figura 4-6).

Un año antes de la publicación de *El origen de las especies*, el argumento de la explicación de Darwin fue presentado en la Sociedad Lineana acompañado de un escrito de un joven naturalista que estaba investigando las causas de la transfor-



Figura 4-6. La selección natural, explicada por Darwin, propone la existencia de diversidad de individuos en una población, con características morfofisiológicas diferentes. Alguna de estas características les proporciona una ventaja a esos individuos en un medio ambiente cambiante. Hoy sabemos que hubo mutaciones en los genes relacionados con el tamaño del cuello que provocan su crecimiento.

mación de las especies, y cuya teoría era similar a la que Darwin había trabajado durante cerca de 20 años. Ese joven naturalista era Alfred Russel Wallace, quien años más tarde, gracias a numerosos trabajos sobre la aplicación de la selección natural a la zoología y la antropología se convertiría en el más entusiasta defensor del darwinismo y la evolución.

Después de la publicación de *El origen de las especies* la biología cambió radicalmente. Las ideas de Darwin se convirtieron en uno de los paradigmas que guiaron la investigación en este campo de conocimiento; la teoría de la evolución, prácticamente en términos darwinistas, se convirtió en la idea articuladora de las diversas disciplinas biológicas e impactó a otras áreas del conocimiento científico y humanístico.

Teoría sintética de la evolución

A principios del siglo xx se pudo entender la naturaleza de la variación, las leyes de la herencia, la dinámica de la corteza terrestre, la variación en las características de la Tierra en cuanto a clima, altitud, latitud y longitud. La consolidación de disciplinas tradicionales como la paleontología, la taxonomía y la geología, así como el surgimiento de nuevas como la ecología, la biogeografía y la genética, permitieron integrar diversos conceptos y paradigmas en un conjunto de modelos conocido como la *Teoría sintética de la evolución*. Si bien la idea de la evolución por selección natural siguió siendo la base de las explicaciones evolutivas, se incorporaron nuevas fuerzas evolutivas que podían favorecer o limitar la evolución por selección natural: la mutación (incorporación de alelos nuevos a la población) y la deriva génica (cambios al azar en las frecuencias de los alelos y genotipos en la población). En 1973, Theodosius Dobzhansky sintetizaba todo ese movimiento en una de las frases más famosas de la historia de la biología: "Nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución".

En la actualidad y a la luz de los avances en el estudio de distintos niveles de organización de la vida, se precisan conceptos e incluso se plantean nuevas formas de abordarlos. En las últimas décadas se han realizado descubrimientos impresionantes en disciplinas como la sistemática, la biogeografía, la biología molecular, la paleobiología, la genética y la biología del desarrollo; se ha avanzado en la comprensión de la expresión génica, los mecanismos de diferenciación celular y la formación de órganos y tejidos; han surgido nuevos campos de conocimiento como la evo-devo, que trata de explicar la relación entre el proceso evolutivo y el desarrollo embrionario. Todas estas disciplinas han generado una gama de nuevos conocimientos que han ayudado a precisar, enriquecer y ampliar las explicaciones sobre los diversos fenómenos de la evolución y se ha construido un conjunto de modelos para abordar el estudio de diversos aspectos del proceso evolutivo. Pese a la existencia de polémicas pasadas y presentes, es innegable que existe un conjunto de explicaciones válidas que dan cuerpo a este apasionante campo de investigación que ha construido una explicación pluralista sobre diversos procesos evolutivos. A continuación se mencionan las más importantes.

Teoría del equilibrio puntuado

Una polémica recurrente en las explicaciones sobre la evolución se refiere a la gradualidad del proceso evolutivo. La idea de que la evolución es un proceso gradual no convenció a toda la comunidad científica. Algunos autores, como Stephen Jay Gould (1941-2002) y Niles Eldredge (1943) en la década de los setenta del siglo xx, cuestionaron las interpretaciones de Darwin y Simpson de que el registro fósil era incompleto debido sobre todo a fallas en la fosilización y a errores en el estudio paleontológico. Propusieron la *Teoría del equilibrio puntuado* (figura 4-7), que se refiere a un patrón de cambio rápido (especiación) seguido de largos periodos en los cuales no se aprecia cambio aparente en el fenotipo de los organismos (estasis). Esto significa que los huecos del registro fósil son el resultado de la manera en que se forman especies nuevas, por lo que no hay que esperar que aparezcan formas intermedias puesto que nunca existieron. Actualmente se considera que esta explicación más que ser contraria al darwinismo, es complementaria del proceso evolutivo.

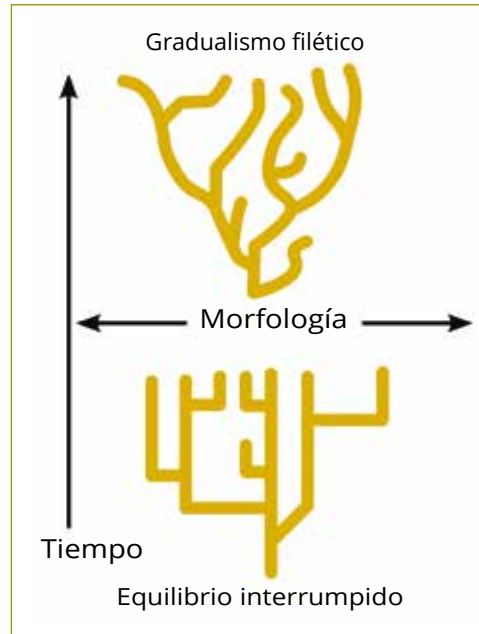


Figura 4-7. Equilibrio puntuado.

Teoría neutral

Esta teoría, planteada a mediados de los años setenta del siglo xx por Motoo Kimura (1924-1994), constituyó una explicación alternativa en el ámbito molecular y planteó algunas diferencias con la teoría sintética. Kimura colocó a la mutación aleatoria y a la deriva génica como actores centrales de la evolución a nivel molecular, desplazando a la selección natural del papel protagónico. El punto principal que establece la teoría neutralista es que la mayoría de los genes mutantes en ese nivel son selectivamente neutros, es decir, no tienen ni más ni menos ventajas adaptativas que los genes que sustituyen. Por lo tanto, la mayoría de los cambios evolutivos se debe al azar, a la deriva génica de genes equivalentes. Los neutralistas sostienen que algunas mutaciones pueden difundirse en una población sin tener ninguna ventaja selectiva o, si son equivalentes a alelos preexistentes, su suerte depende del azar. Sin embargo, en su propuesta original, Kimura considera que la *Teoría neutral* no es antagónica de la evolución por variación y selección natural, sino que simplemente pone de manifiesto otra faceta del proceso evolutivo.

Teoría endosimbiótica

Hasta mediados del siglo xx el estudio de la vida se enfocaba en los organismos macro, visibles, básicamente plantas y animales, así como a sus rasgos fenotí-

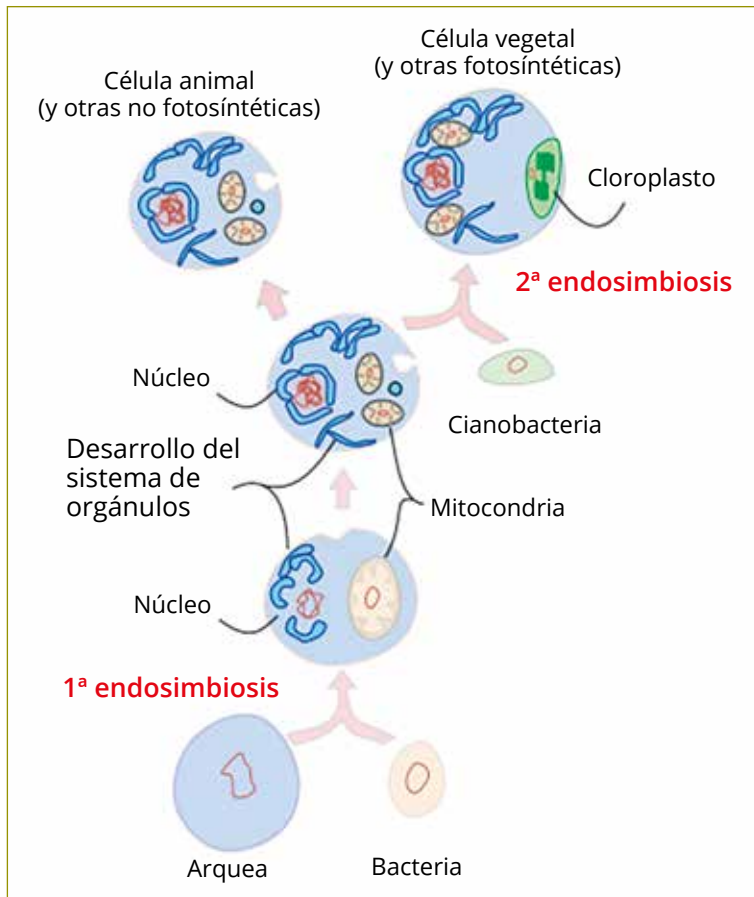


Figura 4-8.
Teoría endosimbiótica,
propuesta por Lyn
Margulis.

picos (tipo o tamaño de patas, color de la flor, forma del cuerpo). A principios de los años setenta del siglo xx, el estudio de la evolución da un giro sustancial al conocerse la *Teoría endosimbiótica o Simbiogénesis* propuesta por la bióloga estadounidense Lynn Margulis (figura 4-8). A partir de sus estudios de las mitocondrias de plantas y animales observó que tenían una semejanza muy grande con las bacterias, al igual que los cloroplastos de las plantas. Propuso que en el pasado bacterias simbióticas integraron sus genomas completos, dando lugar a organismos pluricelulares. El descubrimiento colateral del DNA en mitocondrias fue fundamental para consolidar dicha teoría, de manera que se pudo tener suficientes evidencias para demostrar que las mitocondrias (de células animales y vegetales) y los cloroplastos (de células vegetales) descienden de bacterias.

La evolución a la luz de la genómica

El descubrimiento del DNA y RNA como moléculas base de la herencia de las características, abrió una puerta más al entendimiento de los procesos evolutivos a nivel molecular. Ahora se trata de entender, en primera instancia, cómo ha evolucionado (transformado) el genoma de las especies y, en segunda instancia, qué relación hay entre los cambios que ocurren a nivel de las secuencias de bases nitrogenadas en el genoma y la evolución de especies emparentadas.

En cuanto a la evolución del genoma de los seres vivos, se sabe que no existe una correlación significativa entre el tamaño del genoma, cuantificado como pares de bases nitrogenadas (pb), y la complejidad estructural y funcional; por ejemplo, el tamaño del genoma de un ratón es muy similar al del humano (3 millones de pb). Este genoma está conformado por regiones no codificadoras (no sintetizan alguna proteína) y por regiones codificadoras (sintetizan alguna o algunas proteínas). El porcentaje del genoma codificante varía entre organismos; en el caso de los vertebrados, se ha demostrado que sólo 5% corresponde con secuencias que codifican para proteínas.

También se sabe que el genoma de cada especie ha estado sujeto a diversos eventos estocásticos como mutaciones azarosas, duplicación de genes, incorporación de genes procedentes de otras especies (transferencia horizontal).

Finalmente, existen diversas funciones de los genes incluso de las regiones no codificadoras. En relación con los genes, algunos de ellos sintetizan proteínas

estructurales o reguladoras de procesos. Sin embargo, otros son responsables de regular el plan de desarrollo de cada especie (genes homeóticos, **figura 4-9**) y son responsables del surgimiento de ciertas novedades evolutivas (alas en lugar de patas en los insectos; sépalos o pétalos en lugar de hojas, en las plantas, etc.).

Estudios recientes en bacterias y virus indican que el intercambio de genes es un fenómeno común, de tal forma que existen metapoblaciones (conjunto de individuos de diferentes especies en un área geográfica común) cuyos genomas interactúan de manera dinámica. Esta dinámica de transferencia horizontal, aunado a la complejidad de los genomas analizados, sugieren que la historia de la vida, es decir, las relaciones evolutivas, se explican por interacciones entre procesos de evolución reticular, en donde la transferencia horizontal es el proceso central, junto con la existencia de patrones de ramificación.

La concepción sobre el surgimiento de la vida ha cambiado en el tiempo. En la actualidad se acepta que la evolución ocurre por diferentes mecanismos, algunos conllevan cambios graduales y otros ocurren de manera drástica.



Figura 4-9. Genes homeóticos. Tras sufrir una mutación pueden transformar un segmento de su cuerpo en una réplica de otro. En este caso en lugar de antenas se desarrollaron patas.

Fuerzas evolutivas y evolución

En la sección anterior se describieron algunas de las fuerzas evolutivas que se han propuesto para entender la evolución: selección natural, deriva génica y mutación. A éstas se puede añadir la migración y la endogamia como procesos que generan evolución.

La evolución no puede concebirse como un proceso individual. Es decir, tiene que ocurrir en el seno de un grupo de individuos que se aparean y producen descendencia fértil para que la variación heredable se exprese. En este sentido, el estudio de la composición genética de las poblaciones (genotipos y alelos) ha sido fundamental para entender los mecanismos o fuerzas evolutivas que pueden estar moldeando dicha composición.

Una parte importante de la biología evolutiva la conforman los modelos que explican el cambio en el acervo genético de las poblaciones sujetas a las diferentes fuerzas evolutivas. Para entender estos cambios se utilizan marcadores moleculares que permiten detectar la variación genética presente en un conjunto de genes (proteínas) o fragmentos de genes (secuencias de nucleótidos). Dependiendo del tipo de marcador, se pueden cuantificar todos o alguno de los genotipos presentes en la población e inferir cuál o cuáles fuerzas evolutivas están moldeando las características genéticas de la población, así como sus posibles implicaciones.

¿Cómo afectan estas fuerzas evolutivas a la composición genética de las poblaciones de determinada especie? ¿Qué procesos históricos relacionados con migraciones, cambios geológicos, cambios climáticos podemos inferir a partir de la información genética?

Mutación

Esta fuerza evolutiva es la base de la variación genética. Consiste en cambios que ocurren en una o algunas de las bases nitrogenadas que codifican para determinada proteína. Las mutaciones surgen de manera aleatoria entre algunos de los individuos de la población (figura 4-10). Sin embargo, en un momento dado pueden estar sujetas a otras fuerzas evolutivas, como la selección natural, si estas mutaciones modifican de manera significativa la respuesta que pueden tener los individuos que la portan a determinadas condiciones ambientales. Hay mutaciones que les confieren una ventaja a los organismos que las portan (mutaciones ventajosas), mientras que otras disminuyen la sobrevivencia o la reproducción de los mismos (deletéreas) e, incluso, pueden provocar la muerte (letales).

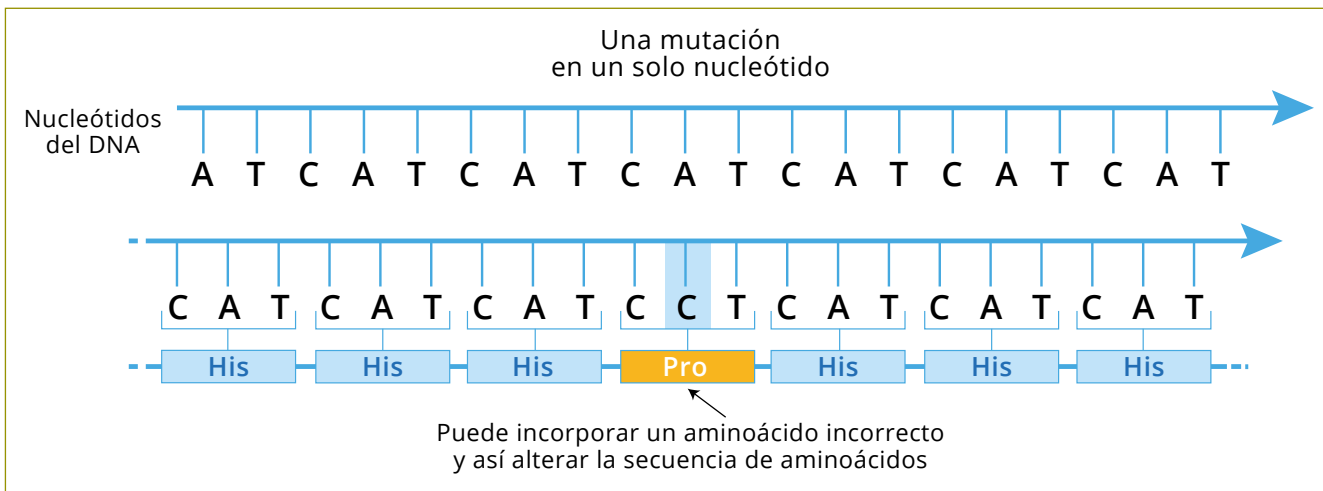
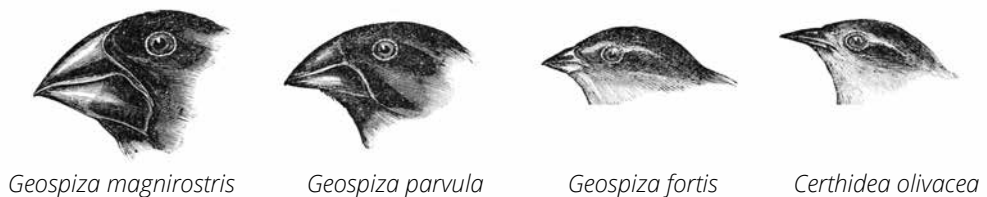


Figura 4-10. Mutación.

Selección natural

Esta fuerza evolutiva favorece a aquellos genotipos que presentan mayor sobrevivencia y reproducción, y reduce o elimina la frecuencia de aquellos menos aptos (figura 4-11). Dependiendo de cuál es el tipo de selección que opera, será el o los individuos que sobrevivan. La selección natural es la causa de la adaptación de los organismos a determinadas condiciones ambientales, ya que los organis-

Figura 4-11. Pinzones de las Islas Galápagos : Los diferentes tamaños y picos de los pinzones de las islas galápagos están plenamente adaptados a las diferentes fuentes de alimento que existen en cada isla.



mos que presenten las variaciones más adecuadas serán los que tengan más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Por ejemplo, en sitios donde existe acumulación de metales pesados en el suelo, no todos los individuos sobreviven. Sin embargo, algunos de ellos muestran resistencia a dichos compuestos y se ha visto que, a través del tiempo, son los que sobreviven y se reproducen, lo que se refleja en las características genéticas de la población.

Deriva génica

Éste es un proceso estocástico, es decir, ocurre como evento aleatorio particularmente en poblaciones que se fundan por un número pequeño de individuos. Cuando se reduce el tamaño poblacional por algún fenómeno natural como un huracán, el surgimiento de una barrera geográfica, por la migración y fundación de una nueva población por un número reducido de individuos, dichos individuos por azar pueden tener combinaciones genéticas que les permitan sobrevivir y reproducirse en las nuevas condiciones. Es decir, el azar determina la composición de la población (figura 4-12).

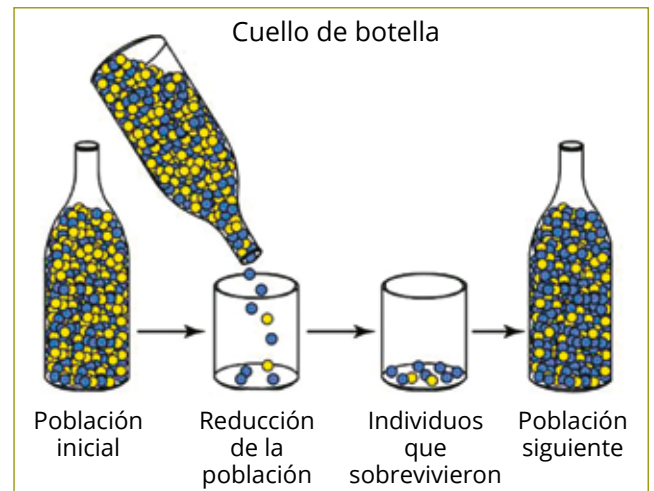


Figura 4-12. Deriva génica.

Endogamia

En poblaciones donde existe una gran cantidad de individuos (como la Ciudad de México, que somos 30 millones) la probabilidad de que dos individuos compartan el mismo ancestro (pariente) es muy baja, por lo que generalmente el apareamiento ocurre entre individuos que no comparten una historia familiar común. A esto se le conoce como apareamiento aleatorio. Sin embargo, entre más pequeña sea una población, la probabilidad de que dos individuos sean parientes cercanos, se eleva. Esto se conoce como endogamia (figura 4-13). La consecuencia

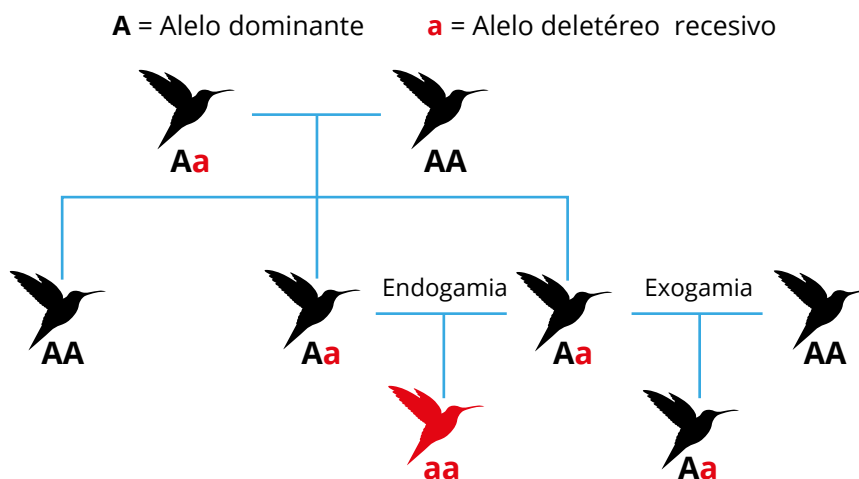


Figura 4-13. La endogamia puede producir que un alelo deletéreo aparezca muy pronto en una población. Como se puede ver en este ejemplo con colibríes.

más inmediata de la endogamia es que la diversidad genética de la población se reduce, ya que la información genética de la mayoría de los individuos es casi la misma. Otra consecuencia tiene que ver con las mutaciones desventajosas (deletéreas o letales) porque bajo condiciones de apareamiento aleatorio, dichas mutaciones se presentan en muy baja proporción. Sin embargo, al ocurrir la endogamia, estas mutaciones pueden incrementar mucho su frecuencia y provocar que en dichas poblaciones, ciertos padecimientos, mal funcionamientos metabólicos, celulares, la presencia de ciertos organismos deformes, etc., sean más comunes de lo normal. Así, si en una población grande la proporción de individuos con anemia falciforme (padecimiento que provoca que los glóbulos rojos se deformen y por tanto no captan suficiente oxígeno) es muy baja, cuando ocurre endogamia, en la población se encontrará una gran proporción de individuos debido a que los parientes comparten gran parte de la información genética, incluyendo dicho padecimiento.

La adaptación y la supervivencia diferencial de los seres vivos

La capacidad que tienen los organismos para responder en términos de supervivencia y reproducción a los problemas que plantea el ambiente, se conoce como *adaptación*. En principio, este proceso se atribuye a la selección natural, ya que aquellos individuos que presentan variación en determinada característica o rasgos, son los que podrán sobrevivir mejor. No se trata de un proceso de preadaptación, sino más bien de que la naturaleza echa mano de las variaciones existentes en la naturaleza. Sin embargo, es posible que en algunas poblaciones donde se observa una respuesta adaptativa a cierta condición ambiental se hayan establecido, por deriva génica y a través del tiempo, pequeñas variaciones presentes o incluso generadas por mutación, favoreciendo a algunos de los individuos que son los que observamos con mayor supervivencia o éxito reproductivo.

Si bien las adaptaciones más sorprendentes o majestuosas corresponden a la adaptación al vuelo o al ambiente acuático, a las zonas desérticas o a los ambientes polares, existen adaptaciones más finas pero igualmente exitosas. Un caso corresponde a la adaptación de algunas especies a los herbicidas. Actualmente se ha visto que aquellas poblaciones sujetas a exposición continua a determinados herbicidas han desarrollado mecanismos a nivel fisiológico y celular que les permite sobrevivir y reproducirse y, aún más, son altamente resistentes a dichos compuestos. Otro caso corresponde a la adaptación que muestran algunas especies a la presencia de herbívoros. Diversas especies que son forrajeadas por insectos o mamíferos rumiantes, generalmente se dañan tanto que ya no pueden sobrevivir y mueren. Algunas sobreviven pero su capacidad de reproducción es muy baja o, incluso, no llegan a reproducirse. Sin embargo, existen especies que han desarrollado mecanismos de defensa muy finos, como tejidos duros, estructuras de defensa, producción de sustancias tóxicas, que les permiten evitar el daño de los herbívoros, provocando incluso la muerte de los mismos.

El concepto de adaptación se refiere a aquellos rasgos que le confieren una ventaja a los organismos que los portan en determinado ambiente. Es decir, no existe una adaptación absoluta, sino en función del ambiente en donde se desarrollen dichos organismos.

Para entender este proceso se propone que los alumnos observen algún organismo que se encuentre en un ambiente natural; puede ser un animal, una planta o un hongo. Por ejemplo, un colibrí visitando una flor, un hongo creciendo en un tronco, etc. Pida a sus alumnos que describan las características del organismo y del ambiente en el que habita. A partir de dicha observación y descripción, identifiquen cuál o cuáles podrían ser los rasgos adaptativos y que expliquen por qué.

Causas y consecuencias de la extinción

Todos nos hemos preguntado alguna vez por qué ya no hay tigres dientes de sable, dinosaurios o mamuts, o por qué tampoco existe ya el hombre de Neanderthal. La respuesta es porque así como se originan especies nuevas, también se extinguen otras; ambos procesos forman parte de la evolución biológica (figura 4-14). Se considera que una especie se ha extinguido a partir del instante en que muere el último individuo perteneciente a ella. Este proceso forma parte de la evolución y sucede todo el tiempo, aunque no nos enteremos. En muchos casos, las especies se extinguen debido a sus limitaciones o incapacidad

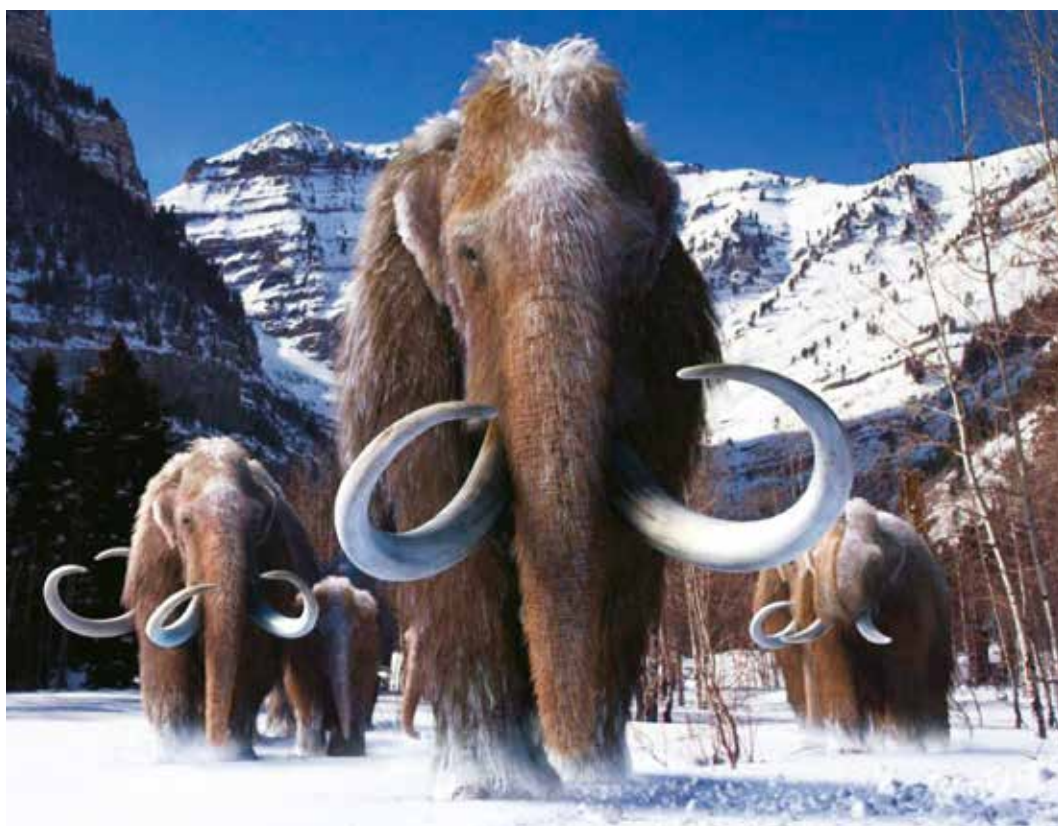


Figura 4-14.
Mamutes.
Fuente: alef.mx

para adaptarse; también por cambios ambientales o contingencias. De hecho, la historia de la vida en nuestro planeta se ha caracterizado por la existencia de periodos de extinciones masivas debidas a cambios ambientales catastróficos como erupciones volcánicas. Estas extinciones masivas eliminaron a las formas de vida dominantes, como fue el caso de los dinosaurios; sin embargo, después de estos periodos suelen originarse nuevas y variadas formas de vida. Por ejemplo, la extinción de los dinosaurios permitió que los mamíferos se diversificaran y entre ellos nos encontramos nosotros, los seres humanos. Los dinosaurios, ahora extintos, poblaban la Tierra hasta hace 65 millones de años. Actualmente sólo podemos ver a sus descendientes: aves y reptiles que provienen de algunas especies de dinosaurios. En los últimos años los seres humanos hemos ocasionado grandes cambios en el planeta –la grave contaminación del agua, del aire, del suelo, y la deforestación, entre otros– y, como consecuencia, se ha acelerado el proceso de extinción de muchas especies.

Un ejemplo significativo de extinción es el fósil Tiktaalik, un organismo que vivió hace aproximadamente 375 millones de años (figura 4-15). Este fósil fue encontrado en 2004 en la isla de Ellesmere, en Canadá, y representa la transición de la vida animal acuática a la vida animal terrestre. Estos organismos tenían características de pez como escamas y branquias, y otras cualidades que les facilitaron la conquista de la Tierra, como pulmones, articulación en las costillas y cuello móvil. Ésta es una de las mejores evidencias al día de hoy sobre la transformación de las especies: el origen de los anfibios a partir de alguna especie de pez. Recientemente, el 24 de junio de 2012, ocurrió la extinción más reciente. Se trata de la especie *Geochelone abigdoni*, una tortuga gigante de las islas Galápagos, cuyo último ejemplar murió en la fecha mencionada.

Figura 4-15.

Tiktaalik es de los primeros organismos anfibios que habitaron el medio terrestre.

Fuente: todosobrelaevolucion.org.mx



Evolución y la escala de tiempo

La vida surgió hace aproximadamente 3 800 millones de años y desde entonces ha estado sujeta a procesos de transformación, principalmente mediante la variación y la selección natural y otros mecanismos evolutivos. A partir de formas unicelulares se han diversificado en una gran multitud de especies. Después de los planteamientos de Darwin, esta historia puede representarse por medio de un árbol que simboliza las relaciones de parentesco entre los seres vivos.

La historia evolutiva en el planeta se ha relacionado con una escala de tiempo que representa distintos momentos geológicos de la historia de la corteza terrestre (figura 4-16). De manera muy resumida señalamos las cuatro grandes etapas (eones) de esta relación:

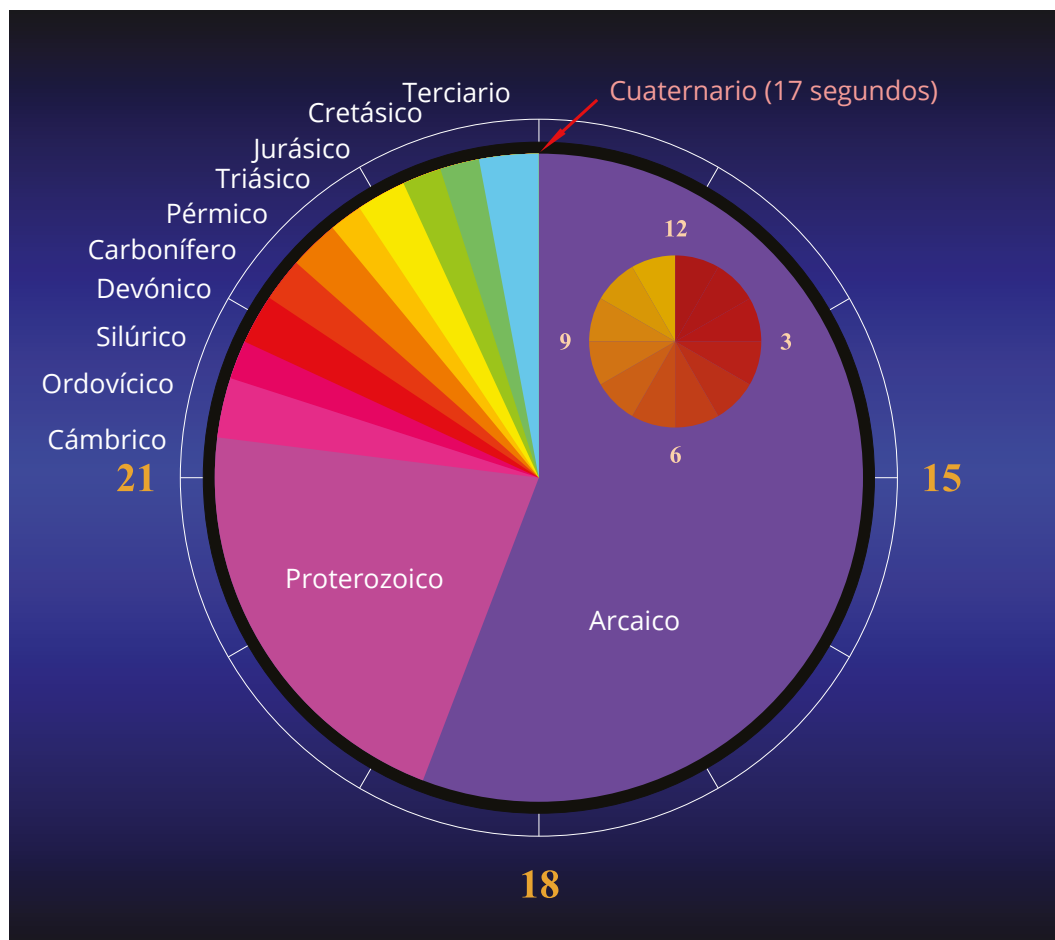


Figura 4-16.
Escala de tiempo.
Fuente: www.wikiwand.com

- *Hadeico*. Comienza con el surgimiento del planeta Tierra hace aproximadamente 4 700 millones de años y con la formación de la Luna hace 4 500 millones de años.
- *Arcaico*. Comienza hace 4 000 millones de años, hasta hace aproximadamente 2 500 millones de años. En esta etapa surgió la vida hace 3 800 millones de años; aparecen las primeras formas de vida unicelulares (probablemente bacterias y arqueas).
- *Proterozoico*. Desde 2 500 millones de años hasta hace 590 millones de años. En esta etapa surgen las primeras formas de vida unicelular complejas: protistas con núcleo y organismos con cuerpos blandos, difíciles de ser fosilizados.
- *Fanerozoico*. Desde 590 millones de años hasta nuestros días. Aparecen los animales que conocemos, vivos y fósiles.

Homo sapiens y evolución

Homo sapiens también está sujeto al proceso evolutivo y comparte ancestros comunes con los otros primates y los simios (figura 4-17) como el orangután, el

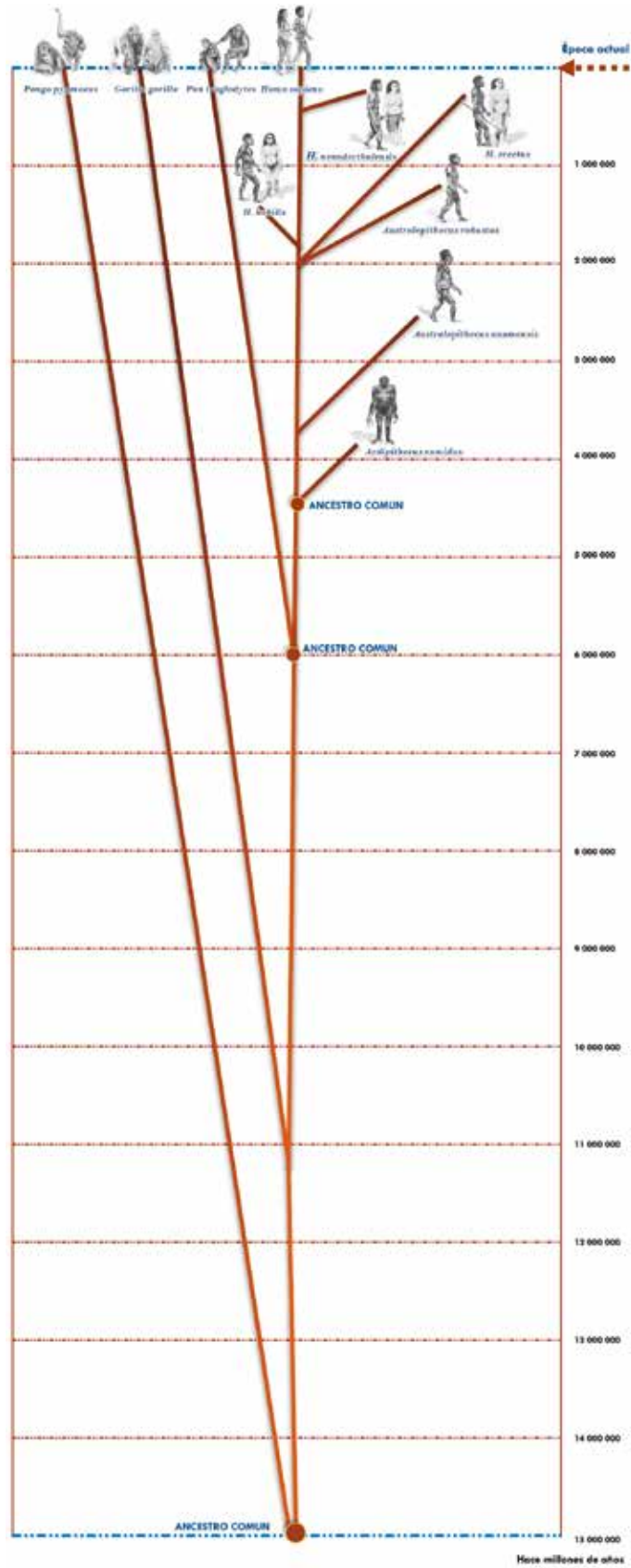


Figura 4-17.
Evolución humana.

gorila, el chimpancé y el bonobo, el último ancestro común que vivió hace unos 15 millones de años. Hoy se sabe que en el grupo de ascendencia de nuestra especie se encuentran los géneros *Ardipithecus*, *Australopithecus* y las diferentes especies de *Homo* como el *Homo habilis*, *Homo erectus* y *Homo neanderthalensis*. Cabe destacar, entonces, que el origen del árbol evolutivo del que parte nuestra especie se remonta a más de cuatro millones de años, considerando el surgimiento del género *Australopithecus*, aunque el grupo del género *Homo* apenas tiene unos dos millones de años. Si bien es de notar que el uso del fuego ocurrió en la época del *Homo erectus* hace aproximadamente un millón y medio de años, *Homo sapiens* ha tenido presencia en el planeta desde hace 300 000 años. Gran parte de su desarrollo ocurrió como nómada hasta que se volvió sedentario muy recientemente.

5 | La biodiversidad

La biodiversidad es la variedad de todos los tipos y formas de vida, desde los genes hasta las especies, a través de una amplia escala de ecosistemas. En esta definición se incluyen los tres niveles principales de la biodiversidad: *el genético*, que hace referencia a la diversidad de genes dentro de y entre las especies, ya que hay una variabilidad genética entre individuos de la misma especie y entre las especies; *el específico*, que hace referencia a las especies existentes; y *el ecosistémico*, que hace referencia a la variedad en un nivel superior de organización, como los ecosistemas.

Introducción

Aunque el concepto diversidad se ha empleado en ecología desde hace algunas décadas, a mediados los años sesenta del siglo pasado se estableció la combinación “diversidad biológica” en la literatura científica, y a partir de la presentación del libro *Conservation biology: An evolutionary-ecological perspective*. En 1980 Thomas Lovejoy afirmó: “Esta reducción en la diversidad biológica del planeta es el asunto más fundamental de nuestros tiempos.”

El término biodiversidad, como contracción de diversidad biológica, fue introducido en 1985 por Walter G. Rosen, quien pensó que la combinación biodiversidad sonaba más llamativa que “diversidad biológica”, término que utilizó por primera vez en un documento preparatorio para el que posteriormente se llamó *Foro Nacional de Biodiversidad*, que tuvo lugar en Washington D. C. en septiembre de 1986.

En 1988 apareció el libro producto de ese foro nacional con el título *Biodiversity*, editado por Edward O. Wilson y publicado por la National Academy Press.

Actualmente, a 25 años de su creación, la palabra biodiversidad es de uso común en la literatura científica; por ejemplo, en 2010 se publicaron 4 921 artículos en los que se utiliza este término.

¿Qué es la biodiversidad?

La biodiversidad es la totalidad de seres vivos que habitan o habitaron en la Tierra y que son el legado de miles de millones de años de evolución; en ese sentido,



Figura 5-1.

En México existen más de 60 razas diferentes de maíz, lo que representa una gran diversidad genética para la especie *Zea mays*.

Fuente: cimmyt.org.

la biodiversidad es un fenómeno dinámico que implica cambios continuos a través del tiempo, en el que las especies y ecosistemas se han ido transformando generalmente de manera gradual, de tal manera que la biodiversidad que vemos actualmente es muy diferente a la que existió en los distintos periodos de la historia geológica de la Tierra.

La biodiversidad está representada no solamente por los diferentes ecosistemas que se dan en la Tierra, sino también por la variedad de especies presentes en los mismos y la diversidad genética que existe entre los miembros de cada especie; por lo tanto, esta totalidad de vida se puede incluir en tres niveles de organización biológica: diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas.

El nivel genético hace referencia a las variaciones y características genéticas específicas dentro de las especies. Las diferencias en el DNA dentro de las especies dan lugar a tipos únicos, incluso a variedades y razas diferentes de plantas y animales. Por ejemplo, el maíz que se cultiva en México está compuesto por más de 60 razas diferentes, y en todo el mundo se han descrito unas 300 variedades que son genéticamente distintas (figura 5-1). Mientras mayor diversidad genética tenga una especie, mayor será su capacidad de adaptación a distintas condiciones, como temperaturas extremas, eventos de sequía, cambios en la disponibilidad de alimentos, enfermedades y otras. Por esto, una especie que exhibe poca diversidad genética es más vulnerable a la extinción.

El nivel específico se refiere a la variación en el número de especies presentes en una región. La Tierra es el hogar de millones de especies; se estima que existen entre dos y más de 10 millones en total, la mayoría de las cuales todavía no se han clasificado, pero comprende la diversidad de especies de bacterias



Figura 5-2.

Los organismos conocidos hasta el momento han sido agrupados en cinco reinos: *monera* (bacteria y arqueobacteria), *protista*, *fungi*, *plantae* y *animalia*.
Fuente: lifeder.com/

(bacterias y arqueobacterias), de protistas, hongos, plantas y animales que viven en un espacio determinado (figura5-2).

El tercer nivel es el ecosistémico o de ecosistemas, es decir, la comunidad de organismos que interactúan entre sí y con los componentes físicos y químicos del ambiente en el que habitan. Estos componentes físicos y químicos incluyen: luz solar, precipitación, nutrientes presentes en el suelo, salinidad y otros. Los ecosistemas son sistemas abiertos que intercambian un flujo de energía, reciclamiento de nutrientes e incluso organismos (aves, insectos, semillas) con los alrededores; por esto es muy difícil definir los límites físicos de un ecosistema. La diversidad biológica en este nivel tiene que ver con las intrincadas conexiones entre las especies que caracterizan a cada uno de los bosques tropicales perennifolios, subcaducifolios, caducifolios, espinosos, de *Quercus*, de coníferas y mesófilos de montaña; y al matorral xerófilo, pastizales, vegetación acuática y subacuática.

La preservación de la biodiversidad depende básicamente de la conservación de los hábitats en que cada una de estas especies lleva a cabo sus procesos vitales. El hábitat provee alimento y protección a las especies; a su vez, las especies realizan diferentes actividades en apoyo a su hábitat, ya sea que polinicen a las angiospermas esparciendo sus semillas, evitando el crecimiento desmedido de otras especies al depredar o competir o bien abonando el suelo con sus desechos, entre otras acciones que mantienen el balance ecológico. Las especies de plantas y animales se adaptan a su hábitat a tal grado que les sería prácticamente imposible sobrevivir bajo condiciones diferentes de temperatura, humedad, disponibilidad de alimentos, especies depredadoras y otras.

La definición de biodiversidad difiere según los autores; por ejemplo, Peter Raven menciona que “es el conjunto de plantas, animales, hongos y microorganismos del mundo, incluida su diversidad genética y la forma en la que se integran conjuntamente en comunidades y ecosistemas”, o el alcanzado en la Reunión sobre la Diversidad Biológica, art. 2: “la variación de organismos vivos considerados desde todos los puntos de vista, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos o de otros medios acuáticos, y los complejos ecológicos de los cuales

forman parte; esto incluye la diversidad intraespecífica, interespecífica y de los ecosistemas". En el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la biodiversidad se define como "el total de la diversidad y variación de los seres vivos y de los sistemas de los cuales forman parte".

Podemos decir que la biodiversidad es la variedad y variabilidad de los sistemas vivos y de los complejos ecológicos que ellos integran.

Los valores de la biodiversidad

La biodiversidad debe ser considerada como un recurso de enorme valor, en cuatro ámbitos diferentes:



Figura 5-3.
El valor estético de la biodiversidad se relaciona con el disfrute de la naturaleza. Cascada El Chuveje, Querétaro.
Foto: Ana Gabriela Zárate Gómez.

- a) **Científico:** la biodiversidad nos permite comprender los fenómenos biológicos. De su estudio podemos obtener información acerca de las relaciones de parentesco entre las especies (filogenia), de las relaciones espaciales entre ellas (biogeografía) y de sus relaciones con el ambiente (ecología).
- b) **Ético:** aceptamos que todo ser viviente tiene, por sí mismo, un valor por el hecho de existir y por tanto debe ser respetado.
- c) **Estético:** por la belleza que tiene un escenario natural y la satisfacción que los humanos obtenemos al contemplar la naturaleza. Hoy en día el turismo ecológico es una de las fuentes más importantes de divisas en los países que han sabido apreciar su incalculable valor (**figura 5-3**).
- d) **Productivo:** desde el punto de vista comercial, porque de ella obtenemos nuestra alimentación y muchas materias primas. En la medida que se conozca más sobre las especies de distintas regiones será posible ampliar la obtención de nuevos productos o bien mejorar los ya utilizados.

¿Cuántas especies existen?

De los posibles 10 millones de especies, 1.9 millones han sido debidamente identificados por los científicos, y los restantes 8.1 millones permanecen aún sin identificar. Al destruir un hábitat el ser humano no sólo está eliminando especies conocidas, sino que también destruye especies que aún no han sido identificadas y que podrían ser la solución a muchos de los males que aquejan a la humanidad.

¿Cómo podemos identificar las especies?

Importancia de la clasificación

Desde las primeras fases del desarrollo cultural de los humanos fue necesario el conocimiento profundo de su entorno para sobrevivir; conocer los ciclos climáticos, las migraciones de los animales, las plantas de las cuales se podía extraer medicamentos o que podían servir de alimento, y experimentar con distintos materiales con los cuales se podían elaborar diversos utensilios.

La mente humana, en forma natural, ordena y clasifica todo lo que le rodea. Todas las culturas dependen de esta habilidad para sacar el mayor provecho posible de su entorno. Aristóteles (384-322 a.n.e.) clasificó las plantas y animales –únicos tipos de sistemas vivos conocidos en esa época– en dos grupos: Vegetabilia y Animalia. Si bien es cierto que desde tiempos inmemoriales se han propuesto diversas maneras para clasificar a los seres vivos, no fue sino hasta el siglo XVIII cuando el naturalista sueco Carl von Linné propuso un sistema de clasificación y de nomenclatura, que marcó el punto de partida para un ordenamiento científico de los organismos.

Linneo fue el primero que clasificó a las plantas teniendo en cuenta la estructura de los órganos reproductores; es decir, de la flor; y fue el primero en utilizar un sistema de dos palabras latinas para designar a los organismos, una es *género* y la otra *epíteto específico*, que juntas determinan la *especie*. Por ejemplo, los caballos, cebras y burros pertenecen al género *Equus*; el epíteto específico para el caballo es *ferus caballus*, para la cebra es *quagga* si se refiere a la común, *grevyi* si es la de Grevy y *zebra* si es la de la montaña, y el de los burros es *africanus asinu*. Los nombres científicos se escriben con letras cursivas porque están escritos en latín; el nombre del género lleva la primera letra en mayúscula y las demás son minúsculas, mientras que el epíteto específico se escribe con todas las letras en minúscula. Todas las especies del género *Equus* se agrupan en la *Familia* Equidae (figura 5-4); esta familia, junto con las familias *Tapiridae* (donde se incluye al tapir) y la *Rhinocerotidae* (rinoceronte), forman el *Orden* Perissodactyla (organismos que se caracterizan por tener extremidades con dedos impares y terminados en pezuñas). Este orden, junto a otros como Carnivora (lobos, focas, osos, etcétera), Cetacea (ballenas, orcas, delfines, etcétera), Rodentia (ratas, ratones,



Figura 5-4.
a) El burro (*Equus africanus*), izquierda.
b) El caballo (*Equus ferus*), derecha.

ardillas, etcétera) y Primates (orangutanes, gorilas, chimpancés, etcétera), entre otros, dan lugar a la *Clase* Mammalia.

Los organismos de la clase mammalia, junto con las clases Chondrichthyes (tiburones, rayas y otros peces cartilaginosos), Osteichthyes (peces óseos), Amphibia (ranas, sapos, etcétera), Reptilia (lagartijas, serpientes, cocodrilos, etcétera) y Aves (canarios, gorriones, loros, etcétera), forman el *Subphylum* Vertebrata, por tener una espina dorsal o columna compuesta de vértebras; este subphylum, junto con los Urochordata y Cephalochordata forman el *Phylum* Chordata. Los Chordata, junto con otros 37 Phylum forman el *Reino* Animalia, el cual, junto con los reinos Protista, Fungi y Plantae forman el *Dominio* Eukarya.

El objetivo fundamental de todos los sistemas de clasificación es lograr establecer con claridad de qué manera agrupar correctamente a los organismos desde el punto de vista biológico, lo cual fue posible cuando los conceptos sobre la evolución de los organismos empezaron a surgir entre los naturalistas; por ello, las ideas de Charles Darwin plasmadas en su obra *El origen de las especies*, marcaron la pauta para el desarrollo de las clasificaciones modernas de los seres vivos, que reflejan las relaciones evolutivas; es decir, de origen y parentesco genético.

La jerarquía de la vida

Para clasificar correctamente a los organismos hay que agruparlos jerárquicamente; es decir, partir de grandes categorías que incluyen organismos con características generales únicas. Una de las clasificaciones que actualmente está en uso reconoce cinco grandes categorías denominadas reinos: Monera, Protista, Fungi, Plantae y Animalia, los cuales se pueden ubicar en tres dominios: Arquea y Bacteria, que están incluidos en Monera, y Eukarya, que incluye los cuatro restantes.

Reino Monera

Agrupar organismos unicelulares que carecen de núcleo (procariontes) y no presentan organelos membranosos. Se divide rápidamente, aproximadamente cada 20 minutos, a través de un proceso celular llamado fisión binaria. Su DNA no está asociado a histonas y se encuentra en una región llamada nucleoide. Generalmente tienen una pared celular compuesta de peptidoglicano. Presentan una gran variedad de tipos de metabolismo que básicamente depende de tres criterios:

- a) Origen de la fuente del carbono: son *heterótrofos* cuando utilizan compuestos orgánicos y *autótrofos* si el carbono celular se obtiene mediante la fijación del dióxido de carbono.
- b) Fuente de energía: pueden ser *fotótrofos* si utilizan la luz solar a través de la fotosíntesis, como las cianobacterias, las verdes del azufre y algunas bacterias púrpura; o *quimiótrofos* si obtienen energía a partir de sustancias

químicas que son oxidadas principalmente a expensas del oxígeno (respiración aerobia), como las bacterias oxidantes del azufre, o de otros receptores de electrones alternativos (respiración anaerobia), como las bacterias metanógenas.

- c) Origen de los donadores de electrones: las bacterias se pueden clasificar en *litotrofas*, si utilizan como donadores de electrones compuestos inorgánicos, y *organótrofas*, si utilizan como donadores compuestos orgánicos.

En general, su tamaño es de pocos micrómetros, entre 0.5 y 8 μm (micrómetros) de largo y hasta 1 μm de ancho; presentan diversas formas: esférica u ovoide y cilíndrica. Si su forma es esférica se le llama *coco*, y si están agrupados en dos se les denomina *diplococos*, y *estreptococos* si son más de dos formando cadenas; si es de forma cilíndrica se llama *bacilo*, pero si el bacilo se curva se llama *espirilo*, y si tiene forma de sacacorchos se denomina *espiroqueta* (figura 5-5).

La importancia de las bacterias en la Tierra es muy grande. Existen bacterias que causan enfermedades; otras, las cianobacterias, realizan fotosíntesis y son las responsables de la producción de oxígeno desde hace varios miles de años, y en la actualidad sostienen en buena medida la vida en el planeta; y, por supuesto, las bacterias no patógenas, por cierto las más abundantes y diversas, que permiten el mantenimiento de los ecosistemas al degradar materia orgánica e incorporar elementos como el nitrógeno a los ciclos biogeoquímicos.

Los seres vivos se dividen actualmente en tres dominios, el reino Monera representa a dos de esos dominios: *Bacteria* y *Archaea*, y el tercero es el *Eukarya*, que incluye a todos los eucariontes.

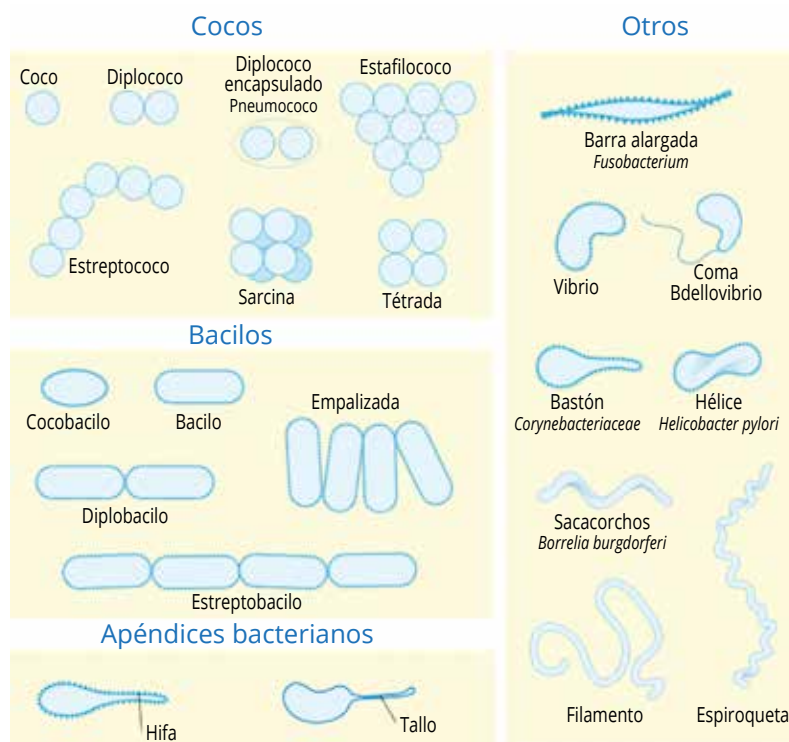


Figura 5-5. Esquema con la diferente morfología que pueden presentar las bacterias (reino Monera).
Fuente: wikipedia.com

Bacteria

Organismos unicelulares cuyo tamaño es entre 1 y 50 micras. Su núcleo está formado por un único cromosoma, con un DNA circular y no está rodeado por una membrana nuclear. Su citoplasma no presenta compartimentos y casi siempre está rodeado por una pared celular. Los principales grupos dentro de este dominio son las bacterias y las cianobacterias (figura 5-7).

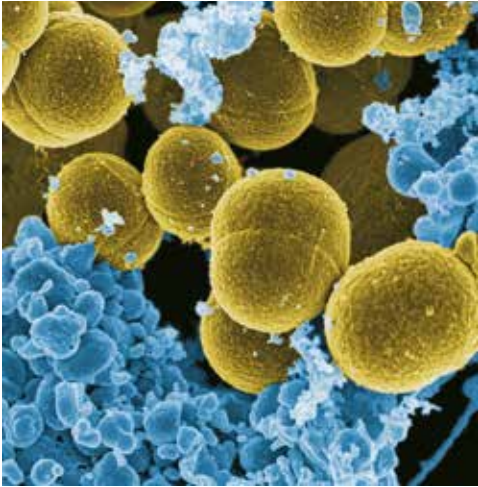


Figura 5-6.
Estafilococo
(*Staphylococcus*).
Fuente: Wikipedia.org

Las bacterias juegan un papel fundamental en la naturaleza y en el hombre: la presencia de una flora bacteriana normal es indispensable para la salud, aunque en algunas ocasiones se constituyen en agentes patógenos. También son importantes en la industria, ya que hay una gran cantidad de bacterias diferentes que son capaces de descomponer basura; otras se usan en plantas de tratamiento de aguas negras, así como en sistemas de pozos sépticos, y otras intervienen en la producción de vinos y para fermentar la leche en la elaboración de ciertos tipos de queso.

Arqueobacterias

Microorganismos unicelulares que, como las bacterias, carecen de núcleo celular y de organelos dentro de la célula. Tienen una historia evolutiva independiente en relación con las bacterias y presentan diferencias en cuanto a su bioquímica, como la presencia de éteres lipídicos en sus membranas celulares. Las arqueas explotan una variedad de recursos, desde compuestos orgánicos comunes como los azúcares, hasta el uso de amoníaco, iones de metales e hidrógeno como nutrientes.

A las arqueas se les consideraban extremófilas pues vivían en ambientes severos, como aguas termales y lagos salados, pero se les ha observado en una gran variedad de hábitats, como el océano, suelos e inclusive en el intestino de los humanos.

Las arqueobacterias y las bacterias son bastante similares en forma y en tamaño, aunque algunas arqueas tienen formas muy inusuales, como las células planas y cuadradas de *Haloquadra walsbyi*.

Las arqueobacterias tienen genes y varias rutas metabólicas más cercanas a las eucariotas. No se conocen ejemplos claros de arqueas patógenas o parásitas, pero sí de mutualistas o comensales.

Se reproducen asexualmente por fisión binaria, fragmentación o gemación, pero no forman esporas.

Reino Protista

También conocidos como protoctistas, es una colección de organismos unicelulares con núcleo, que no encajan en alguna otra categoría. Incluye a organismos

que se han designado en grupos que ya no tienen valor filogenético en biología: protozoos, algas unicelulares y hongos mucilaginosos (figura 5-7).

Son organismos acuáticos que se encuentran en ambientes terrestres húmedos o en el medio interno de otros organismos, y ninguno de este tipo de organismos se han encontrado en ambientes aéreos. Aunque la mayoría son unicelulares existen algunos pluricelulares, como las algas pardas, que pueden medir decenas de metros, como *Laminaria spp.*

Las pluricelulares no presentan tejidos, pero en las algas rojas y pardas se presenta un nivel muy similar, e incluso hay plasmodesmos (proteínas de unión entre células). Algunas presentan paredes celulares con una composición química variada.

La nutrición de los organismos de estos reinos se realiza por fotosíntesis (autótrofos), por ingestión (fagótrofos) o por absorción osmótica (osmótrofos); los dos últimos son heterótrofos, aunque muchas formas unicelulares pueden utilizar los dos modos de nutrición.

Básicamente los protistas son aerobios, aunque algunos pueden ser anaerobios porque se adaptaron a ambientes con muy poco oxígeno.

Se reproducen en forma asexual por fisión binaria, fisión múltiple, gemación o formación por esporas. La sexual se realiza a través de gametos y las algas pluricelulares presentan a menudo alternancia de generaciones, sucediéndose frecuentemente la asexual y la sexual en la misma especie. En todos los casos de reproducción sexual existe el embrión.

Las herramientas de la biología molecular, como la secuenciación del rRNA, han permitido separar a los diferentes grupos de protistas con algo más de confianza que antes; así, a este reino pertenecen los siguientes grupos:

- a) *Euglenozoa*. Organismos unicelulares con flagelo, que a su vez se dividen en dos subgrupos: euglenoides (*Euglena*) y quinetoplástidos (*Trypanosoma*).
- b) *Alveolata*. Unicelulares que tienen cavidades denominadas alvéolos, que se encuentran por debajo de la membrana plasmática. Se divide en tres subgrupos: dinoflagelados (*Pyrrophyta*), apicomplexa (*Plasmodium*) y ciliophora (*Paramecium*, figura 5-8).
- c) *Stramenopila*. Incluye dos grupos de organismos flagelados (básicamente dos y desiguales): fotosintéticos (Bacillariophyta o diatomeas, *Biddulphia*) y las Phaeophyta o algas pardas (*Sargassum*). El tercer grupo es el de los Oomyceta formado por los mohos acuáticos y los mildius vellosos o pubescentes terrestres (*Saprolegnia*).



Figura 5-7. Alga. *Vorticella campanula* es un protista que habita en aguas dulces.
Fuente: flickr.com



Figura 5-8. *Paramecium caudatum*, protista del grupo *alveolata*.
Fuente: Wikipedia.org

- d) *Rhodophyta*. Algas rojas multicelulares (*Gracilaria*).
- e) *Chlorophyta*. Organismos unicelulares microscópicos (*Chlorella*) y multicelulares macroscópicos (*Oedogonium*).
- f) *Choanoflagellidae*. Organismos flagelados coloniales, considerado el grupo más cercano a los animales; se cree que están relacionados con las esponjas (*Sphaeroeca*).

Reino Fungi

Incluye organismos eucariontes unicelulares y pluricelulares filamentosos, sin movimiento, que carecen de plástidos y pigmentos fotosintéticos. Se reproducen sexual y asexualmente, pero todos los hongos forman esporas. Su pared celular contiene al menos algo de quitina. La mayoría de los hongos son terrestres pero se pueden encontrar en cualquier hábitat, incluyendo los marinos y dulceacuícolas. Son organismos heterotróficos con nutrición absorptiva, muchos de ellos son saprobios, es decir, que se alimentan de nutrientes de materia orgánica en descomposición; algunos son parásitos y absorben su alimento en solución a través de sus paredes celulares y otros viven en simbiosis con algún otro organismo. Se han descrito alrededor de 100 000 especies y posiblemente existan otras 200 000 por descubrir.

Las formas unicelulares, como las levaduras (figura 5-9), permiten la elaboración de bebidas alcohólicas y pan, mientras que los hongos pluricelulares están constituidos por filamentos tubulares individuales, de crecimiento rápido, llamados hifas. En la mayoría de las hifas no existe división en células separadas, lo que permite que los organelos, inclusive el núcleo, puedan pasar de un lado a otro. En algunos casos las hifas están subdivididas en compartimientos similares a las células, por paredes llamadas septos. Otras hifas no presentan septos y se conocen como cenocíticas. Un conjunto de hifas forman parte del cuerpo vegetativo del hongo, llamado micelio. Las hifas pueden estar muy dispersas o formar agregados diferenciados, como cuando se forman cuerpos de reproducción, por ejemplo en las setas o los champiñones. Los hongos, junto con algunos tipos de bacterias, tienen un importante papel en el funcionamiento del ecosistema, pues son los encargados de desintegrar los restos de organismos que han muerto con el objeto de que las sustancias que los constituían puedan aprovecharse nuevamente. También existen hongos que rodean con sus filamentos a las raíces de algunas plantas que se benefician de esta asociación, pues crecen más rápido al absorber nutrimentos con mayor facilidad.



Figura 5-9.
La levadura o *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo del grupo *Ascomycota*.
Fuente: Wikipedia.org

Se han clasificado cuatro grupos de hongos:

- a) *Zygomycota*. La mayoría de los organismos de este grupo tienen hifas cenocíticas. Se caracterizan porque en su reproducción sexual dos hifas adyacentes, de dos tipos sexuales diferentes (tipo sexual + y tipo sexual -), se atraen por medio de feromonas y producen gametangios que se fusionan para formar zigosporangios que contendrán las zigosporas.
- b) *Ascomycota*. Son organismos con hifas que están segmentadas por septos espaciados en forma regular. Se caracterizan por tener una estructura reproductora sexual en forma de saco llamado asca. Las ascas pueden estar en una estructura fructífera llamada ascocarpo, y los organismos que los presentan se denominan euascomicetos. El resto de organismos que no presentan este cuerpo fructífero se agrupan como hemiascomicetos. Las esporas asexuales típicas de este grupo se llaman conidios y la estructura que las portan, que se desarrollan en las puntas de las hifas, se llaman conidióforos.
- c) *Basidiomycota*. Organismos con hifas que presentan septos con pequeños poros. Son unicelulares o multicelulares, con reproducción sexual y asexual, que pueden encontrarse en ambientes terrestres o acuáticos. Se distinguen de otros hongos por la producción de basidiosporas, que crecen en el basidio, una célula hinchada en el extremo de la hifa. Es un grupo muy pobremente representado en ambientes acuáticos; sin embargo, es el grupo más evolucionado y más conocido, pues comprende numerosos y variados tipos de hongos que producen algunas de las estructuras fructíferas más espectaculares de los hongos (figura 5-10).
- d) *Deuteromycota*. Unicelulares y multicelulares, presentan hifas septadas que parecen no tener una fase sexual o que aún no se ha descubierto, por tal razón se les conoce como imperfectos.



Figura 5-10. El hongo *Boletus edulis* pertenece al grupo de los *Basidiomycota* que tienen estructuras reproductivas muy características.
Fuente: Wikipedia.org

Reino *Plantae*

Incluye a organismos multicelulares eucariontes, con limitada motilidad. Sus células presentan una pared celular que contiene celulosa y clorofila a y b –a excepción de las plantas parásitas–, por lo que son, junto con las algas y algunas bacterias, los productores de los ecosistemas y, por lo tanto, de ellos depende la existencia de los ecosistemas; almacenan carbohidratos, por lo general almidón, y se desarrollan a partir de un embrión.

Las plantas se dividen en dos grandes grupos: las no vasculares, que carecen de un tejido especializado para transportar el agua en su interior, son pequeñas, sólo se encuentran en ambientes muy húmedos y normalmente crecen a ras del suelo, como los musgos y las hepáticas. Las plantas vasculares poseen

tejidos lignificados y estructuras especializadas llamadas xilema (transporta agua, sales minerales y otros nutrientes desde la raíz hasta las hojas de las plantas) y floema (lleva las sustancias elaboradas, azúcares y otros productos fotosintéticos desde las hojas al resto del vegetal). El nombre científico de este grupo es traqueofitas.

Tienen una distribución amplia en el planeta y su tamaño varía desde las hierbas diminutas hasta el gigantesco árbol del Tule, en Oaxaca (figura 5-11).



Figura 5-11.
El árbol del Tule en la ciudad de Oaxaca, *Taxodium mucronatum*.

Algunas no producen semillas sino esporas, como los helechos; pero las más abundantes tienen semillas que se localizan en los frutos (angiospermas, como la manzana) o las que tienen sus semillas desnudas (gimnospermas, como los pinos y oyameles).

Se han identificado aproximadamente 400 000 especies, de las cuales 90% pertenece a las plantas con flor.

A continuación se describen los filos que existen del reino *Plantae* son: no vasculares, vasculares y angiospermas.

No vasculares

- a) *Hepatophyta* (hepáticas). Crecen en hábitats húmedos, sobre el suelo, rocas u otras plantas (figura 5-12). Lo que se observa generalmente es el gametofito, que en este caso puede tener dos formas básicas: ser laminar (hepáticas talosas), como un manto verde con aspecto de hojas que yacen postradas sobre el suelo; o estar formado por caulidios (ejes o estructuras que portan los filidios) y por filidios (“hojitas”) (hepáticas foliosas).
- b) *Anthocerotophyta* (antoceros). Se llaman así porque los esporofitos parecen pequeños cuernos, tienen un cloroplasto por célula y presentan estomas para realizar el intercambio gaseoso. Los arquegonios y los anteridios (productores de gametos) se encuentran inmersos en el talo y consisten en láminas planas de algunas células de grosor.
- c) *Bryophytas* (musgos). Presentan un ciclo vital con una alternancia de generaciones, el gametofito desarrolla anteridios y arquegonios. Se pueden reproducir sexual o asexualmente. La reproducción sexual se realiza en el interior del arquegonio y la asexual se realiza mediante fragmentación del gametofito, por gemación del protonema (estructura filamentosa ramificada), o a partir de los propágulos (figura 5-13).



Figura 5-12.
Marchantia es una hepática que vive en lugares con mucha humedad.
 Fuente: wikimedia.com.



Figura 5-13.
 Las briofitas (musgos) se caracterizan por ser plantas erectas, con hojas dispuestas de forma radial a lo largo del gametofito.
 Fuente: Pixabay.com.

Vasculares

TRAQUEOFITAS SIN SEMILLA

- a) *Lycopodiophyta*. Son un pequeño filo de plantas con distribución mundial, pero poco abundantes o raras. Son el grupo de plantas más primitivo que tiene vasos conductores. Tienen raíces que se ramifican en forma dicotómica; presentan hojas simples, con un solo haz conductor, dispuestas en espiral sobre el tallo.
- b) *Sphenophyta*. Plantas terrestres de hojas muy pequeñas que nacen en cada nudo a manera de escamas pequeñas y salen varias de un mismo nudo. Actualmente sólo existe un género llamado *Equisetum*. Se reconocen fácilmente por sus tallos articulados y estriados, con contenido de sílice (figura 5-14A).
- c) *Psilophyta*. Helechos de escobilla o arcaicos. El género representativo de este grupo es *Psilotum*, cuyo nombre proviene del griego y significa desnudo, ya que no presentan hojas verdaderas sino escamas diminutas; se caracterizan por la ausencia de raíces o ser éstas muy rudimentarias. Son plantas pequeñas y sus tallos aéreos conductores son verdes debido a la clorofila.



Figura 5-14.

a) Los equisetos (cola de caballo) del filo *Sphenophyta*, tienen solamente un género, *Equisetum*.

b) Estróbilo de *Cycas revoluta*, una *Cycadophyta*.

Fuente: Wikipedia.org.

- d) *Pteridophyta*. Son traqueofitas con alternancia de generaciones bien manifiesta; presentan raíces, tallo y hojas grandes, y con hebras vasculares que se ramifican.

TRAQUEOFITAS CON SEMILLA

Gymnospermas: plantas con semillas que no forman flores.

- a) *Cycadophyta*. Grupo de plantas de crecimiento lento, parecidas a las palmeras. Son gimnospermas primitivas, con células espermáticas móviles que dan lugar a semillas expuestas en estructuras parecidas a piñas, llamadas estróbilos, que se forman en el ápice de la planta. Casi todas son plantas de buen tamaño, de tronco columnar no ramificado y un penacho de hojas perennes semejantes a frondas en el extremo superior. (figura 5-14B)
- b) *Ginkgophyta*. El ginkgo es el único representante vivo de su familia y su orden, del que hubo numerosas especies durante el mesozoico. El ginkgo alcanza entre 12 y 37 m de altura, tiene hojas simples, pecioladas, caducas, con la lámina en forma de abanico, entera, dentada o lobulada en la porción superior, recorridas longitudinalmente por numerosos nervios. Entre las gimnospermas es el único representante que posee las láminas planas recorridas por nervadura dicotómica que se extiende desde el pecíolo, característica primitiva que lo asemeja con las frondes de pteridofitas (figura 5-15).
- c) *Gnetophyta*. Plantas leñosas con rasgos de angiospermas y gimnospermas, incluye tres familias, cada una de ellas con un solo género: Familia

Gnetaceae con el género *Gnetum*; Familia *Welwitschiaceae* con el género *Welwitschia*; y Familia *Ephedraceae* con el género *Ephedra*. Las gnétidas son de particular interés en la evolución de las plantas porque tienen caracteres tanto de coníferas (semillas que no están encerradas en un ovario) como de angiospermas (vasos en la madera, estructuras parecidas a las flores de angiospermas y doble fertilización).



Figura 5-15.

La *Welwitschia mirabilis* es una planta *Gnetophyta* muy rara, símbolo de Namibia, que puede vivir de 1 000 hasta 2 000 años.

Fuente: www.crossove-rafricatours.com.

- d) *Pinophyta*. También conocidas como *Coniferophytas*, son plantas leñosas y perennes que presentan una estructura de cono (raíz, tallo y hojas); los espermatófitos producen semillas que no están encerrados dentro de carpelos, por lo que la fecundación se produce mediante el transporte directo de los granos de polen al micrópilo, generalmente por medio del viento; el embrión que se forma se nutre a través del endospermo primario. Las flores son unisexuales (figura 5-16).

Angiospermas

Angiosperma proviene de dos palabras griegas: *angión*, que significa vaso, ánfora, y *sperma*, que significa semilla; es decir, *semillas envasadas*, en referencia a que sus óvulos; y después las semillas están encerrados en un carpelo, hoja fértil portadora de los óvulos. Así, para que haya fecundación, el grano de polen deberá contactar con la superficie del carpelo, estigma, en lugar de caer directamente sobre el óvulo. Llamadas también *Magnoliophyta*, cuyo nombre deriva del género *Magnolia*, ya que en algún momento se creyó que eran las angiospermas con un mayor número de caracteres ancestrales (figura 5-17).

Tienen flores con verticilos o espirales ordenados de sépalos, pétalos, estambres y carpelos, estos últimos encierran a los óvulos y reciben el polen sobre su superficie estigmática en lugar de directamente sobre el óvulo. Producen frutos con semillas.

Los verticilos florales no es la única diferencia que tienen con el resto de las espermatofitas; otros caracteres morfológicos distintivos son: la reducción del gametofito femenino a sólo unas pocas células y la presencia de una doble fecundación que permite la formación de un tejido nutritivo característico, triploide, llamado endosperma, al mismo tiempo que se fecunda



Figura 5-16.

Los abetos, del género *Abies*, son árboles de la familia de las pináceas dentro de las *Coniferophytas*, (derecha).



Figura 5-17.
Flor de magnolia,
angiosperma o
Magnoliophyta.

al óvulo; además, la presencia de un xilema y floema más desarrollado y eficiente que el resto de las traqueofitas.

Ocupan prácticamente todos los nichos ecológicos posibles. Hay plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas, terrestres y acuáticas; se encuentran tanto en los desiertos como en los pantanos, en el nivel del mar como en lo alto de las montañas y están incluidas en 413 familias.

Reino *Animalia*

Incluye organismos eucariotas pluricelulares con tejidos especializados. Presentan locomoción y han desarrollado estructuras sensoriales que les proporcionan información detallada de su ambiente; sus células no presentan pared celular ni pigmentos fotosintéticos. Tienen un desarrollo embrionario que pasa por una fase de blástula y tiene una estructura corporal básica formada hace 500 millones de años, desde esponjas, corales, gusanos, artrópodos y estrellas de mar, hasta organismos de los cuales evolucionamos los vertebrados. Son los consumidores de los ecosistemas porque se alimentan de otros organismos; es decir, son heterótrofos. El hombre, como especie biológica, pertenece a este reino.

Existen 39 filos dentro de este reino, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- *Annelida*, anélidos: animales invertebrados en forma de gusano y cuerpo segmentado en anillos. De ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres.
- *Arthropoda*, artrópodos: presentan un exoesqueleto de quitina y patas articuladas. Incluye, entre otros, a los arácnidos, crustáceos, insectos y miriápodos. Son organismos terrestres y acuáticos (figura 5-18).
- *Chordata*, cordados: tienen una cuerda dorsal o notocordio, al menos en estado embrionario. Incluye a los peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

- *Cnidaria*, cnidarios: organismos acuáticos, mayormente marinos, que terminan su desarrollo embrionario en la fase de gástrula, y por tanto tienen sólo dos capas embrionarias: ectodermo y endodermo (son *diblasticos*). El nombre de este filo proviene del hecho de que estos organismos tienen en sus tentáculos células urticantes llamadas cnidocitos, que se inyectan en sus presas o en caso de algún ataque.
- *Echinodermata*, equinodermos: animales *deuterostomados*, exclusivamente marinos y bentónicos. La pared corporal es muy gruesa y recubre un esqueleto espinoso de naturaleza calcárea.
- *Mollusca*, moluscos: animales marinos y terrestres, protostomados, celomados y triblasticos (organismos que en su desarrollo embrionario presentan tres capas celulares: ectodermo, endodermo y mesodermo). Tienen el cuerpo blando dividido en cabeza, masa visceral y un pie muscular que puede ser desnudo o estar protegido por una concha calcárea secretada por un integumento subyacente llamado manto, que en ocasiones está ausente.
- *Nematoda*, nematodos: son gusanos redondos que tienen el cuerpo alargado, de forma cilíndrica y no segmentada, con simetría bilateral y pseudocelomados con cutícula quitinosa. Son esencialmente acuáticos, aunque proliferan también en ambientes terrestres (figura 5-19).
- *Platyhelminthes*, platelmintos: gusanos planos, protostomados, acelomados, triblasticos, con simetría bilateral, se desplazan mediante las vibraciones de su epitelio ciliado; muchos son parásitos y la mayoría son hermafroditas. Habitan en ambientes marinos, fluviales y terrestres húmedos.
- *Porifera*, esponjas: animales acuáticos con forma de saco; presentan una abertura grande en la parte superior, el ósculo, que es por donde sale el agua, y muchos poros más o menos pequeños en las paredes, que es por donde entra el agua; son mayoritariamente marinos y sin simetría definida, son sésiles y carecen de auténticos tejidos (figura 5-20).
- *Rotifera*, rotíferos: animales pseudocelomados microscópicos, entre 0.1 y 0.5 mm, se caracterizan por tener una corona anterior de cilios. Habitan en agua dulce, salada, tierra húmeda, musgos, líquenes y hongos.
- *Tardigrada*, tardígrados u osos de agua: animales protostomados con simetría bilateral; la zona ventral es aplanada y la dorsal convexa, el tronco está segmentado en cinco partes no diferenciadas. El segmento cefálico



Figura 5-18. Las abejas son representantes del filo *Arthropoda* y de la clase *Insecta*.



Figura 5-19. *Coenorhabditis elegans*, nematodo de aproximadamente 1 mm de longitud, muy utilizado por la biología en el área de genética del desarrollo.
Fuente: www.researchgate.net



Figura 5-20.
Esponja roja, del filo *Porifera*.
Fuente: ecoticias.com



Figura 5-21.
Tardígrado, osito de agua. Es uno de los organismos que resiste muchas condiciones extremas.
Fuente: nobbot.com

de forma roma contiene la boca, y en ocasiones puntos oculares y cirros sensoriales. Los cuatro segmentos restantes tienen, cada uno, un par de patas ventrolaterales terminadas con garras, entre cuatro y ocho, o con ventosas; normalmente los primeros tres pares se destinan a la locomoción, mientras que el cuarto sirve para anclarse al sustrato (figura 5-21).

El humano como parte de la biodiversidad

La especie humana, cuyo nombre científico es *Homo sapiens*, forma parte de la biodiversidad y su estatus taxonómico es el siguiente:

- **Dominio:** *Eucariota*
- **Reino:** *Animalia*
- **Filo:** *Cordata*
- **Clase:** *Vertebrata*
- **Orden:** *Primates*
- **Familia:** *Hominidae*
- **Género:** *Homo*
- **Especie:** *Homo sapiens sapiens*

Reconocer a los humanos como una especie más en la naturaleza no es problema para los biólogos; se conocen las características que nos relacionan con el resto de los organismos y que han sido fundamentadas en estudios que van desde la anatomía, la fisiología y la bioquímica, hasta los más actuales que involucran al genoma humano y el de muchas otras especies.

El problema real de este posicionamiento radica en que somos una especie dominante que ha alcanzado un crecimiento demográfico impresionante, y un grado de desarrollo social y cultural como el de ninguna otra especie sobre el planeta. La demanda de recursos ambientales que esta situación genera parece habernos llevado a la disyuntiva de tener que elegir entre la supervivencia de la especie humana y la del resto de las especies, y entre obtener el máximo de ganancias en la explotación de un recurso en el corto plazo o mediar esta obtención de ganancias con la conservación del recurso en el largo plazo.

Si bien la disyuntiva se ha planteado, y lamentablemente en muchas ocasiones la respuesta ha sido poco racional y nos ha llevado a la actual crisis ambiental, la posible solución es justamente comenzar a entendernos como parte, especial si así lo queremos, de un sistema que para su permanencia requiere del concurso de todas sus partes, y no se trata de una defensa a ultranza e irracional de la naturaleza, sino de entender los procesos y el papel que cada especie juega en el ambiente, para utilizar los recursos en una medida que permita su conservación y se garantice su uso a las futuras generaciones.

México como país megadiverso

Pocos países tienen tanta diversidad biológica como la de México; a pesar de esto, su estudio sistemático data de los años setenta del siglo xx, cuando se inició la formación de especialistas; el levantamiento de inventarios; la creación, incremento y conservación de colecciones biológicas y el rescate de la información generada por trabajos de campo, así como el análisis de las formas de aprovechamiento y conservación de esta biodiversidad en forma sustentable.

La gran biodiversidad de México se explica en función de sus características orográficas que determinan condiciones especiales en los cambios y distribución de las variables climáticas; así, en nuestro territorio se presentan climas montañosos, fríos, templados, secos, húmedos y cálidos; juntos, relieve y clima, posibilitan la formación de un sinnúmero de hábitats con características diversas

ocupadas por un enorme número de especies vivientes, algunas de ellas propias y únicas del territorio mexicano (endémicas). Como elemento adicional a su heterogeneidad ambiental, por su posición geográfica México ha sido y sigue siendo una ruta de migración de animales, lo que enriquece todavía más esta diversidad. El país presenta una de las mayores riquezas biológicas del planeta y se ubica por ello en el conjunto de los 14 países megadiversos.

La distribución de la flora y la fauna en el planeta no es uniforme, sino que está determinada por las placas continentales, de montañas y desiertos. Esto permite la formación de seis grandes zonas biogeográficas:

- Paleártica
- Oriental
- Australiana
- Etiópica
- Neártica
- Neotropical

Como se puede apreciar en el mapa ([figura 5-22](#)), nuestro país se encuentra en la zona de confluencia de la zona neártica y la neotropical; este hecho, junto con la gran variedad de suelos y de montañas producto de una complicada historia geológica que en algunos sitios como Oaxaca se remonta a mil millones de años atrás, nos ha hecho poseedores de una de las más ricas biodiversidades del planeta.

México se encuentra entre los cinco primeros países llamados megadiversos que tienen entre 60 y 70% de la diversidad biológica de la Tierra. Por ejemplo, si hablamos de especies de vertebrados, sólo nos superan Brasil, Colombia e Indonesia; y si mencionamos a las plantas vasculares estamos abajo de Brasil, Colombia, China e Indonesia. Esto sin considerar que hay zonas que no han sido debidamente estudiadas, por lo que el número de especies podría aumentar todavía más ([figura 5-23](#)).



Figura 5-22.

La gran biodiversidad que existe en México se debe, entre otros factores, a que existen dos regiones biogeográficas: la región 2 que corresponde a la neártica y la 3 a la neotropical.

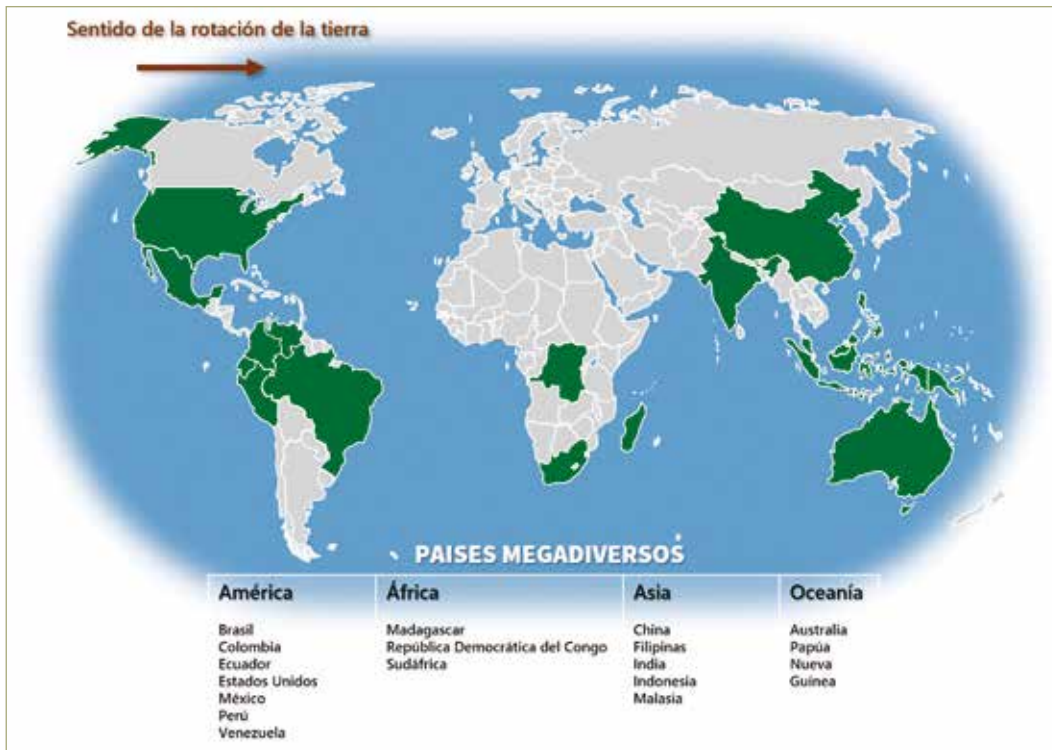


Figura 5-23. México se encuentra entre los cinco primeros países llamados megadiversos.

Países megadiversos

¿En qué países y en qué regiones biogeográficas se encuentran los megadiversos?

Además de estar en la confluencia de dos zonas biogeográficas, como ya se mencionó, la larga historia geológica de nuestro país propicia la existencia de una complicada topografía que se traduce en una gran variedad de climas, los cuales permiten la existencia de diferentes comunidades vegetales que están adaptadas a condiciones particulares; por ejemplo, hojas anchas con puntas afiladas para permitir el escurrimiento del agua en las zonas muy lluviosas o carencia de hojas y tallos gruesos para almacenar agua en las zonas desérticas.

Las diferentes comunidades vegetales que se encuentran en nuestro país se denominan biomas o ecosistemas, que tienen una vegetación característica y en los cuales hay todo tipo de organismos que están estrechamente relacionados de maneras muy distintas.

México, junto con Brasil, Colombia, China e Indonesia tiene la mayor riqueza en ecosistemas. Tenemos prácticamente todos los ecosistemas conocidos en el mundo –con excepción de la tundra–, y algunos humedales, como los de Cuatro Ciénegas, en Coahuila, sólo se encuentran en nuestro país (figura 5-24).

Causas y consecuencias de la pérdida de la biodiversidad

La alteración del ambiente es un problema mundial; la fuerte demanda de materiales y la falta de visión a futuro en la explotación de los recursos de los distintos



Figura 5-24.
Cuatro Ciénegas,
Coahuila.

ambientes ha propiciado el deterioro, en algunos casos irreversible, de los ecosistemas.

La tala indiscriminada; la caza y la pesca masiva; la cacería furtiva; el cambio en la vocación del suelo; la construcción de infraestructura, como presas y grandes carreteras; la introducción de especies exóticas; el aumento en la actividad industrial y de sus desechos tóxicos, y el crecimiento desmedido de las manchas urbanas, son tan sólo algunas de las causas que generan alteración en los ecosistemas. En un ecosistema natural los componentes abióticos y bióticos establecen relaciones complejas que permiten que el sistema funcione y se mantenga en un equilibrio dinámico; por ello, el uso irracional de los recursos naturales tiene como una de sus consecuencias directas la pérdida de la biodiversidad, que se observa en un aumento en el número de especies en peligro de extinción, lo que a su vez impacta en la recuperación y productividad de los ecosistemas y en la alteración de las redes alimentarias.

En la historia de la vida en nuestro planeta hay evidencias de grandes extinciones de organismos y de lentas recuperaciones de la biodiversidad. Antes del surgimiento y desarrollo de las poblaciones de humanos, el último gran evento de este tipo ocurrió hace 65 millones de años, en el Mesozoico, cuando el impacto de un asteroide sobre la Tierra aceleró la pérdida de algunos linajes de grandes reptiles que habían empezado a declinar desde hacía unos 10 millones de años antes del asteroide (**figura 5.25**).

Sin embargo, a pesar de que hace más de 65 millones de años no ha habido un impacto de otro asteroide en nuestro planeta, tenemos en curso la sexta gran extinción de especies, y el agente identificado como mayor responsable de este proceso es la especie humana, cuyas altas tasas de crecimiento y prácticas culturales han acelerado la tasa de extinción de muchas especies.

Hoy sabemos que no es necesario matar uno por uno a cada individuo de una especie para lograr su extinción, basta con disminuir drásticamente su número por medio de la caza, la pesca o la extracción masiva –sea para obtener recursos, por diversión o por deporte– para que el propio desequilibrio poblacional y del ecosistema se encarguen del resto.

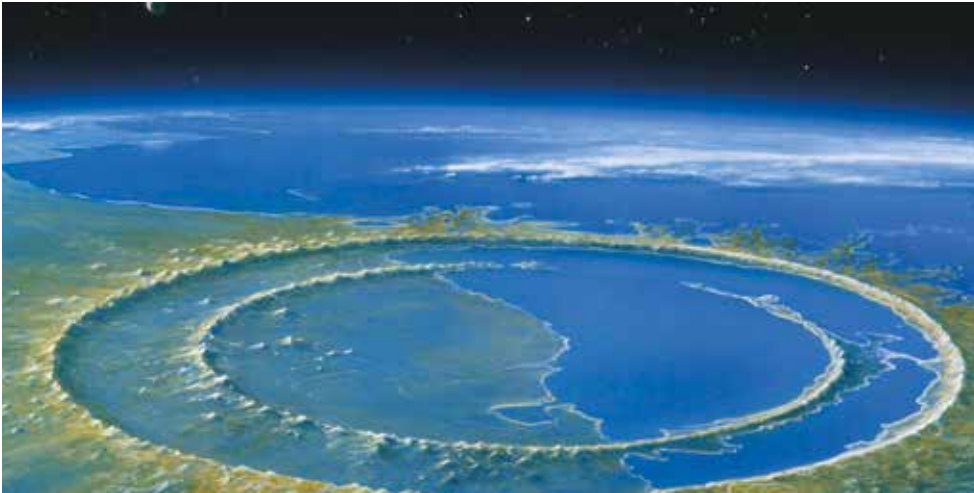


Figura 5-25.

El asteroide que cayó en la península de Yucatán creó un cráter conocido como Chicxulub, y este impacto se cree es responsable de la extinción de los dinosaurios y muchas otras especies.

Fuente: <http://haciaespacio.aem.gob.mx/>

Sabemos también que las especies interactúan con los factores ambientales abióticos y bióticos de un ecosistema, y que la presencia, supervivencia y permanencia de algunas especies depende de la existencia de otras (polinización, dispersión y germinación de semillas, alimento, sustrato y protección, entre muchas otras); es decir, no hace falta tocar una especie para extinguirlo o ponerla en riesgo, sólo se necesita modificar alguna de estas relaciones para afectar los factores bióticos o abióticos de los cuales depende.

La disminución física de los lugares adecuados para vivir, o la reducción del hábitat por fragmentación o contaminación da como resultado “parches ambientales” que no siempre son propicios para mantener el tamaño poblacional para una reproducción con éxito o para la alimentación y recursos que requiere la población. La incorporación accidental o deliberada de especies, esto es, la introducción de especies exóticas ajenas a un hábitat irrumpe en las relaciones establecidas por los integrantes del ecosistema, causa desequilibrio en el uso de los recursos (compite, depreda, parasita, etc.) y pone en peligro a las especies.

Estos cambios locales, más los globales, como la intensificación del efecto invernadero, resultado de múltiples actividades humanas, modifican las condiciones de los ecosistemas, de su biodiversidad, y comprometen su estabilidad y viabilidad a futuro.

Como hemos visto, México es un país megadiverso ya que tiene un gran número de especies de organismos de los distintos reinos. Este hecho nos hace afortunados, pues la biodiversidad de especies y ecosistemas forma parte de nuestra riqueza como nación. Pero tener en nuestro territorio, en nuestro estado o en nuestra comunidad una gran biodiversidad nos hace también responsables de conocerla, aprovecharla, mantenerla y conservarla para las generaciones futuras de México y el planeta. La forma en que se use hoy la biodiversidad, y la manera en que las actividades de los humanos afecten el funcionamiento de los ecosistemas, determinará si en el futuro se podrá seguir obteniendo beneficios de ellos.

Precisamente, el concepto de desarrollo sustentable significa que es posible aprovechar los recursos de los ecosistemas sin poner en peligro su existencia; es

decir, implica hacer un uso inteligente de la biodiversidad sin sobreexplotar los recursos ni las especies para contribuir a su conservación.

Lamentablemente ni los mexicanos ni los ciudadanos de otros países hemos sido capaces de aplicar siempre los principios del desarrollo sustentable, pero las catástrofes ambientales han llevado a los gobiernos de las naciones a establecer acuerdos con el propósito de fomentar el desarrollo sustentable, proteger la biodiversidad y las culturas del mundo.

Ejemplos de desarrollo no sustentable son la deforestación, la degradación de los hábitats, la contaminación de suelo, aire y agua, y la caza o pesca indiscriminada.

- **Sobreexplotación de especies.** La extracción excesiva de árboles maderables, sobre todo en los bosques tropicales, ha llevado a la desaparición de grandes áreas boscosas de México y otras regiones del mundo. La desaparición del bosque, por desgracia, significa la extinción de otras especies para las cuales el bosque es también su hábitat. Un fenómeno similar ocurre con los mares, donde la pesca se concentra en pocas especies (por ejemplo, atún y camarón), afectando los tamaños poblacionales de éstas y su capacidad reproductiva. Esta sobrepesca afecta también a otras especies atrapadas accidentalmente.
- **Erosión de suelo.** La desaparición de los bosques puede provocar que el viento y la lluvia remuevan la capa superior del suelo, haciéndolo inútil, ya sea para la regeneración del bosque o para la agricultura (figura 5-26).
- La **cacería** indiscriminada constituye una amenaza de extinción de especies.
- El uso de métodos destructivos y tecnologías intensivas conduce a la **degradación de los hábitats** y pérdida de biodiversidad. Por ejemplo, el uso de productos químicos como fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas para proteger a los cultivos, produce contaminación del agua en los



Figura 5-26. La deforestación trae como consecuencia la desaparición no solamente de los bosques, sino de los organismos que ahí habitan y los servicios que aportan.

mantos freáticos, en ríos, lagos y lagunas. Los productos agroquímicos también pueden tener efectos nocivos para la salud humana.

En un puñado de suelo de un bosque de coníferas se puede encontrar aproximadamente la siguiente biodiversidad: 100 insectos y ácaros, 110 anélidos, 250 colémbolos, 250 000 nematodos, 7 500 000 protozoarios, 12 500 000 algas, 100 000 000 hongos y 125 000 000 bacterias.

Aportaciones de la herbolaria de México a la ciencia y a la medicina del mundo

La herbolaria se define como el conocimiento milenario y profundo de las plantas utilizadas con fines medicinales para curar un malestar. Debido a que la salud está estrechamente relacionada con la sobrevivencia de los individuos, en las comunidades indígenas y mestizas siempre existe un conjunto de plantas que conforma su repertorio de medicina tradicional.

La llegada de grupos humanos a la región conocida como Mesoamérica, hace 20 000 años aproximadamente, implicó procesos de conocimiento, apropiación y explotación local de los recursos naturales. Así, el asentamiento y expansión de grupos en regiones templadas llevó al reconocimiento de plantas como el pino, encino, madroño y aile, entre otros. Por el contrario, aquellos grupos establecidos en zonas tropicales se apropiaron de aquellos recursos vegetales presentes en dichas áreas que pudieran resolver sus diferentes necesidades, como es el caso del cuachalalate, el palo de Brasil, el ramón y el guarumbo, entre otros.

Desde tiempos de esos grupos nómadas que recorrían de manera estacional el territorio mesoamericano hasta el florecimiento de las grandes civilizaciones que se desarrollaron durante los periodos clásico y postclásico, la conformación de un acervo herbolario fue la base de su sobrevivencia y reproducción. La mayoría de estos conocimientos herbolarios fueron pasando de manera oral de generación en generación, y su eficacia estaba tan bien demostrada que ese conocimiento se conservó hasta la llegada de los españoles; por lo tanto, hay pocos documentos prehispánicos que hayan registrado dicho conocimiento medicinal.

Con la llegada de los españoles se elaboraron diferentes documentos que plasmaron parte del conocimiento tradicional, pero es un hecho que otra parte nunca fue registrada de manera escrita o ilustrada, y la que se documentó fue prácticamente de la cultura mexicana debido a que en ese momento era la que dominaba gran parte del territorio mesoamericano. A pesar de ello, ese conocimiento herbolario siguió pasando de manera oral de generación en generación.

Actualmente la herbolaria en México sigue siendo muy diversa, eficaz en el tratamiento de muchos padecimientos psicosomáticos y somáticos, aunque al mismo tiempo es poco valorada y reconocida. Un aspecto que es necesario mencionar es que dentro de las culturas tradicionales la herbolaria está inserta dentro de una cosmovisión; es decir, de una forma de percibir el mundo terrenal,

infraterrenal y supraterrenal. Una enfermedad no surge por sí misma, sino como resultado del comportamiento del individuo que la porta, de su forma de relacionarse con los miembros de su comunidad y con la forma como interacciona con su entorno (las plantas que recolecta, los árboles que corta o los animales que caza o pesca). Así, una persona puede tener mal de ojo porque alguien le tiene envidia y eso provoca una enfermedad que puede reflejarse en su estado de ánimo o en molestias en los ojos (lagañas).

En las culturas occidentales la herbolaria se mantiene como parte de las tradiciones, como una curiosidad o, incluso, como una muestra de ignorancia. Sin embargo, toda la medicina occidental surgió y evolucionó de la herbolaria, todos los medicamentos que actualmente utilizamos para curar cualquier enfermedad provienen de las plantas, o al menos los principios activos que los conforman fueron descubiertos en las plantas. Por ejemplo, los esteroides que revolucionaron el control de la natalidad en el mundo fueron aislados de diversas especies de la familia *Dioscoreaceae*; en el campo mexicano, en el estado de Oaxaca, las mujeres lo utilizaban como abortivo natural e incluso mencionan que si se bañaban en cuerpos de agua cercanos a donde crecía esa planta y estaban embarazadas, corrían el riesgo de abortar.

Otro ejemplo es el árnica, que corresponde a diversas especies del género *Heterotheca*, perteneciente a la familia *Asteraceae*, que crecen en México y que han sido utilizadas tradicionalmente como antiinflamatorio. Actualmente existen diversos productos derivados de estas especies.

Un tercer ejemplo lo conforma el epazote, *Chenopodium ambrosioides*, una *Chenopodiaceae* ampliamente utilizada para eliminar las lombrices. Su uso es tan eficaz que en algún momento se elaboró un aceite de epazote; sin embargo, en altas concentraciones es tóxico y se retiró del mercado, aunque el uso de la planta con el mismo fin sigue vigente.

La herbolaria representa una alternativa real y actual para las comunidades indígenas y campesinas del país en donde los servicios médicos son deficientes o la distancia para llegar a hospitales especializados es muy grande y no se cuenta con los recursos económicos para solventar el viaje. Sin embargo, en las grandes ciudades del país también hay muchos barrios o colonias que cuentan con curandero, partera o huesero, que utilizan estas plantas para curar diversos padecimientos. En enfermedades como el sida o el cáncer no hay remedios comprobados, pero los hierberos siguen observando y experimentando, siempre de manera empírica, con determinadas plantas para contribuir a su cura.

6 | Ecología

Introducción

Aunque desde hace mucho tiempo el hombre sabe y conoce sobre el ambiente y sus detalles, sobre todo con fines de supervivencia, es hasta 1869 que Ernst Haeckel estableció la siguiente concepción teórica: “la totalidad de relaciones entre los seres y su ambiente”, y el término de Ecología que da origen a una disciplina científica para estudiar las relaciones dinámicas de los organismos con su entorno, con un enfoque muy distinto al de la historia natural, que se limitaba a describir cómo eran en un momento dado estas relaciones, sin intentar explicar el porqué de éstas y de su estado.

Su origen, por supuesto, es posterior a la propuesta de la Teoría de la Evolución por Selección Natural, de Charles Darwin y Alfred Wallace, lo cual encaja con una secuencia lógica en el estudio de los seres vivos bajo el nuevo punto de vista que proporciona el darwinismo, en donde las especies se originan, cambian y se extinguen, no por una orden divina sino por fuerzas de origen natural, relacionadas con los cambios en el medio en que se desarrollan y con características propias de cada individuo de una población, de manera tal que estas relaciones de los seres vivos con su entorno, antes vistas como un hecho inmutable y establecido en forma divina, ya no se pueden seguir analizando bajo esa óptica, sino que también forman parte del proceso de evolución natural de las especies.

Los organismos que ocupan los diversos ambientes en la Tierra establecen una serie de relaciones con el medio que los rodea, de diversa manera y en diferentes niveles; estas relaciones pueden ser entre individuos de la misma especie, entre individuos de distintas especies o en un complejo entorno físico.

La *ecología* es la ciencia que estudia las relaciones de los organismos entre sí y de éstos con el ambiente, y una de las herramientas que se utiliza para este estudio es el análisis de los niveles de organización de la materia viva; por ello, la ecología estudia las interacciones de los organismos de una misma especie que conforman el nivel de población; las del conjunto de poblaciones de diversas especies que constituyen el nivel de comunidad con los elementos físicos y químicos del ambiente para establecer el nivel de ecosistema. De esta manera, del estudio de los individuos y poblaciones de una especie en sus múltiples relaciones con el medio ambiente se ocupa la *autoecología*, mientras que de la composición y estructura de las comunidades y ecosistemas, y de los cambios que ocurren en el tiempo se ocupa la *sinecología*.

Características del ambiente

Al observar a los sistemas vivos es claro que es imposible estudiarlos en forma independiente de su ambiente, y si reconocemos que el *ambiente* es tan importante, entonces vale la pena analizar sus características detenidamente, ya que éstas determinan, al menos en parte, la forma en que funcionamos los seres vivos.

El ambiente es cambiante. Desde la escala submicroscópica hasta la global el universo cambia, la Tierra cambia y la materia viviente está sujeta a fuerzas que la mantienen en un incesante cambio, del que también son responsables, por cierto, los propios sistemas vivos.

El ambiente es un sistema abierto que intercambia materiales y energía, o ambos, con el medio circundante; con respecto al espacio exterior, las cantidades de materia que entran y salen del planeta son mínimas, aunque no ocurre lo mismo con la energía: la luz, el calor, los rayos X y ultravioleta, que caen en forma ininterrumpida, establecen un flujo continuo que, al ser producido básicamente por el movimiento del Sol y los planetas, es rítmico y establece ciclos diarios, mensuales y estacionales, por mencionar algunos. En estos ciclos de materia y energía los sistemas vivos intervienen utilizando parte de las materias primas en su metabolismo, ya sea provenientes del medio físico (inorgánicas) o a partir de otros organismos (orgánicas), para construir compuestos y estructuras que eventualmente son devueltos al medio cuando los organismos mueren o excretan. De esta manera podemos decir que la continuidad de la vida depende de la continuidad paralela de la muerte y que los organismos contribuyen activamente, tanto en su vida como en su muerte, con el movimiento de la materia en estos ciclos.

La forma e inclinación del planeta, así como su historia geológica y de cambios climáticos, han contribuido a la conformación de una superficie terrestre heterogénea en su relieve, distribución del agua, la composición de minerales y clima, entre otras cosas, de manera que la diversidad de ambientes en el planeta está definida principalmente por la diferencia en la radiación solar recibida, pero también por las características geológicas de las regiones, como el relieve y la composición del sustrato, que tienen como consecuencia la gran heterogeneidad ambiental que genera la riqueza biológica que habita en el planeta, y determina su distribución sobre el mismo, pero imposibilita acotar o definir en forma estricta lo que podríamos denominar “las condiciones indispensables de un ambiente para la vida”.

Lo que sí podemos hacer es descomponer el ambiente en factores susceptibles de ser estudiados y cuantificados, cuyos rangos nos permitan, en algún punto del estudio, caracterizar un determinado ambiente y relacionarlo con el tipo de organismos que allí se desarrollan. De esta forma, en todos los ambientes es posible identificar básicamente dos tipos de factores:

- **Abióticos**, en los que se incluye a los *ecogeográficos*, es decir, las características específicas de un paisaje natural, como el relieve, la hidrografía, la incidencia de luz, la latitud y la altitud; los *fisicoquímicos*, como temperatura, humedad, presión, composición de los sustratos, gases disueltos, sales en solución y el pH, entre otros; y los *sidéricos*, que tienen que ver con la

influencia de algunos astros como la Luna y el Sol sobre la Tierra, como el caso de los ciclos de mareas. Estos factores determinan la presencia de los seres vivos en una zona, ya que constituyen parte de los *recursos* y las *condiciones* necesarias para su supervivencia.

- **Bióticos**, que incluyen las relaciones entre los organismos, ya sean de la misma especie o intraespecíficas o de especies distintas o interespecíficas; el tipo de vegetación, que provee de alimentos, cobertura y refugio; la densidad poblacional o concentración de los individuos de una misma especie o de diferentes especies en un espacio o área determinada; y finalmente, la presencia de poblaciones humanas, con una influencia sobre el medio ambiente cada vez mayor por el aumento de la población y el desarrollo de la tecnología.

En conjunto, los factores abióticos y bióticos de un ambiente determinan el lugar real, físico, que provee de condiciones y recursos con los que el organismo puede satisfacer sus requerimientos básicos para vivir.

Hábitat y nicho ecológico

Para describir las relaciones ecológicas que se establecen entre los organismos, son necesarios dos conceptos: el hábitat y el nicho ecológico. El hábitat de un organismo o de una especie es el área física en donde vive; describe el ambiente que reúne las condiciones adecuadas y los recursos necesarios para que la especie se pueda establecer, alimentar y reproducir, para perpetuar su presencia. Los rasgos de un hábitat lo caracterizan y diferencian de otros en los que la especie no podría vivir; en ocasiones se describen en forma general y amplia (la costa occidental de Baja California, por ejemplo), o en forma muy limitada o específica (la zona de penumbra de un bosque). Un hábitat puede ser el hogar de varias especies.

El nicho ecológico se refiere al papel que un organismo o especie desempeña en su ambiente y en relación con todos sus componentes; no se trata de un espacio físico sino de la integración de estas relaciones ecológicas de la especie con los factores físicos, químicos y bióticos que necesita un organismo para vivir.

La descripción del nicho ecológico de un organismo es compleja porque se requiere saber qué come, quién se lo come a él, en qué rangos de temperatura puede vivir, el tipo de vegetación que prefiere, si tiene o no límites su movimiento y qué efectos tiene su fisiología sobre el medio, entre muchos otros datos.

Con base en la estrecha relación de los organismos con cada uno de los factores de su ambiente, y sus respuestas reales y potenciales, autores como Hutchinson han definido el nicho ecológico como “un espacio de n dimensiones, un hipervolumen, en el que cada dimensión está representada por la relación de cada uno de los factores ambientales con el organismo y dentro del cual se puede mantener una población viable”.

El concepto de nicho ecológico es abstracto y complejo, porque no se trata de solamente describir o medir los factores del ambiente que permiten mantener

una población viable; de hecho, el concepto permite diferenciar entre potencialidad de la especie en cuanto a ocupar y relacionarse con los factores del ambiente, el nicho fundamental, y el espectro limitado de recursos y condiciones en los cuales existe el organismo, el nicho realizado.

El nicho fundamental establece la posibilidad de que una especie pueda ocupar otros espacios con características ambientales similares a la actual, que no son ocupados por efecto de factores limitantes para su dispersión, pero que al solventarse darían por resultado una distribución más amplia de esa especie; un ejemplo de esto son los organismos que al ser llevados a otro ambiente se pueden establecer y prosperar.

Con fines didácticos se ha propuesto simplificar estos conceptos y considerar al hábitat como la dirección de un organismo (¿dónde vive?), y al nicho ecológico como su profesión (¿qué hace biológicamente?).

A diferencia del hábitat, dos especies no pueden ocupar el mismo nicho ecológico (principio de exclusión), aunque una especie podría ocupar un nicho distinto en zonas diferentes o a lo largo de su ciclo de vida (renacuajo herbívoro y rana adulto carnívoro primario). De acuerdo con el principio de exclusión, dos especies no pueden ocupar el mismo nicho, pero sí parte de él, lo que da lugar a dos tipos de especies: las *especialistas*, que explotan sólo un tipo de recurso, y las *generalistas*, que tienen la capacidad de explotar más de un recurso; por ello, las especies generalistas son más abundantes y frecuentes en los hábitats y presentan un rango de amplitud de nicho mucho mayor que las especialistas.

Es importante estudiar los nichos, sobre todo cuando se analizan diferentes comunidades y se encuentra una organización esencialmente similar, con organismos distintos que pueden ocupar nichos similares en los diferentes ambientes, estableciendo lo que en ecología se conocen como redes tróficas, que representan la forma en que fluye la energía en los sistemas. Algunas de estas formas de organización pueden ser muy sencillas, en las que cada eslabón trófico lo cubre sólo un tipo de organismo, generalista por lo regular, o bien en algunos casos el uso de la materia y energía es tan específico que implica la existencia de un mayor número de especies, especialistas casi siempre.

Si asumimos que en cada sistema natural la organización es tal que el flujo de energía se realiza en forma eficiente a lo largo de estas redes, podemos encontrar casos en los que un nicho, que es una propiedad del ambiente, puede estar vacío, ya sea en forma natural como parte de la evolución de una comunidad que es relativamente joven, es decir, con pocas especies generalistas; o bien en forma artificial, cuando un ambiente ha sido trastocado por las actividades humanas y se ha abierto como un nuevo ambiente para colonizar.

Si una especie desaparece en forma natural es porque resulta ser menos eficiente que otra, de manera que esta sustitución ocurre para tener una mejora en el uso de los recursos; pero cuando la extinción es causada por el hombre su asimilación no es tan sencilla y el nicho ecológico vacante puede quedar vacío, con la consiguiente pérdida de biodiversidad, o puede ser ocupado de forma aberrante, produciendo graves e irreversibles desequilibrios en el sistema. En cualquier caso, los autores coinciden en que esto sólo es posible en ciertas eta-

pas del desarrollo y madurez de un sistema, porque en una comunidad madura en su sucesión, todos los nichos disponibles están ocupados y por tanto no hay nichos vacantes o vacíos.

Cambios temporales y espaciales

Los *cambios temporales* más frecuentes son de tres tipos: *cíclicos*, que se repiten en forma periódica, como las mareas (figura 6-1) o el día y la noche; *direccionales*, en los que se establece una tendencia o dirección del cambio y se mantiene por un periodo que abarca más allá del ciclo de vida de los organismos, como la erosión progresiva de una línea de costa o el depósito de sedimento en un estuario (figura 6-2); y *erráticos*, que incluyen todos los cambios ambientales que no son cíclicos ni tienen una dirección consistente, como los originados por huracanes o incendios (figura 6-3).

La experiencia repetida de un cambio cíclico en generaciones sucesivas de una especie seguramente ha llevado a la selección de patrones de conducta cíclicos, como la diapausa en insectos, los movimientos diurnos de las hojas, la caída de las hojas en algunos tipos de árboles, la migración de cangrejos con las mareas, la migración vertical del plancton en el mar, los ciclos de reproducción, los cambios estacionales en el pelaje en mamíferos y de plumaje en aves.

Otro tipo de variaciones importantes que se observan en los ambientes son los *cambios espaciales*, definidos por la propia heterogeneidad ambiental como resultado de procesos geológicos y climáticos que caracterizan la historia de nuestro planeta, y aunque en principio esta variación ambiental tiene un origen físico, la realidad es que los ambientes son el resultado de la interacción continua y progresiva de sus factores físicos y químicos con el componente biológico del mismo.

Entonces, lo que se encuentra en nuestro planeta es un patrón de distribución de condiciones ambientales en manchones o parches de tamaños y formas irre-



Figura 6-1.
Mareas.
Fuente: Shutterstock



Figura 6-2.
Erosión.
Foto: de Ana Gabriela Zárata Gómez.



Figura 6-3.
Huracanes.
Fuente: www.mercury-news.com

gulares que conforman una especie de mosaico ambiental, en donde a veces es posible encontrar gradientes y en ocasiones cambios abruptos.

Población

Una población se conforma por un conjunto de individuos de una misma especie, con un acervo genético que comparten y que determina, en interacción con el ambiente, su morfología, fisiología y su conducta; este grupo coexiste en el tiempo y el espacio, y potencialmente puede intercambiar material genético a

través de la reproducción y tener descendencia fértil.

La población es un nivel de organización de la materia viva y por tanto presenta características exclusivas llamadas *propiedades emergentes*, y son las siguientes:

- *Tamaño poblacional.* Es el número total de individuos que componen la población.
- *Distribución espacial.* Los individuos de una población se esparcen en un área determinada en respuesta a las diversas condiciones ambientales, tales como la disponibilidad de agua y alimento, la presencia de competidores y depredadores, y el tipo de sustrato, entre otras. Esta distribución puede seguir determinados patrones: uniforme (homogénea), agregada y aleatoria (heterogénea).
- *Patrones demográficos.* Describen el número de individuos que tiene una población en un momento determinado: tasa de natalidad (número de individuos que nacen por unidad de tiempo), tasa de mortalidad (número de individuos que mueren por unidad de tiempo) y tasa de migración (indica el número de individuos que salen de la población [emigración] y que entran a la población [inmigración] por unidad de tiempo).
- *Estructura de edades.* Se refiere a la cantidad de individuos de cada edad o intervalo de edad, de cada tipo. Su conocimiento nos permite predecir el futuro de la población en estudio.
- *Proporción de sexos.* Señala la proporción de hembras y machos. Algunas poblaciones como la humana, tienen una composición aproximada de 50% de hembras y 50% de machos.
- *Densidad.* Es el número de organismos por unidad de área o volumen. Esta característica nos da información acerca de cuánto espacio requiere un organismo para llevar a cabo sus funciones vitales, de las cuales podemos inferir la intensidad de la competencia por los recursos (competencia intraespecífica).

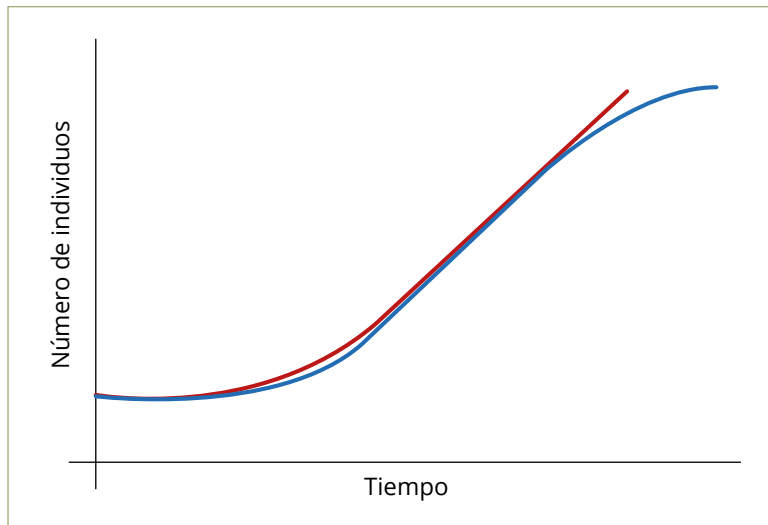


Figura 6-4.
Crecimiento poblacional.

- *Crecimiento poblacional*. Es el modo en que la cantidad de individuos de una población aumenta o disminuye con el tiempo. El crecimiento de una población depende de la tasa de natalidad, mortalidad y migración (figura 6-4).

Hay dos tipos básicos de crecimiento poblacional: *exponencial*, cuando el número de individuos de la población aumenta rápidamente porque la tasa de natalidad y de inmigración, si es el caso, supera a la de mortalidad y de emigración, y si no hay factores limitantes en el ambiente (suficiente alimento y espacio, por ejemplo). Este tipo de crecimiento se llama *ilimitado*, y sólo es posible en circunstancias muy específicas; por ejemplo, cuando una especie coloniza un nuevo espacio y no hay restricciones en los recursos ni competencia por ellos. Por otra parte, el crecimiento *sigmoide* se presenta cuando hay factores limitantes en el ambiente o factores dependientes de la densidad; el ritmo de crecimiento en estas poblaciones se inicia en forma exponencial, pero disminuye a medida que aumenta la densidad de población y se aproxima a un valor máximo denominado *capacidad de carga del ambiente* (K), para el cual el incremento en el tamaño de la población es nulo. Hay razones y evidencias para suponer que conforme se incrementa el tamaño de la población, la tasa de mortalidad aumenta (a veces por enfermedades, patógenos, falta de alimento, etc.), mientras que la de natalidad se reduce.

Comunidad

Una comunidad es un conjunto de poblaciones de diferentes especies que comparten un área común y que pueden interactuar en diversas formas. La comunidad representa un nivel de organización biológico más complejo que la población y presenta propiedades emergentes como:

- *Diversidad*. Es la variedad de organismos que forman una comunidad. Esta propiedad incluye a la riqueza e involucra a la abundancia de cada especie.

Este dato es importante ya que se pueden detectar especies raras y dominantes, entre otras.

- *Estructura*. Se refiere a la organización de los individuos de las diferentes especies dentro de la comunidad. En la estructura vertical los componentes se distribuyen a lo largo de un eje a partir del suelo, en las comunidades terrestres; o a partir de la superficie del agua y hacia la profundidad, en las comunidades acuáticas. En los ambientes terrestres esta estructura está determinada por el tamaño y la forma de las plantas, mientras que en los acuáticos la definen factores como la luz, la temperatura y la concentración de oxígeno. En la estructura horizontal, los organismos se distribuyen a lo largo de la superficie del terreno; este tipo de estructura se observa con mayor claridad en organismos sésiles, como las plantas. Ambas estructuras integran la estructura espacial, que proporciona una imagen más real de la organización de los organismos en una comunidad.
- *Fisonomía*. Representa el aspecto visual de una comunidad y depende de la morfología de las especies que la conforman, además de otros atributos, como la densidad. El estudio de esta propiedad se limita a comunidades vegetales y de arrecifes coralinos.
- *Sucesión ecológica*. Es un proceso de cambios direccionales en la composición y estructura de las especies en una comunidad. Dura muchos años y en él se pueden distinguir las siguientes etapas: colonización, desarrollo y madurez. Existen dos tipos de sucesión:
 - a) La primaria se da por la colonización nueva en superficies terrestres producto de procesos geológicos, como islas formadas por erupciones volcánicas. Las primeras especies, conocidas como pioneras (cianobacterias, líquenes, musgos y helechos), forman el suelo que permitirá que se establezcan otras especies, como arbustos y hierbas perennes, y finalmente árboles; y
 - b) La sucesión secundaria ocurre en una región en la que previamente ha habido un disturbio, como incendios, deslizamientos de tierra, huracanes y actividades humanas como la deforestación para la construcción de carreteras, para la agricultura o ganadería, pero que no causaron la destrucción del suelo ni de todas las especies. En este tipo de sucesión, las primeras especies que colonicen el lugar serán plantas que aprovecharán el suelo ya formado. Este proceso ocurre en menor tiempo que la sucesión primaria debido a que se inicia a partir de un suelo ya formado y asociado frecuentemente con un banco de semillas, raíces o tocones de las especies vegetales que se encontraban antes del disturbio, aunque también pueden llegar semillas de otros lugares por dispersión.
- *Patrones ambientales*. La diversidad de especies varía de acuerdo con la latitud, la cual es mayor en zonas cercanas al Ecuador y disminuye conforme se acerca a las regiones polares. Por otro lado, la riqueza y diversidad de especies también varía con la altitud: a menor altitud se encuentra un número mayor de especies, y a mayores altitudes sucede lo contrario.

- *Interacciones interespecíficas*. Son las relaciones que se establecen entre organismos de diferentes especies y pueden clasificarse de acuerdo con sus efectos positivos (+), negativos (-) o neutros (0) en: competencia (-,-), depredación (+,-), (que incluye la herbivoría, la depredación verdadera y el parasitismo), mutualismo (+,+), amensalismo (0,-) y comensalismo (+,0).
- *Competencia*. Se establece cuando los recursos son limitados y requeridos por dos organismos de especies diferentes que ocupan nichos ecológicos similares.
- *Depredación*. La depredación se da cuando un organismo es el alimento de otro; es decir, su presa. Es un tipo de relación (+,-) en la que una de las especies es beneficiada (el depredador), mientras que la otra resulta perjudicada (la presa). Se reconocen tres tipos fundamentales de depredadores: verdaderos, herbívoros y parásitos.
- *Mutualismo*. Es un tipo de interacción (+,+), en la que ambas especies reciben beneficios como producto de su asociación, mejorando su desempeño individual; puede ser facultativo u obligado.
- *Comensalismo*. Es un tipo de relación (+,0), ya que mientras una de las especies recibe beneficios, en la otra especie no hay efecto. La planta epífita es un ejemplo de comensalismo.
- *Amensalismo*. Es un tipo de interacción (0,-) que se caracteriza porque una especie provoca daños en otras, sin que aparentemente haya algún efecto en la primera. Es el caso de los eucaliptos y pinos, que producen sustancias que inhiben el crecimiento de otras plantas en las zonas donde caen sus hojas. A este fenómeno se le denomina alelopatía.

Valoración de la importancia de los organismos autótrofos y heterótrofos en los ecosistemas y de la fotosíntesis como base de las cadenas alimentarias

El ecosistema está representado por un conjunto de especies que comparten e interactúan en un área entre ellas y con su ambiente abiótico, y constituye la unidad básica de la ecología. Los ecosistemas se distribuyen en nuestro planeta formando la *biósfera*, la capa de la Tierra que tiene elementos indispensables para la vida, como luz solar, agua y oxígeno. Los ecosistemas que presentan condiciones similares de clima, suelo y organismos, aunque ocupen lugares geográficos distintos, constituyen un *bioma*.

Los ecosistemas, al igual que las comunidades y las poblaciones, tienen propiedades emergentes como las siguientes:

Flujo de energía. Muchos ecosistemas requieren principalmente de la energía radiante del sol. Esta energía se desplaza a través de los niveles tróficos y las redes alimentarias, y establece una estructura trófica (figura 6-5). En la mayoría de los ecosistemas se inicia con la fotosíntesis, proceso por el cual los *productores* (plantas, algas) transforman la energía luminosa en energía química para producir biomoléculas, como glucosa, lípidos, proteínas, vitaminas y ácidos nu-

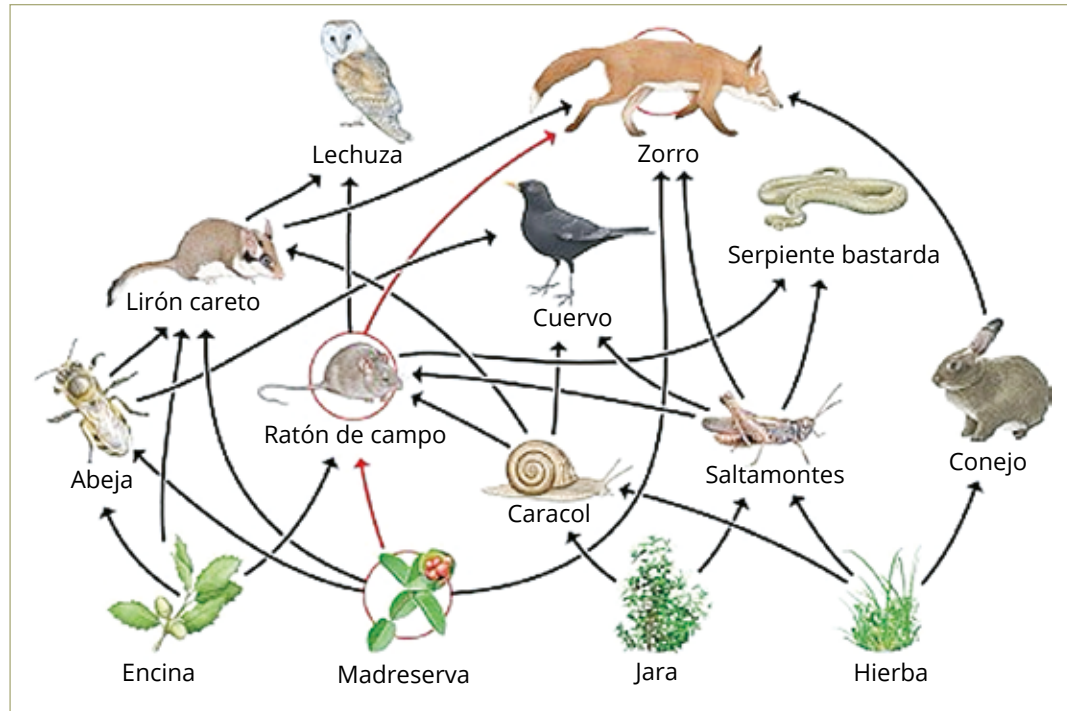


Figura 6-5.
Red trófica.

cleicos; dependiendo del tipo de ecosistema, cuando las plantas o el fitoplancton son comidos por otros organismos, esta biomasa vegetal pasa a los *consumidores primarios* (herbívoros) y una parte se convierte en biomasa animal; estos herbívoros son el alimento para los *consumidores secundarios* (carnívoros), que almacenan parte de esta energía como biomasa, los cuales a su vez, en algunos casos son comidos por los consumidores terciarios. Al final y a lo largo de estas redes participan de este flujo los *descomponedores*, que utilizan como fuente de energía los desechos y cadáveres, que al degradarlos contribuyen con el reciclaje natural de la materia orgánica.

A partir de esta propiedad es posible determinar otras características de los ecosistemas:

- *Productividad primaria bruta.* Es la cantidad de energía que aprovechan las plantas durante la fotosíntesis.
- *Productividad primaria neta.* Es la energía que resulta una vez que se ha restado a la productividad bruta la energía utilizada por las plantas durante la respiración y por pérdida en forma de calor, que corresponde a lo que la planta incorpora a sus tejidos vegetales y de la que pueden disponer los herbívoros.

Esta misma pérdida de energía se observa en todos los niveles tróficos, así es que los herbívoros disponen de menor cantidad de energía que las plantas, y éstas de mayor cantidad que los carnívoros. El esquema que representa esta pérdida neta de energía a través de los niveles es una *pirámide alimentaria*, en la que la base (productores) siempre es mayor que los niveles superiores. Una

excepción son los ecosistemas acuáticos, en los que la pirámide se encuentra invertida porque los productores son algas unicelulares de corta vida y reproducción, que son consumidas rápidamente en grandes cantidades por el zooplancton y los peces.

- *Ciclos biogeoquímicos.* La permanente interacción de los factores bióticos y abióticos en el ecosistema da como resultado la circulación de todos los elementos necesarios para la formación de las moléculas básicas para la vida, que se expresa particularmente en los ciclos biogeoquímicos, como el *ciclo del carbono, del nitrógeno, del agua y del fósforo*. La disponibilidad de estos elementos en la Tierra depende de procesos en la atmósfera, hidrósfera, litósfera y biósfera (figura 6-6).

Los sistemas vivos se interponen al utilizar parte de las materias primas en su metabolismo, ya sea que provengan del medio físico (abióticos) o de otros organismos (bióticos), y devuelven al medio parte de estos componentes cuando los organismos mueren o excretan. Se puede decir que la continuidad de la vida depende de la continuidad paralela de la muerte, y que los organismos contribuyen activamente con su vida y con su muerte en el movimiento de la materia en estos ciclos.

- *Biomasa en pie.* Es la cantidad de materia por unidad de área que se almacena en los seres vivos de un ecosistema.
- *Especies clave.* Son las especies que tienen una influencia muy marcada sobre los patrones de movimiento de materia y energía en un ecosistema. Un ejemplo es la estrella de mar (*Pisaster ochraceous*) de las zonas costeras del Pacífico de América del Norte, que son depredadores tope que se

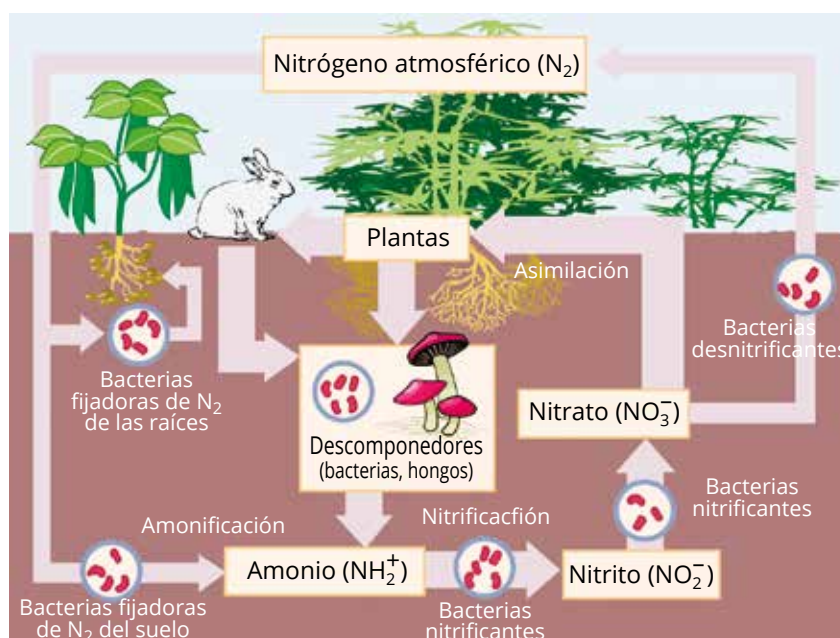


Figura 6-6.
Ciclo del nitrógeno.

alimentan de varias especies de presas, reduciendo la competencia entre ellas e incrementando la diversidad de la comunidad.

Es importante señalar que la fotosíntesis es el proceso que liga el mundo vivo con el no vivo; sin esta función no habría producción de materia orgánica en la mayoría de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y por tanto de combustibles suficientes para el consumo de los heterótrofos, entre los que nos contamos los humanos. Esta función fundamental para la vida en el planeta se realiza en 85% en los océanos, 5% en ríos, lagos y pozas, y 10% en tierra firme.

Por esta razón, no sólo es necesario proteger nuestros “pulmones verdes” en tierra, sino que también es importante mantener la salud de los cuerpos de agua oceánicos y continentales que albergan al fitoplancton, comunidades constituidas por cianobacterias y algas, que resulta fundamental en la producción de oxígeno para el planeta y de biomasa para sostener la vida en los ambientes acuáticos, que se ve gravemente afectado, por ejemplo, en casos de contaminación marina y de otros cuerpos de agua, de derrames de petróleo y de desechos industriales, por mencionar sólo algunas de las fuentes que pueden alterar estos ecosistemas.

Ecosistemas de México

Nuestro país está considerado entre los diez más ricos en biodiversidad; es decir, es un país *megadiverso*; entre 30 y 50% de sus especies son endémicas y se estima que en su biota habita el 12% de todas las especies de plantas y vertebrados terrestres del planeta (figura 6-7).

En el continente americano existen dos zonas biogeográficas –la neártica y la neotropical– que confluyen justamente en nuestro país. La zona neártica incluye flora y fauna boreal, propias de regiones montañosas, de clima templado y frío; y la región neotropical tiene especies de climas cálidos, secos y húmedos. Otras razones de esta gran biodiversidad son las cadenas montañosas, como la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico; la influencia de los vientos provenientes de los cuerpos de agua –Océano Pacífico, Golfo de México y Caribe– que rodean el país, así como las cadenas montañosas que lo cruzan, producen grandes diferencias regionales en la precipitación pluvial, en la humedad y en la morfología de relieves que se expresan en forma de llanuras, depresiones, colinas, mesetas, montañas y cordilleras.

Las costas del Pacífico reciben aguas frías del norte del hemisferio, mientras que en las costas del Golfo de México y del mar Caribe las corrientes acarrearán aguas cálidas provenientes de la zona ecuatorial. Todas estas condiciones tienen un efecto significativo sobre el clima y los ecosistemas acuáticos, cuya base morfológica se expresa en playas, lagunas, lagos, esteros, costas, marismas e islas.

La clasificación más aceptada para los ecosistemas de México fue propuesta por Jerzy Rzedowski en 1978: bosque tropical perennifolio, bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo,

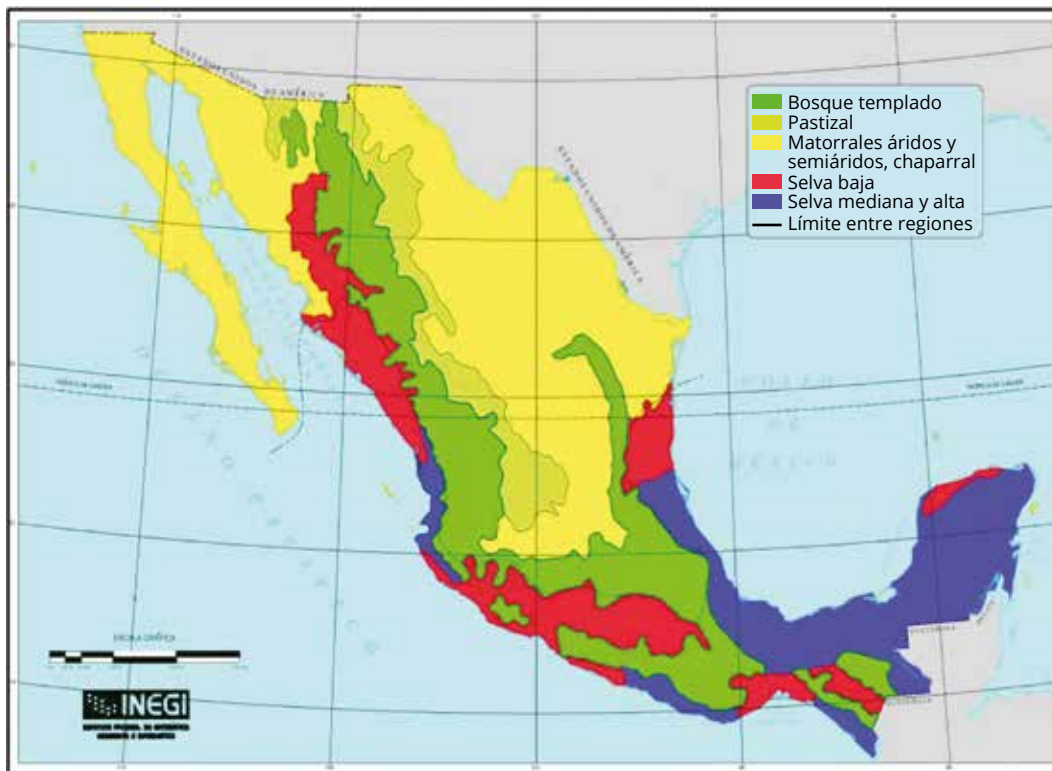


Figura 6-7. Comunidades vegetales de México.
Fuente: INEGI, Dirección de Geografía, *Cartas de uso de suelo y vegetación*.

pastizal, bosque mesófilo de montaña, bosque de coníferas, bosque de encinos, vegetación acuática y vegetación subacuática. La mayor parte de nuestro territorio (37%) está cubierto por matorral xerófilo, seguido de los bosques de coníferas y encino (19.34%) y el bosque tropical caducifolio (14.14%).

La participación humana en la dinámica de los ecosistemas

Esta riqueza, que podría significar un enorme recurso para el país, en buena parte de nuestra extensión territorial presenta diferentes grados de deterioro ambiental, que ponen en riesgo su permanencia y estabilidad, situación producto de la falta de responsabilidad de ciudadanos y gobierno para su conservación, y que a nivel mundial resulta de gran importancia debido a la presencia de especies endémicas que se encuentran en franco riesgo de extinción en estos ecosistemas.

Los ecólogos coinciden en que es necesario conocer las condiciones de poblaciones, comunidades y ecosistemas, así como el impacto que sobre ellas ejerce la actividad humana. Exponen que no es posible oponerse a la explotación de recursos, porque son necesarios para la conservación de las poblaciones humanas, pero plantean la necesidad de una planeación con base en las condiciones reales, que permita una explotación racional de los recursos y la promoción de políticas de *desarrollo sostenible* que garanticen la conservación de los sistemas naturales y que nos permita su utilización por un tiempo mayor.

Problemas ambientales

La Tierra, al igual que los organismos que la habitan, presenta constantes cambios, algunos ocasionales y otros cíclicos. La evolución de la vida se vio influida por un proceso de “contaminación” de la atmósfera con oxígeno, lo que modificó drásticamente su característica de reductora a oxidante y generó las condiciones para que la vida en la Tierra se diversificara. En la historia del planeta hay registros de eventos de aumento y disminución de la temperatura que provocaron extinciones, y el surgimiento de gran cantidad de especies.

La evolución de los homínidos está estrechamente relacionada con un incremento en la temperatura de la Tierra y con modificaciones notables en la naturaleza del ambiente. Con el surgimiento de la agricultura, hace aproximadamente 10 000 años, ocurrieron cambios que no habían provocado otras especies en el planeta: la perturbación a gran escala de grandes áreas de vegetación para el cultivo de las plantas domesticadas, la manipulación de poblaciones de animales –vaca, cerdo, oveja, borrego–, y la consecuente modificación de espacios para su crianza y alimentación.

La creación de zonas de vivienda y posteriormente de ciudades, el uso del fuego para abrir terrenos a la agricultura y ganadería, para la cocción de los alimentos y para protegerse del frío, entre otros, fueron los primeros eventos que generaron contaminación en el ambiente, aunque gracias a las bajas densidades poblacionales el impacto provocado no fue importante en la atmósfera; sin embargo, es probable que algunos grupos humanos sí hayan contribuido en procesos de eliminación de la vegetación y la fauna circundante y, en consecuencia, con la pérdida de extensiones de bosques, selvas y matorrales (**figura 6-8**).

La Revolución Industrial, que marcó el inicio del reemplazo de la fuerza humana por las máquinas, generó la necesidad de nuevas formas de energía utilizadas para el trabajo de los dispositivos mecánicos, como la energía proveniente fundamentalmente del carbón, y provocó la tala de bosques para la extracción de combustible. El resultado de esta revolución fue el incremento en la fabricación de diversos productos procesados y mayor disponibilidad de los mismos, pero también el aumento del número de individuos en las poblaciones humanas, con la consecuente exigencia de una mayor explotación de los recursos que brindaba la naturaleza para la subsistencia de las poblaciones; también, un incremento

en la contaminación del agua, el suelo y el aire debido a los desechos producidos por las fábricas y las propias poblaciones, así como el incremento del desequilibrio en los ecosistemas utilizados y habitados por las poblaciones humanas.



Figura 6-8. Flora, recurso natural renovable, Teocuilco, Oaxaca. Foto: CCMS.

Los recursos presentes en la naturaleza que el hombre ha utilizado para su subsistencia se denominan recursos naturales. Estos recursos se han clasificado como *renovables*, *no renovables* e *inagotables*.

- *Recursos naturales renovables*. Son aquellos que se pueden recuperar a través de procesos naturales en un tiempo menor al que son consumidos; sin embargo, su sobreexplotación, provocada por un crecimiento poblacional desmesurado, podría ocasionar que no se renueven más. Los suelos, la flora, la fauna y la energía geotérmica son algunos ejemplos.
- *Recursos naturales no renovables*. Son recursos finitos, es decir, que se agotan, por lo que hay que hacer una búsqueda constante de ellos en la naturaleza. Los minerales como el cuarzo, diamantes, topacios, rubíes y los hidrocarburos son algunos ejemplos (**figura 6-9**).
- *Recursos naturales inagotables*. Su permanencia sobrepasa las expectativas de la vida en el planeta, como la radiación solar, los vientos, las corrientes de agua superficiales y subterráneas, entre otras (**figura 6-10**).



Figura 6-9.
Recursos naturales minerales.

La enorme e intensa intervención del ser humano en los ecosistemas ha producido un desequilibrio grave en los últimos siglos, pues la capacidad de carga de estos ecosistemas ha sido rebasada por la densidad poblacional; se registran niveles insostenibles en el consumo de recursos alimenticios, en la extracción de recursos maderables y en la acumulación de materiales contaminantes en el agua, el suelo y la atmósfera. En suma, la modificación sin medida de los ciclos naturales ha generado lo que conocemos como *problemas ambientales*.

Los problemas ambientales pueden identificarse como locales, regionales y globales; sin embargo, algunos de estos problemas afectan a todos los seres humanos, como el calentamiento global, el efecto invernadero, el adelgazamiento de la capa de ozono, la lluvia ácida, la sobreproducción de basura, la erosión del suelo y la deforestación, entre otros.



Figura 6-10.
Recurso inagotable: el agua. Foto: Ana Gabriela Zárate Gómez.

Análisis de las causas del cambio climático asociadas con las actividades humanas y sus consecuencias

Calentamiento global

Este concepto hace referencia a un fenómeno que consiste en el aumento de la temperatura media global de la atmósfera terrestre y de los océanos, que puede o no deberse a las actividades del hombre. La causa fundamental de este calentamiento es el llamado *efecto invernadero*, proceso que ocurre por la presencia de ciertos gases atmosféricos, principalmente el CO_2 , el vapor de agua, el ozono, el metano (CH_4) y el óxido nitroso, que retienen parte de la energía que el suelo recibe cuando es calentado por la radiación solar. Estos gases evitan que la energía solar que incide constantemente sobre la Tierra vuelva al espacio y produzca un calentamiento que ocasione un efecto similar al observado en un invernadero.

El efecto invernadero es el responsable de que la Tierra tenga una temperatura adecuada para la vida. Sin estos gases la temperatura promedio sería aproximadamente de $-18\text{ }^\circ\text{C}$, pero gracias a este efecto la temperatura promedio de nuestro planeta es de $15\text{ }^\circ\text{C}$. Esta diferencia de $33\text{ }^\circ\text{C}$ en la temperatura es consecuencia directa del efecto invernadero.

Actualmente la comunidad científica identifica como un problema el hecho de que este efecto invernadero se ve acentuado por la emisión de gases, principalmente por la combustión de carbón, petróleo y gas natural, aunado a la deforestación de grandes extensiones de vegetación. Por un lado, la quema de combustibles para la industria, los automóviles y el uso doméstico liberan grandes cantidades de CO_2 , mientras que, por otro lado, con la tala de bosques se pierden plantas que podrían fijarlo como biomasa útil para la economía de los ecosistemas.

Otro gas que contribuye al calentamiento global es el metano (CH_4), en cuyo caso se trata de un producto de la respiración anaerobia y de la descomposición de los desechos animales; sin embargo, el ganado vacuno es uno de los principales productores de este gas durante su digestión. De acuerdo con un reporte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) del año 2006, el ganado fue responsable de 19% de las emisiones de este gas.

Aunque con un efecto distinto, otras moléculas que contribuyen al calentamiento global son las denominadas *clorofluorocarbonos* (cfc), gases que se utilizan en los sistemas de refrigeración industrial o doméstica y en los productos en aerosol. Su liberación hacia la atmósfera es responsable del adelgazamiento de la capa de ozono, que en la atmósfera funciona como un filtro que evita el paso de radiaciones ultravioleta, que causan daños a las células de los organismos.

El efecto de los cfc es más evidente en las zonas polares, donde la atmósfera es más delgada. Según datos de la ONU, de continuar con esta tendencia se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumentará entre 1.4 y $5.8\text{ }^\circ\text{C}$, de aquí al año 2100.

Contaminación del aire y producción de lluvia ácida

Las centrales eléctricas, los automóviles y las fábricas liberan a la atmósfera gases tóxicos y partículas en el humo que dañan nuestros pulmones. Algunos combustibles contienen plomo que puede causar lesiones en el cerebro, en particular entre los niños.

Como se mencionó, la quema de combustibles libera a la atmósfera gases, como el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, que al disolverse en agua forman ácidos que cuando llueve caen sobre la superficie terrestre y afectan las condiciones de suelos, ríos y lagos, dañando o matando a organismos que habitan en esos lugares. Incluso tienen un efecto negativo sobre las construcciones humanas, como edificios y esculturas. Este fenómeno es conocido como *lluvia ácida*.

Normalmente la lluvia presenta un pH (grado de acidez o alcalinidad) entre 5 y 6; es decir, es ligeramente ácida debido a la presencia del CO_2 atmosférico, que al combinarse con el agua forma ácido carbónico (H_2CO_3). Sin embargo, cuando hablamos de lluvia ácida, el pH que se presenta es entre 2 y 5 por la presencia de ácidos mucho más potentes, como el sulfúrico (H_2SO_4) y el nítrico (HNO_3), con un efecto fuerte de corrosión sobre todo tipo de materiales.

Contaminación de ríos, lagos y mar

Algunas comunidades humanas descargan aguas del drenaje en los ríos y lagos sin tratarlas previamente; estas descargas incluyen no sólo los desechos humanos, sino también los de los animales de granja. Como parte de sus procesos de producción, las fábricas descargan compuestos químicos venenosos para la vida vegetal y animal; también de los campos agrícolas salen las aguas contaminadas con productos provenientes de fertilizantes, como el fósforo, o residuos de insecticidas usados para combatir las plagas. Todo esto produce la muerte de los organismos que viven en los ríos, lagos y lagunas.

Como los ríos desembocan en el mar, finalmente los productos de desecho llegan hasta ahí. Todo esto, aunado a las descargas industriales y domésticas de las ciudades costeras, así como la contaminación generada por la industria petrolera, son una amenaza constante para los organismos marinos; por otra parte, son frecuentes los accidentes de buques o de las plataformas petroleras instaladas en el mar, como es el caso de México.

Contaminación por calor y por radiación

La producción de electricidad, ya sea mediante plantas termoeléctricas que queman combustibles fósiles o en las plantas nucleares, requieren de agua para enfriar los reactores. Este tipo de instalaciones se localizan frecuentemente cerca de ríos y lagunas, pues utilizan el agua en sus procesos y la vierten de regreso al

río o lago, pero con una temperatura sensiblemente mayor y con un contenido menor de oxígeno que el agua fría original; este cambio en las condiciones del agua daña a los organismos. Un peligro adicional constante, en el caso de las plantas nucleoelectricas, es la descarga de desechos radiactivos en el agua o en el aire, ya que la radiactividad produce daños irreversibles en el material genético y persiste en el ambiente por muchos años.

Deforestación

Las actividades humanas han afectado en mayor o menor grado a la mayoría de los ecosistemas de la Tierra. Un caso claro es la *deforestación*, que significa la remoción de los árboles para obtener madera. La destrucción de los bosques reduce la captura de carbono, en forma de CO₂, durante la fotosíntesis, y ocasiona que no se compensen las emisiones de este gas a la atmósfera por la combustión y contribuye al calentamiento global. Además, la destrucción de la vegetación implica la destrucción del hábitat, efecto que acelera la tasa de extinción de las especies.

El proceso de extracción de madera es complejo y con frecuencia requiere de la construcción de carreteras, con lo cual los bosques se fragmentan y se expone a los organismos que habitan el lugar a condiciones cambiantes poco apropiadas para su supervivencia; esto se conoce como el *efecto de borde*. Conforme se construyen carreteras los ecosistemas quedan convertidos en una red de pequeños fragmentos rodeados de carreteras por doquier. Un fenómeno de esta naturaleza está acabando con la selva tropical más impresionante de la Tierra: la Amazonia. Pero aquí en México sucede lo mismo con las selvas tropicales de los Tuxtlas, en Veracruz, o de Palenque, en Chiapas.

Equidad en el aprovechamiento presente y futuro de los recursos alimentarios: hacia el desarrollo sostenible

No cabe duda que el conocimiento de la naturaleza ha permitido a la humanidad transformar y aprovechar su entorno físico y muchos de los organismos que lo rodean para satisfacer necesidades básicas, como alimentación, salud y vestimenta, además de otros requerimientos secundarios. Desde la perspectiva humana, la obtención de estos bienes ha sido motor en el desarrollo de las civilizaciones; sin embargo, desde la perspectiva de la naturaleza, el costo ha sido muy alto si se considera el deterioro gradual ocasionado en los ecosistemas.

El problema ha llegado a tal punto que la ciencia se ha abocado a resolver los problemas que hace 50 o 60 años ella misma ocasionó, como los pesticidas para el control de plagas, malezas y hongos en los campos de cultivo. En su momento, la ciencia estudió el ciclo de vida de los organismos dañinos y desarrolló sustancias capaces de eliminarlos definitivamente; en este proceso dichas sustancias

contaminaron el suelo, el agua, provocaron daños a los usuarios, y con el paso del tiempo los organismos, para los que se idearon estas sustancias, desarrollaron mecanismos de resistencia que las hicieron ineficientes. Hasta hace relativamente poco tiempo se empezó a entender cómo es que evolucionaron esos organismos bajo la presión de los pesticidas, y con este conocimiento idear mecanismos de control y erradicación más eficientes.

Otros efectos nocivos relacionados directamente con el desarrollo no controlado de las poblaciones humanas son:

- *Sobreexplotación de especies.* Así como hemos señalado que con la tala excesiva de árboles maderables han desaparecido grandes áreas boscosas y, en consecuencia, las especies que las habitaban, en el mar ocurre un fenómeno similar, donde la pesca, que se concentra en pocas especies (por ejemplo, atún y camarón), afecta los tamaños poblacionales de éstas y su capacidad reproductiva. La sobrepesca también afecta a otras especies que quedan atrapadas accidentalmente.
- *Erosión de suelo.* Al desaparecer los bosques y la vegetación, la capa superior del suelo es susceptible de ser removida por el viento y la lluvia, lo que impide la regeneración del bosque, pero también lo hace inútil para la agricultura.
- *Cacería indiscriminada.* Constituye una amenaza para la conservación de especies.

Valoración de la importancia de las iniciativas en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en favor del desarrollo sostenible

Actualmente la humanidad requiere de seguir utilizando los recursos, pero reconoce las bondades que ofrece la ciencia para hacerlo sin generar grandes daños a su entorno; por ello, ahora se pretende lograr un desarrollo en armonía con la naturaleza, hacer un uso inteligente de la biodiversidad sin sobreexplotar los recursos y las especies para contribuir a su conservación; es decir, conseguir un *desarrollo sostenible*.

Los casos de catástrofes ambientales han llevado a los gobiernos de las naciones a establecer acuerdos con el propósito de fomentar el desarrollo sostenible, proteger la biodiversidad y las culturas del mundo.

En el caso particular de México es innegable su gran diversidad biológica: hay descritas 108 519 especies, de las cuales 47 853 son insectos, 1 096 plantas, 2 692 peces, 5 579 alacranes y arañas, 5 387 cangrejos y camarones y 7 000 hongos, entre otras. En cuanto a su diversidad cultural, los casi 60 grupos étnicos que ocupan el territorio mexicano realizan una gran variedad de prácticas culturales, entre las cuales se da una sana interacción con la naturaleza, y que nos muestran que las comunidades originarias del país cuentan con un conocimiento ancestral en el uso sostenible de la biodiversidad.

Este conocimiento es fundamental –junto con el conocimiento científico– para diseñar prácticas de uso, conocimiento y conservación de la biodiversidad que constituyan un mecanismo para fomentar el desarrollo y reducir la pobreza.

Las acciones emprendidas para adoptar el desarrollo sostenible impulsadas desde la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y las Comisiones Nacionales del Agua (Conagua), Forestal (Conafor) y de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), han contribuido al establecimiento de áreas naturales de protección de los ecosistemas marinos y terrestres. A la fecha, México cuenta con 155 áreas federales naturales protegidas, cuya creación obedece a su importancia biológica, ya sea porque tienen especies endémicas o porque esos ecosistemas están en peligro de desaparecer a causa de las actividades humanas.

Los planes de gobierno actualmente incluyen, entre sus objetivos primordiales, promover el desarrollo sostenible del país en todos los niveles, desde el federal hasta el municipal. Las acciones contemplan detener la deforestación, reforestar, restaurar áreas degradadas, conservar el agua, reducir la contaminación del aire, agua y suelo, y frenar la erosión.

Además, y como parte de compromisos a nivel internacional, se pretende prevenir los efectos del calentamiento global a través de la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, de la mejora en la calidad de los combustibles y con el incremento del uso de energías limpias generadas por el viento, el agua y el sol. El desarrollo sostenible, como política nacional, como compromiso de nuestra comunidad y como responsabilidad de cada uno de nosotros hacia la naturaleza, permitirá la existencia futura de las especies, de sus ecosistemas y de los procesos naturales que han dado origen a sus adaptaciones y evolución.

Bibliografía

- Campbell, N. A., L. G. Mitchell y J. B. Reece (2007), *Biología: conceptos y relaciones*, 4.a ed., México, Prentice-Hall.
- Chiras, D. D. (2005), *Human Biology*, Massachusetts, Jones and Bartlett Publishers.
- Enciclopedia de Conocimientos Fundamentales* (2010), t. 4, Química, Biología y Ciencias de la Salud, México, Siglo XXI.
- Jiménez-García, L. F. (coord.) (2006), *Conocimientos fundamentales de Biología*, vol. I, México, Pearson Educación.
- _____ (2006), *Conocimientos fundamentales de Biología*, vol. II, México, Pearson Educación.
- Jiménez-García, L. F., M. L. Marquina y R. Ruiz (coords.) (2012), *Ciencias Naturales para profesores de preescolar y primaria*, México, Siglo XXI/UNAM/Gobierno de la Ciudad de México.
- Margalef, R. (1977), *Ecología*, España, Omega.
- Purves, W. (2009), *Vida: la ciencia de la Biología*, 8ª ed., Mexico, Médica Panamericana.
- Rzedowski, J. (1994), *Vegetación de México*, 5ª ed., México, Limusa-Noriega Editores.

