

Material de Autoformación e Innovación Docente
CIENCIAS NATURALES

VERSIÓN PRELIMINAR PARA PLAN PILOTO

BIOLOGÍA

TERCER CICLO

Viceministerio de Ciencia y Tecnología

Portada

Frondas nacientes de helecho sobre musgo en el Cerro Verde, departamentos de Santa Ana y Sonsonate. Perceptibles durante su fase esporofítica foliada, los helechos también poseen una fase gametofítica inconspicua donde ocurre su reproducción sexual. Tanto helechos como musgos dependen del agua para este propósito, por ello se distribuyen en regiones húmedas como las zonas altas del país.

Fotografía: Tonatiuh E. Orantes

Ministerio de Educación
Viceministerio de Ciencia y Tecnología
Gerencia de Educación en Ciencia, Tecnología e Innovación

Programa Cerrando la Brecha del Conocimiento
Sub-Programa “Hacia la CYMA”

**Material de Autoformación e
Innovación Docente:
BIOLOGÍA**

Versión preliminar para Plan Piloto

Plan Social
Educativo
Vamos a la escuela

Ministerio de Educación

Franzi Hasbún Barake

**Secretario de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la República
de El Salvador y Ministro de Educación Ad Honórem**

Erlinda Hándal Vega

Viceministra de Ciencia y Tecnología

Héctor Jesús Samour Canán

Viceministro de Educación

Mauricio Antonio Rivera Quijano

Director Nacional de Ciencia y Tecnología

Xiomara Guadalupe Rodríguez Amaya

Gerente de Educación en Ciencia Tecnología e Innovación

Oscar de Jesús Águila Chávez

Jefe de Educación Media en CTI (Coordinador de Matemática)

Carlos Ernesto Miranda Oliva

Jefe de Educación Básica en CTI (Coordinador de Ciencias Naturales)

Tonatiuh Eddie Miguel Orantes Ramos

Orlando Leonel Castillo Henríquez

Autores

Jorge Vargas Méndez

Revisor de texto

Primera edición (Versión Preliminar para Plan Piloto).

Derechos reservados. Ministerio de Educación. Prohibida su venta y su reproducción parcial o total.
Edificios A4, segundo nivel, Plan Maestro, Centro de Gobierno, Alameda Juan Pablo II y calle Guadalupe,
San Salvador, El Salvador, América Central.
Teléfonos: +(503) 2510-4217, +(503) 2510-4218, +(503) 2510-4211, Correo electrónico: gecti@mined.gob.sv

Estimadas y estimados docentes:

El Plan Social Educativo “Vamos a la Escuela” 2009-2014 nos plantea el reto histórico de formar ciudadanas y ciudadanos salvadoreños con juicio crítico, capacidad reflexiva e investigativa, con habilidades y destrezas para la construcción colectiva de nuevos conocimientos, que les permitan transformar la realidad social y valorar y proteger el medio ambiente. Nuestros niños, niñas y jóvenes desempeñarán en el futuro un rol importante en el desarrollo científico, tecnológico y económico del país; para ello requieren de una formación sólida e innovadora en todas las áreas curriculares, pero sobre todo en Matemática y en Ciencias Naturales; este proceso de formación debe iniciarse desde el Nivel de Parvularia, intensificándose en la Educación Básica y especializándose en el nivel Medio y Superior. En la actualidad, es innegable que el impulso y desarrollo de la ciencia y la tecnología son dos aspectos determinantes en el desarrollo económico, social y humano de un país.

Para responder a este contexto, en el Viceministerio de Ciencia y Tecnología se han diseñado Materiales de Autoformación e Innovación Docente en las disciplinas de Matemática y Ciencia, Salud y Medio Ambiente para los niveles de Parvularia, Educación Básica y Educación Media. El propósito de los Materiales de Autoformación e Innovación es orientar al cuerpo docente para fundamentar mejor su práctica profesional, tanto en dominio de contenidos, (sobre todo aquellos contenidos pivotes), como también en la implementación de una metodología y técnicas que permitan la innovación pedagógica, la indagación científica-escolar y sobre todo una construcción social del conocimiento, bajo el enfoque de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), en aras de mejorar la calidad de la educación.

Este material es para el equipo docente, para su profesionalización y autoformación permanente que le permita un buen dominio de las disciplinas que enseña. Los contenidos que se desarrollan en los materiales de autoformación, han sido cuidadosamente seleccionados por su importancia pedagógica y por su riqueza científica. Es por eso que para el estudio de las lecciones incluidas en estos materiales, se requiere rigurosidad, creatividad, deseo y compromiso de innovar la práctica docente en el aula. Con el estudio de las lecciones (de manera individual o en equipo de docentes), se pueden derivar diversas sesiones de trabajo con el estudiantado para orientar el conocimiento de los temas clave o “pivotes” que son el fundamento de la alfabetización científica en Matemática y Ciencias Naturales.

La enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática debe despertar la creatividad, siendo divertida, provocadora del pensamiento crítico y divergente, debe ilusionar a los niños y niñas con la posibilidad de conocer y comprender mejor la naturaleza y sus leyes. La indagación en Ciencias Naturales y la resolución de problemas en Matemática son enfoques que promueven la diversidad de secuencias didácticas y la realización de actividades de diferentes niveles cognitivos.

Esperamos que estos Materiales de Autoformación e Innovación establezcan nuevos caminos para la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Naturales y Matemática y que fundamenten de una mejor manera, nuestra práctica docente. También esperamos que el contenido de estos materiales nos rete a aspirar a mejores niveles de rendimiento académico y de calidad educativa, en la comunidad educativa, como en nuestro país en general.

Apreciable docente, ponemos en sus manos estos materiales porque sabemos que está en sus manos la posibilidad y la enorme responsabilidad de mejorar el desempeño académico estudiantil, a través del desarrollo curricular en general, y particularmente de las Ciencias Naturales y Matemática.

Lic. Franzi Hasbún Barake

Secretario de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la República
y Ministro de Educación Ad Honórem

Dr. Héctor Jesús Samour Canán
Viceministro de Educación

Dra. Erlinda Hándal Vega
Viceministra de Ciencia y Tecnología

ÍNDICE

Parte I

Introducción.....	i
¿Por qué estudiar biología?.....	ii
Unificando contenidos.....	iii
¿Cómo usar el material?.....	iv
Integración de contenidos de biología con otras ciencias.....	vi

Parte II

Estudiando la vida: La célula.....	1
El origen de la vida.....	19
Sistemática y taxonomía.....	30
Metabolismo celular.....	48
Principios de anatomía y fisiología vegetal.....	62
Principios de anatomía y fisiología animal.....	80
Introducción a la genética.....	104
Desarrollo de los seres vivos.....	126
Fundamentos de ecología.....	144
Los recursos naturales.....	156
Ecología de poblaciones.....	170
Comunidades biológicas.....	186
Dinámica de los ecosistemas.....	203
Introducción a la hidrología e hidrografía.....	225
Ambiente y sociedad.....	240

Parte I

¿Por qué Innovación en Ciencias Naturales?

INTRODUCCIÓN

La innovación de los contenidos de la asignatura de Ciencia, Salud y Medio Ambiente, presentado a través del presente material, se encuentra presente dentro del sub-programa “Hacia la CYMA”, inmerso en el programa “Cerrando la Brecha del Conocimiento” (CBC) del Viceministerio de Ciencia y Tecnología. Este programa se enmarca dentro de las líneas estratégicas del Plan Social Educativo (PSE)¹ correspondiente a un currículo pertinente y aprendizajes significativos.

La elaboración de este material se ha realizado a causa de las múltiples deficiencias con las que se desarrollan los contenidos de Ciencia, Salud y Medio Ambiente y la falta de integración entre las áreas de las Ciencias Naturales. La poca asimilación de lo *básico* por la reducción o la simplificación de contenidos, el aprendizaje mecánico, la exclusión de la realidad, tanto natural como social, la desconexión de los aprendizajes a la vida real, los contenidos sin la adecuada jerarquización y coherencia, la falta de profundidad, la superficialidad y el considerar que el estudiantado es un receptor pasivo del proceso de enseñanza–aprendizaje, son sólo algunas de las deficiencias que se detectaron.

El currículo debe fomentar, más allá de la transmisión de conocimientos, la capacitación del estudiante en aquellas competencias, aprendizajes y herramientas que le permitan comprender su entorno. Es, a través de la alfabetización científica, que se pretende que el estudiantado consolide el desarrollo de actitudes y prácticas relacionadas con la innovación tecnológica, que permitan mediante el enfoque CTI (Ciencia, Tecnología e Innovación) aprender y pensar para crear y utilizar el conocimiento.

Un principio general del currículo de Ciencia, Salud y Medio Ambiente, establece que el estudiantado debe ser el protagonista y constructor de sus aprendizajes, por lo que para que los contenidos sean asimilados debe existir un enlace entre la teoría y la práctica, de tal forma que se logre un aprendizaje significativo.

Es difícil establecer “reglas” que expliquen la manera de cómo aproximarse al conocimiento, ya que no existe un método para estudiar ciencia sino muchos, los que varían de una época a otra y de una rama a otra. Sin embargo, a través del presente material de autoformación e innovación docente, se sugiere una aproximación factible mediante diversos procesos como la observación, la elaboración de hipótesis, la construcción de modelos, la predicción de fenómenos e interpretación de resultados, entre otros.

Un modelo de enseñanza relativamente reciente es de la Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI), el cual es un enfoque que busca facilitar el acceso al conocimiento y a su uso mediante el asocio de la comunidad científica con los sistemas educativos. Tiene sus orígenes en países como Francia (programa “*La main à la pâte*”) o Estados Unidos (programa *Hands On*); actualmente está siendo usado y desarrollado en varios países europeos (programa *Pollen*) y en latinoamericanos como Chile², Brasil y México, entre otros.

La indagación se refiere a la forma de abordar el conocimiento sobre la naturaleza, a través de la propuesta de explicaciones de los fenómenos basada en la evidencia recopilada. El aprendizaje se basa en la interacción con problemas concretos, significativos e interesantes para que el estudiantado adquiera la capacidad de hacer sus propios descubrimientos y construir de manera *activa* su aprendizaje.

En esta metodología se contemplan varias etapas:

¹ MINED (2009), *Transformación de la Educación. Programa Social Educativo 2009 - 2014 Vamos a la Escuela*. Documento MINED formato PDF

² Ministerio de Educación de Chile. *El método indagatorio*. CONICYT. Recuperado febrero 9 de 2012, de http://www.redmadera.cl/explora/libro/explora_madera_1-2.pdf.

- i. Focalización: Es la exploración y exposición de ideas respecto a la temática, problema o pregunta a investigar, a través de una lluvia de ideas.
- ii. Exploración: Se hace una discusión y se desarrolla una actividad cuidadosamente elegida, elaborando predicciones sobre el fenómeno a comprender.
- iii. Reflexión: En esta etapa se discuten los resultados obtenidos, comparando las predicciones con los resultados registrados en su cuaderno.
- iv. Aplicación: Extensión de la experiencia realizada al acontecer diario. Con esto se comprueba si el estudiantado ha internalizado de manera efectiva el aprendizaje.

En la indagación, la realización de actividades tanto en el salón de clases como en el hogar, es de enorme relevancia en cuanto a la oportunidad del estudiantado de “vivir” los fenómenos a estudiar. Para esto, la lectora o lector podrá evidenciar que en cada lección, se incluyen aplicaciones de la vida cotidiana con diversas actividades que pueden realizarse gracias a la disponibilidad de los accesorios que se requieren para llevarlas a cabo. En cada lección, se proponen algunos ejemplos de integración con otras ciencias para evidenciar la necesidad que se tiene de comprender la naturaleza no solo desde el punto de vista de una ciencia sino como un estudio multidisciplinario.

Conforme se avance en la lectura de este material de autoformación e innovación, se identificará que la mayoría de las imágenes corresponde a lugares de nuestra región, dándole así la facilidad de adaptar los conceptos científicos a nuestro entorno, logrando que el estudiantado observe la naturaleza de una manera más profunda. También, se incluyen enlaces tecnológicos en los que se podrá evidenciar la aplicación de la ciencia que se encuentra en nuestro país y la facilidad con que se pueden construir dispositivos a baja escala que funcionan bajo los mismos principios.

¿POR QUÉ ESTUDIAR BIOLOGÍA?

Es notable como la enseñanza de la Biología, entre todas las ciencias naturales, parece gozar de cierta predisposición positiva y tener una aprehensión más asequible tomando en cuenta que su objeto de estudio, los seres vivos, conforman los sistemas más complejos conocidos por el ser humano. En efecto, desde los eventos más cotidianos que realiza una persona como dormir por las noches, hasta las más intrincadas construcciones sociales como el uso de lenguaje, pueden explicarse a través procesos metabólicos y fisiológicos, así como en la capacidad de adaptación y respuesta a estímulos que comparten todos los seres vivos.

Ciertamente comprender los más simples procesos biológicos requiere de conocimientos avanzados de múltiples campos como la Física, la Química y la Matemática, entonces ¿la apreciación inicial es correcta? O, dicho de otra forma ¿es significativo el aprendizaje de la Biología? Ya que el país no cuenta con una investigación al respecto, resulta factible derivar la respuesta desde otra interrogante: ¿es posible aprender ciencia sin aplicar la rigurosidad de su método? Claramente no.

Entendiendo a la Biología como la ciencia que estudia el origen, las propiedades y las características de los sistemas vivientes, desde los niveles moleculares (de su constitución) hasta las interacciones globales (de la biosfera) con los sistemas físicos, si no existe integralidad, análisis e interpretación, lo más cercano a aprender Biología es algo parecido a aprender la historia natural, hacer una descripción de los recursos bióticos e incurrir en una memorización de ciclos y procesos básicos de los organismos.

Ante todo, la ciencia busca obtener y gestionar conocimiento a través del razonamiento lógico. Aprender ciencia significa aprender a pensar, a interrogarse, a utilizar los recursos disponibles, a validar información y crear criterio propio. Esta condición dinámica genera personas integrales capaces de encontrar aplicaciones prácticas al conocimiento científico. Así la biología, por ejemplo, sustenta diversos campos como la medicina, la agricultura o la antropología, sin los cuales, la civilización actual sería impensable.

La Biología como ciencia puede percibirse en la cotidianeidad de la vida que lleva una persona cualquiera; al enmarcar esta realidad al ambiente del aula es necesario entender que el estudiantado debe ser el protagonista de su propio desarrollo curricular, siendo cada profesora o profesor el intermediario y dosificador de la información pertinente, para que pueda asimilar dichos conocimientos. El enfoque que debe mostrarse al estudiantado es el encaminado a la comprensión de los fenómenos que ocurren en los seres vivos, antes que la aislada y poco útil memorización de conceptos, nombres científicos, ciclos, entre muchas otras cosas. Que el estudiantado pueda descubrir los muchos procesos biológicos que ocurren en cosas tan cotidianas como el simple hecho de prepararse para asistir a sus clases. En las lecciones hay diversas actividades cuyo fin es mostrar procesos biológicos de la manera más sencilla posible utilizando solamente materiales comunes que pueden encontrarse en casa; además de ejercicios y problemas para que el estudiantado tenga la oportunidad de probar todos los conceptos que le han sido dados y así sumarlos e integrarlos para lograr percibir la biología como una ciencia que se sustenta con los principios de la física, química y matemática.

Este material de autoformación posee imágenes descriptivas para lograr una mejor comprensión de los diversos conceptos e ideas que se exponen; dichas imágenes son tomadas del entorno real de nuestro país o de situaciones cotidianas. El desarrollo escrito de cada lección muestra un lenguaje técnico pero accesible y amigable con aclaración de los términos más usados en la biología y sus diversas ramas. Este componente de este material, es una innovación agregada con el propósito de mostrar que la biología no requiere de laboratorios sofisticados con materiales muy costosos o de viajes hacia reservas naturales o lugares distantes a los que pocos pueden viajar para poder ser estudiada, sino que basta con mirarnos al espejo y ser esta acción el detonante a una serie de preguntas sobre procesos biológicos en nosotros mismos.

UNIFICANDO CONTENIDOS

El material de autoformación en Biología pretende ser un referente para la comprensión de esta ciencia, empezando por llenar posibles vacíos en el conocimiento docente, entendiendo que el currículo actual tiene objetivos amplios que no pueden cumplirse sin este paso previo. Asimismo, fomenta la integralidad al unificar contenidos y proponer análisis científico en el marco de situaciones cotidianas y problemas de actualidad, de tal manera que cada docente se vuelva modelo de aplicación de la ciencia.

Un aspecto innovador, como se acaba de mencionar, es la enseñanza integrada de las ciencias, con una orientación menos parcializada y más global de los conocimientos científicos. Gil et al³, establece que si se pretende canalizar la curiosidad del estudiante hacia los fenómenos de su entorno, se debe tener en cuenta que su percepción de dichos fenómenos es globalizadora y no entiende de divisiones en asignaturas. De esta manera, se pretende evidenciar la aplicación de operaciones matemáticas y métodos físicos y químicos a las propiedades y procesos de los seres vivos; de igual manera, la curiosidad por comprender los fenómenos biológicos han sido el principio de estudio de otras ciencias. La Biología necesita de la Matemática, la Física y sobre todo la Química para interpretar y comprender algunos fenómenos biológicos.

³ Gil, D. y Guzmán, M. (1993). *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática: Tendencias e Innovaciones*. Biblioteca Virtual OEI: Editorial Popular.

¿CÓMO USAR EL MATERIAL?

Las lecciones se estructuran en diversas partes, las cuales se detallan a continuación:

Número y Título de la lección

LECCIÓN 7. INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA

CONTENIDOS

1. Introducción a la genética.
2. Historia de la genética.
3. Genética molecular.
 - a. Estructura de ADN y ARN.
 - b. Los cromosomas.
4. Transmisión genética:
 - a. Ciclo celular.
 - b. Reproducción.
 - c. La herencia.
5. Ingeniería genética.

INDICADORES DE LOGRO

1. Dedicar la importancia de los conceptos genéticos como criterios unificadores de la biología.
2. Comprender cómo se codifica la información en los ácidos nucleicos.
3. Analiza la relación entre la división celular y la reproducción.
4. Comprender los mecanismos de la herencia.
5. Utiliza apropiadamente los conceptos genéticos.

PALABRAS CLAVE

Genes, características, rasgo, alelo, nucleico, cromosoma, división celular, herencia, fenotipo, genotipo.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La teoría genética constituye uno de los principios unificadores de la biología. Todos los seres vivos poseen material genético y este guarda la información que define sus características; es, cada sistema viviente se constituye como la expresión de sus genes. Las modificaciones ambientales determinadas. La transmisión de estos genes permite la perpetuidad de la vida en un entorno cambiante.

DESCRIPCIÓN

Se introduce a los conceptos genéticos a través de un panorama histórico. Se analiza la estructura del material genético y su funcionamiento. Se estudia el ciclo celular con un vistazo hacia la reproducción como mecanismo de transmisión genética. Se abordan los principios de la herencia a través de ejercicios y problemas.

Contenidos

Indicadores de logro

Refleja los propósitos, metas y aspiraciones a alcanzar por el estudiantado.

Palabras claves

Es una selección de palabras centrales del contenido de la lección.

Ilustración

Imagen representativa del tema de la lección.

¿Por qué es importante?

Explica la importancia del porqué se desarrolla la temática

Descripción

Explica los puntos relevantes que tratará la lección.

Sabías que...

Espacio destacado para datos interesantes y curiosos con el enfoque: Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA)

INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA Biología

Responde: En el F₁, todos los individuos son heterocigotos Aa de tallo alto.

Paso 3: Determinar los gametos posibles de la F₁.

A	a
A	Aa
a	Aa

Responde: En el F₂ se necesitan realizar un cruce de prueba con un individuo homocigoto recesivo (aa).

Paso 5: Realizar cruce de prueba para heterocigotos.

A	a
Aa	Aa
aa	Aa
aa	aa

Responde: Si el individuo es heterocigoto, hay un 50% de probabilidad de obtener descendencia con fenotipo de tallo bajo. Para ser aa es homocigoto dominante (AA), todo lo descendencia será de fenotipo tallo alto.

8. PROBLEMA

En los ratones, el color negro (N) es dominante sobre el color gris (n), y un genotipo silbido (S) es dominante sobre el genotipo manso (s). El color y el manso son controlados por genes de recombinación independiente. Un ratón homocigoto negro y manso es cruzado con otro homocigoto gris y silbido. Toda la F₁ con negro de patillo silbido. Entonces se realiza un cruce de prueba empalmado: ratones de la F₁ con ratones gris manso.

Encuentre el fenotipo de los padres y de los ratones F₁.

Encuentre los genotipos y fenotipos, junto con sus ratios esperados, de la progenie en el cruce de prueba.

Solución sugerida:

Paso 1: Determinar los propósitos: se requieren los genotipos de los padres y F₁, así como los fenotipos y genotipos del cruce de prueba, con a sus proporciones.

INGENIERÍA GENÉTICA

Es la manipulación directa del genoma de un individuo, utilizando técnicas que introducen en él, material genético heredable preparado fuera de su organismo. Este material puede ser sintético o provenir de otro organismo.

Ya que las unidades funcionales genéticas son los genes, la mayoría de estas manipulaciones se enfocan en transferencia o reparación de genes.

La ingeniería genética es posible gracias a técnicas como:

- La tecnología del ADN recombinante. Permite aislar y manipular un fragmento de ADN utilizando las enzimas de duplicación.
- Secuenciación de ADN. Permite conocer el orden o secuencia de nucleótidos en un gen.
- Reacción en cadena de la polimerasa (RCP). Esta es una enzima de la duplicación que se emplea

Ejercicios y problemas

Presenta la resolución de ejercicios y problemas paso a paso.

Título de la lección/Ciencia

Subtítulo

Ilustración

Imagen representativa de los contenidos en estudio.

EL ORIGEN DE LA VIDA Biología

los virus se este teoría se le conoce como Teoría de la Regresión. la teoría de Cobolución dice que estas partículas se derivaron de los fragmentos de ARN y ADN primitivos que con el tiempo dieron origen a las células; algunas partículas evolucionaron junto a las células primitivas infectándose.



¿Amigos o enemigos?

Con la teoría de la Cobolución, se ha descubierto también, que los virus juegan un papel en la llamada Evolución horizontal. Que simplemente es otra forma de realizar cambios genéticos en la célula pero con la ayuda de agentes externos. En este caso, los virus al introducir su ARN y ADN con las células que infectan, han introducido cambios en el genoma de sus hospederos, obteniendo nuevas características para ser más resistentes ellos o para tolerar a los intrusos.

Con el descubrimiento de los priones se refuerza la idea de que moléculas simples avanzaron a ser más complejas y posteriormente conformarían la materia viva. Además la Biología Celular y Molecular, Bioquímica, Genética, han dado pruebas. Los virus son imposibles de ver con un microscopio óptico por su ínfimo tamaño. Se lograron fotografiar hasta la invención del microscopio electrónico en 1933. Infectan células animales, vegetales y bacterias (Fig. 10).



Figura 10. Ilustración representando la forma de infección de un virus, causando la lisis o rompimiento de la célula hospedadora.

Estructura viral.

Están formados por material genético que puede ser ARN o ADN rodeado y protegido por una capa de proteína llamada capsula o capsidocápsido, con forma icosaédrica; algunas clases de virus se demuestran en envoltura de lípidos (ácidos grasos) que suele ir acompañada por glicoproteínas (proteínas unidas a carbohidratos); la mayoría de virus con esta estructura afectan a los animales (Fig. 11).

Figura 11. Estructura en forma icosaédrica de virus HIV.

Imágenes
Fotografías y micrografías de conceptos o procesos biológicos.

Esquemas
Diagramas y dibujos de organismos, ciclos y procesos biológicos.

INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA | **Biología**

Como se observa en la tabla 2, antes de iniciar el cuadro de Punnett es necesario determinar los gametos posibles entre cada progenitor debido. Así es posible "predecir" el genotipo.

Noticia de Mendel
Alfonso Mendel nació en 1822 en territorio de la actual República Checa. Fue un granjero, aficionado de su padre a cultivar y cultivar plantas. Sus conocimientos en matemáticas, de donde se valió como estadístico al tratar, daban el nombre de Gregor Mendel.

Estudió la domesticidad y se fue interesado por la agricultura en la Universidad de Viena, donde aprendió química, matemática, botánica, fisiología vegetal, etc.

Concluyó sus experimentos durante una de sus visitas a la Universidad de Viena, donde aprendió sobre la herencia genética. Mendel se dedicó a la agricultura y a la botánica, pero se dedicó a la agricultura por su pasión.

El granjero Charles Darwin no tuvo conocimiento de los trabajos de Mendel, pero su genética se aplicó a la agricultura y a la botánica. Mendel fue el abuelo de su conocimiento y él a su vez se dedicó a la agricultura y a la botánica. Mendel se dedicó a la agricultura y a la botánica. Mendel se dedicó a la agricultura y a la botánica.

Para corroborar un genotipo a partir del fenotipo, Mendel realizó Cruces de Prueba; esto es posible conociendo la dominancia y el genotipo de un progenitor. Por ejemplo, Mendel determinó que el tallo largo (T) era dominante sobre el tallo corto (t), pero entonces ¿cómo podía corroborar que los plantas de tallo largo eran homocigotas? Mendel las cruzó con un recesivo (Tabla 3).

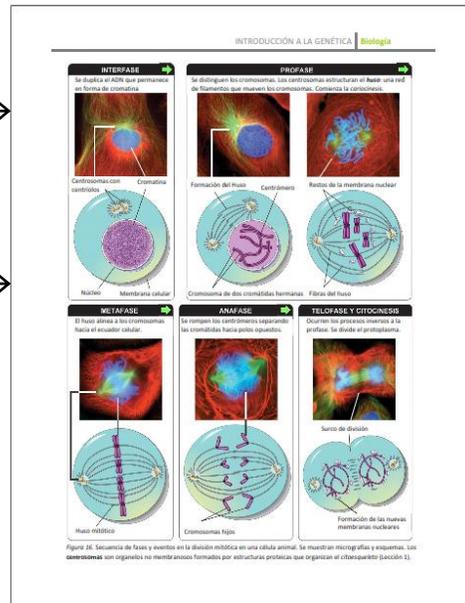
Tabla 2. Cuadro de Punnett para un cruce monohíbrido entre homocigoto recesivo y posible heterocigoto (prueba).

Progenitor	Gametos posibles		Genotipos posibles
Materno	A	a	
Paterno	Aa	aa	Aa aa
a	Aa	aa	

Tabla 3. Cuadro de Punnett para un cruce monohíbrido entre homocigoto recesivo y posible heterocigoto (prueba).

Progenitor	Gametos posibles		Genotipos posibles
Materno	T	t	
Paterno	Tt	tt	Tt tt
t	Tt	tt	

El padre es homocigoto para el rasgo (TT), produce solo gametos T. Si la madre es heterocigota, produce gametos T y t y habrá 50% de probabilidad de que sea Tt. Como se esperaba, Mendel obtuvo un FENOTIPO: 50% tallo largo y 50% tallo corto.



Aspectos históricos

Espacio designado para datos de descubrimientos, investigaciones o procesos biológicos con importancia histórica.

Resumen
Consta de dos partes: mapa conceptual y glosario

Mapa conceptual
Es una representación gráfica de los conceptos estudiados en la lección.

Glosario
Lista de las palabras importantes en la lección que conforman la teoría.

FUNDAMENTOS DE ECOLOGÍA | **Biología**

RESUMEN

ECOLOGIA
Estudia las interacciones entre los organismos y su ambiente.

COMPONENTES ABIÓTICOS y **COMPONENTES BIÓTICOS** componen los **NIVELES DE ORGANIZACIÓN**.

PRODUCTORES y **CONSUMIDORES** son niveles de organización.

ECOSISTEMAS: son comunidades de especies diferentes que interactúan entre sí y también con su ambiente no vivo: el suelo, aire, agua, así como la energía circulante que proviene del sol.

Organismo: es un individuo considerado ser vivo que presenta actividad fisiológica, conducta y evolución característica de su especie.

Organismo Consumidor: no pueden producir su propio alimento y deben consumir organismos (productores o consumidores) o de sus restos, para obtener sus nutrientes.

Organismo Productor: obtienen su alimento de su entorno no vivo, tomando compuestos inorgánicos usando sus moléculas para producir carbohidratos.

Población: es el grupo de organismos de una misma especie que viven en un área determinada.

GLOSARIO
Biosfera: es el ecosistema global, la suma de todos los ecosistemas del planeta en el cual todos los organismos existentes interactúan unos con otros.
Ecología: Conceptos básicos y elementos. Extraído en enero de 2012, de <http://goo.gl/2kqz>
Garretón, A. y. (2005). Prácticas de Ecología. Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
Jiménez, L. & Francisco, H. (2003). Ecología y Economía para un Desarrollo Sostenible. Valencia, España: La Nova Editorial.
Torres, V., Méndez, J., & Carabias, J. y S. (2005). Ecología y Medio Ambiente. Ciudad de México: Pearson Educación.
Ecología: es la rama de la biología que estudia las interacciones de los organismos (bióticos) con su medio (abiótico) donde se desarrollan, ya sea el suelo, el aire o el agua.
Niveles Tróficos: organización de los organismos de acuerdo con su tipo de alimentación o nutrición en un ecosistema.

Referencias

Citas bibliográficas que le serán útiles al maestro si quiere profundizar en alguna temática de la lección para mejor comprensión.

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Avallano, G. (2005). La ecología y los insectos. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/152tp>

Botanical-online SL. (s.f.). La reproducción de los insectos. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/42zt>

Ferreira, E. y M. Blanco (2005). Tejido conectivo. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/YE06D>

Epithelial tissue. (s.f.). Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/h8t7>

Fisiología muscular: componentes del músculo (2007). Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/305>

García, A. (s.f.). Páginas de dicencia de fisiología: Exploración de los reflejos. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/407F>

Gómez, C. (2008). El tejido epitelial. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/7219F>

Gruposobscuros.org. (s.f.). Anestesia: Impulso nervioso / Fichas de domini. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/Pa1P>

Mills, M. (s.f.). La anatomía comparada de los animales (en relación al tipo de alimentación). Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/19w2q>

Ministerio de Educación, Gobierno de España. (s.f.). Biología y geología 3º. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/191jN>

Moreno, M.; J. Martínez (s.f.). El tejido adiposo: Órgano de almacenamiento y órgano secretor. Universidad de Navarra. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/487z>

newworldencyclopedia.org (2011). Tissue. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/7f9o>

Tejido epitelial. (s.f.). Universidad Nacional de Lomas de Zamora UNLZ. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/3E3Vv>

Urrutia, C. (1991). Elementos de anatomía y fisiología animal. San José, Costa Rica: UNED. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/ou4t>

Webvision. (s.f.). Tema 2B: Histología animal. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goq.g/488k>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Traduce el literal de la izquierda al paréntesis de la derecha correspondiente a la definición del concepto.

a) Todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado en su estado natural por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades.	() Utilidad
b) La capacidad que tiene una mercancía o servicio (del ambiente) para ser utilizada en una necesidad.	() Recursos naturales
c) Punto o sumatorio del cual se produce beneficio.	() Bienes naturales
d) Parte de un recurso natural que puede ser aprovechada de forma rentable en un futuro.	() Gestión de recursos
e) Conjunto de bienes y servicios que cambian de modo y por lo tanto de precio.	() Impactos ambientales
f) Beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las actividades de los ecosistemas.	() Recursos
g) Posibles usos de la naturaleza de acuerdo con sus actividades vitales.	() Bienes y servicios ambientales
h) Medios de valoración sobre los ecosistemas.	() Capacidad de carga
	() Funciones ambientales

2. Identifique cuáles de los siguientes recursos son de tipo natural:

Aire, vehículos, viento, animales domésticos, atmósfera, plantas, animales, fuego, computadores, suelo, agua, sedenas, cosas, legos, risa, electricidad.

Recursos	No naturales

3. Clasifique los siguientes elementos en recursos bióticos, abióticos, renovables y no renovables (pueden repetirse):

Medano, Agua dulce, Neofelion veloz, Mamo, Políticos, Oro, Carbono mineral, Gas natural

Biótico	Abiótico	Renovable	No renovable

4. Lea detenidamente la siguiente información:

El amebio de los Cócheres es un ecosistema acuático tropical formado alrededor de las estructuras sólidas que generan los corales. Provisto de luz y alimento de una gran cantidad de especies marinas, por esta razón muchos corales y otros organismos que se reproducen cerca de la zona, se reproducen allí. Los Cócheres funcionan como trampas, donde animales al desarrollo de especies abióticas que filtran las partículas disueltas en el agua, entre ellas, moluscos comestibles y animales que comen forman entre otros, comidos muy apreciados por los turistas. Todo esto es posible gracias a una abundante producción primaria realizada por algas microscópicas y microscópicas como las que alimentan a poco células para comada.

Lista al menos 3 servicios ambientales del ecosistema y bienes derivados de éste.

Actividad evaluadora

Área designada para medir y valorar los aprendizajes que ha alcanzado el estudiantado, que le permita a cada docente tomar decisiones sobre cómo hará la retroalimentación. Entre las actividades de evaluación que se plantean son: preguntas de selección múltiple y única, de desarrollo, apareamiento, complemento, etc.

INTEGRACIÓN DE CONTENIDOS DE BIOLOGÍA CON OTRAS CIENCIAS

Es necesario aclarar que este material de autoformación e innovación en Biología, como parte de la asignatura de Ciencia, Salud y Medio Ambiente, no pretende cambiar ni sustituir al programa de estudios. Al contrario, pretendemos proporcionar un material con el que cuenten los docentes, tanto para su perfeccionamiento profesional como para el desarrollo de clases pertinentes, efectivas y de calidad.

Se presenta a continuación, un cuadro donde se relacionan las lecciones de este material de Biología, tanto con los contenidos del programa oficial de MINED de la asignatura de Ciencia, Salud y Medio Ambiente de Tercer Ciclo de Educación Básica, como con los contenidos del material de Física, Química y Matemática, con el fin que cada docente pueda planificar y organizar las actividades de la clase, integrando los conceptos científicos de acuerdo a los objetivos y las competencias de cada contenido.

No se pretende que las lecciones se ejecuten tal como aparecen en este material, sino que sean una fuente donde puedan tomar las ideas que mejor le favorezcan para crear la clase que mejor se ajuste a sus condiciones: tamaño de la clase, recursos didácticos, nivel de aprendizaje del estudiantado, tiempo de clase, etc. La finalidad es que cada docente determine los mecanismos y actividades para guiar al estudiantado a un ritmo de aprendizaje adecuado y de calidad.

LECCIONES	CORRESPONDE A	REQUISITOS MATEMÁTICOS	INTEGRACIÓN CON OTRAS CIENCIAS
1) ESTUDIANDO LA VIDA: LA CÉLULA	7° GRADO - UNIDAD 6: LA CÉLULA		Química Mezclas Masa molar Soluciones Termodinámica I Termodinámica II
2) EL ORIGEN DE LA VIDA	9° GRADO - UNIDAD 8: ORIGEN DE LA VIDA, VIRUS Y BACTERIAS 7° GRADO - UNIDAD 6: LA CÉLULA		Química Masa molar Mezclas Soluciones Ecuaciones químicas Cinética química Física Termodinámica I Termodinámica II Electricidad Magnetismo Geofísica Astronomía
3) SISTEMÁTICA Y TAXONOMÍA	8° GRADO - UNIDAD 8: LA DIVERSIDAD DE LA VIDA	Simetría, planos.	
4) METABOLISMO CELULAR	7° GRADO - UNIDAD 7: ASÍ ESTAMOS FORMADOS LOS SERES VIVOS		Química Mezclas Compuestos inorgánicos Compuestos orgánicos Ecuaciones químicas Cinética química
5) PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA VEGETAL	8° GRADO - UNIDAD 7: FUNCIONES VITALES DE LOS SERES VIVOS	Funciones Razones Proporciones	Química Mezclas Compuestos inorgánicos Compuestos orgánicos Ecuaciones químicas Estequiometria Reacciones termoquímicas Cinética química Física Dinámica Termodinámica II Fluidos hidrostática Fluidos hidrodinámica Ondas mecánicas Luz y óptica
6) PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA ANIMAL	8° GRADO - UNIDAD 7: FUNCIONES VITALES DE LOS SERES VIVOS	Funciones Razones Proporciones	Química Mezclas Compuestos inorgánicos

LECCIONES	CORRESPONDE A	REQUISITOS MATEMÁTICOS	INTEGRACIÓN CON OTRAS CIENCIAS
6) PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA ANIMAL			Compuestos orgánicos Ecuaciones químicas Estequiometría Reacciones termoquímicas Cinética química Física Cinemática Dinámica Trabajo y energía Termodinámica II Fluidos hidrostática Fluidos hidrodinámica Ondas mecánicas Electricidad
7) INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA	9° GRADO - UNIDAD 9: EL MUNDO DE LOS GENES	Probabilidad	Química Masa molar Ecuaciones químicas
8) DESARROLLO DE LOS SERES VIVOS	7° GRADO - UNIDAD 8: DESARROLLO DE LOS SERES VIVOS 8° GRADO - UNIDAD 7: FUNCIONES VITALES DE LOS SERES VIVOS	Funciones	Química Soluciones Compuestos inorgánicos Reacciones termoquímicas Física Termodinámica I Fluidos hidrostática
9) FUNDAMENTOS DE ECOLOGÍA	7° GRADO - UNIDAD 9: LOS SERES VIVOS Y SU MEDIO AMBIENTE		Química Mezclas Física Geofísica
10) LOS RECURSOS NATURALES	8° GRADO - UNIDAD 10: RECURSOS VITALES: EL AGUA Y EL SUELO 9° GRADO - UNIDAD 11: NUESTRO MEDIO AMBIENTE		Química Ecuaciones químicas Física Termodinámica I Luz y óptica Geofísica
11) ECOLOGÍA DE POBLACIONES	9° GRADO - UNIDAD 10: ECOLOGÍA DE POBLACIONES	Estadística Funciones Tasas, Razones y proporciones	Física Ondas mecánicas
12) COMUNIDADES BIOLÓGICAS	7° GRADO - UNIDAD 10: COMUNIDADES BIOLÓGICAS		Química Enlace químico Soluciones Compuestos inorgánicos Reacciones termoquímicas Física Cinemática Trabajo y energía Fluidos hidrostática Fluidos hidrodinámica Ondas mecánicas Electricidad

LECCIONES	CORRESPONDE A	REQUISITOS MATEMÁTICOS	INTEGRACIÓN CON OTRAS CIENCIAS
13) DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS	8° GRADO - UNIDAD 9: DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS		<p>Química Enlace químico Mezclas Compuestos orgánicos Ecuaciones químicas Cinética química</p> <p>Física Cinemática Trabajo y energía Termodinámica I Termodinámica II Fluidos hidrodinámica Ondas mecánicas Electricidad Magnetismo Geofísica</p>
14) INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA	8° GRADO - UNIDAD 10: RECURSOS VITALES: EL AGUA Y EL SUELO		<p>Química Masa molar</p> <p>Física Termodinámica II Fluidos hidrostática Fluidos hidrodinámica Geofísica</p>
15) AMBIENTE Y SOCIEDAD	9° GRADO - UNIDAD 11: NUESTRO MEDIO AMBIENTE	Funciones Tasas Razones y proporciones Estadística	<p>Química Masa molar Mezclas Soluciones Compuestos inorgánicos Compuestos orgánicos Ecuaciones químicas Estequiometria Reacciones termoquímicas</p> <p>Física Termodinámica I Luz y óptica Electricidad Magnetismo Geofísica</p>

Parte II

Contenidos del Programa trabajados con enfoque CTI

Lección 1.

ESTUDIANDO LA VIDA: LA CÉLULA

CONTENIDOS

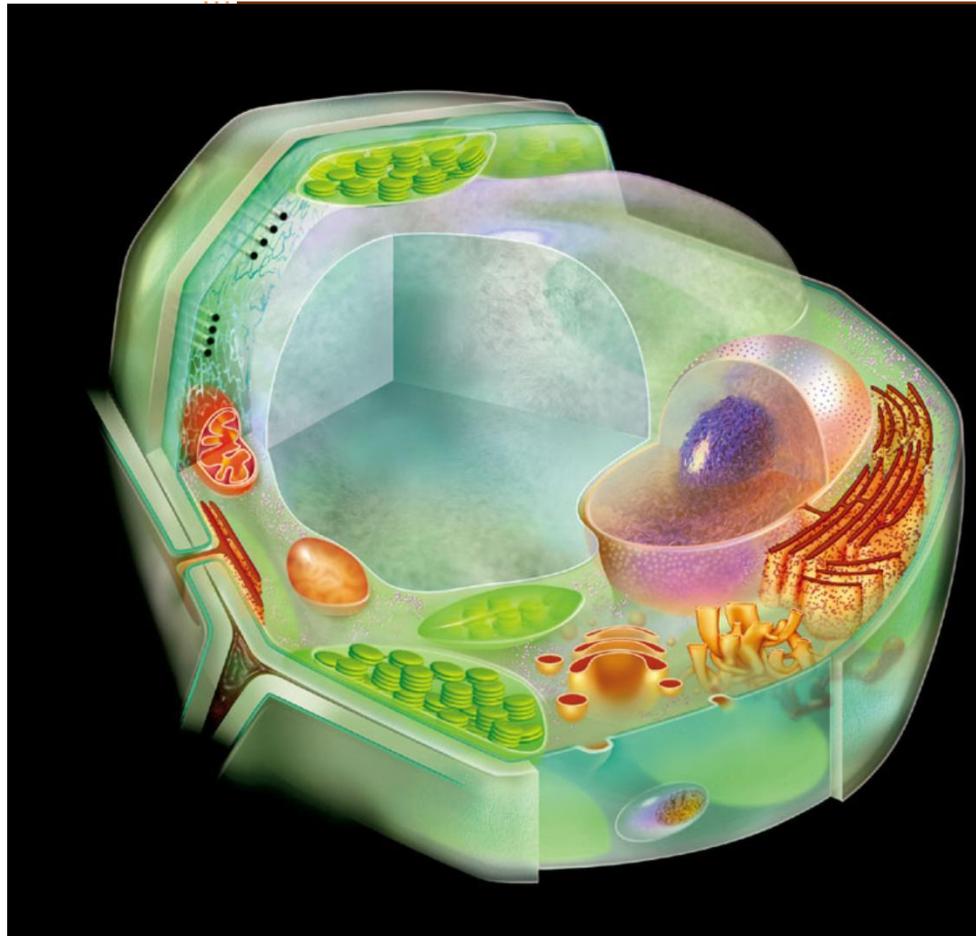
1. El estudio de la vida.
2. La célula como un sistema.
3. Teoría Celular.
4. Características de los sistemas vivientes.
5. Clasificación estructural de las células.
6. Célula animal y vegetal.

INDICADORES DE LOGRO

1. Analiza de forma crítica el concepto de célula desde la perspectiva termodinámica y de la teoría celular.
2. Aplica los conceptos de las características unificadoras de los seres vivos.
3. Comprende las diferencias y semejanzas entre células procariotas y eucariotas.

PALABRAS CLAVE

Célula, homeostasis, metabolismo, procariota, eucariota, organelo.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

El estudio celular es la base del conocimiento biológico. El desarrollo de todas las formas de vida, tanto unicelulares como pluricelulares, depende de la acción individual de sus células.

DESCRIPCIÓN

Se detallan las características fundamentales de los seres vivos, definiéndolos de acuerdo con la teoría celular como sistemas conformados por células. Se exploran las diferencias que separan a los organismos procariotas y eucariotas, estudiando sus estructuras principales, así como las funciones que realizan.

EL ESTUDIO DE LA VIDA

Al igual que los objetos inertes, los seres vivos están constituidos por materia, de tal manera que obedecen a las leyes y principios establecidos por la física y la química; no obstante, el análisis a estos niveles no es suficiente para comprenderlos en su totalidad, dado que se encuentran altamente organizados constituyendo *sistemas integrados cuyas propiedades distintivas exceden a las que resultan de considerar la suma de sus átomos y moléculas individuales.*

La biología, es entonces la ciencia que tiene por objeto de estudio a estos sistemas vivos, sus características, origen y desarrollo.

Hasta la fecha, la unidad más básica conocida que cumple con las propiedades distintivas que separan lo inerte de lo vivo es: la célula.

LA CÉLULA COMO UN SISTEMA

El concepto tradicional de célula, describe a ésta como *“la unidad anatómica estructural y fisiológica funcional de la vida”*. Tal descripción, aunque cierta, reduce el significado de célula a una simple estructura corporal.

La biología moderna estudia a la célula desde una perspectiva termodinámica, definiéndola como:

“Un sistema isotérmico abierto, formado por moléculas orgánicas, que se autoensambla, autorregula y autorreplica, operando sobre la base de máxima economía de partes y procesos”

Desde los seres microscópicos más antiguos como las *Arqueobacterias* hasta la gran ballena azul (*Balaenoptera musculus*) y el gigantesco árbol de Sequoia (*Sequoia sempervirens*) están constituidas por células (Fig. 1). Por esta razón, se dice que la célula es la *unidad básica estructural y funcional de los organismos*. Este concepto se conoce como *teoría celular*.



Figura 1. A: Arqueas, bacterias primitivas. B: Sequoia, los árboles más grandes del mundo.

LA TEORÍA CELULAR

La teoría celular consiste en dos postulados básicos unificadores de la biología:

- Todos los seres vivos están conformados por células y sus secreciones. Por lo tanto, éstas son las unidades estructurales y funcionales de la materia viva.
- Todas las células se originan de células preexistentes a través de la división celular. (La generación espontánea no ocurre).

Un poco de historia...

El primer precepto de la teoría celular tuvo su aproximación inicial en 1838, con los trabajos paralelos del botánico vanguardista y abogado Matthias Schleiden, y del fisiólogo anatomista Theodor Schwann. Ambos científicos alemanes establecieron el primer enunciado.

Posteriormente, Rudolf Virchow, médico, patólogo y político alemán, estableció las bases del segundo enunciado en 1855 mientras estudiaba el origen de ciertas enfermedades.

La teoría celular tardó casi 20 años en completarse.

Con el desarrollo posterior de la biología, especialmente con la aparición de la biología molecular y la genética, la teoría celular se complementó con los siguientes enunciados:

- Las células contienen información hereditaria que es pasada de generación en generación durante la división celular.
- Las células son semejantes en cuanto a su composición química estructural.
- Todos los flujos de energía de los procesos vitales ocurren a través de las células.

La trascendencia de la teoría celular se debe a que *coloca el énfasis en la uniformidad básica de todos los seres vivos y así provee de fundamento a las similitudes encontradas en una amplia diversidad de organismos.*

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS VIVIENTES

Si bien, se ha definido la célula como un sistema vivo, esto no responde a la interrogante sobre qué define a la vida en sí. En otras palabras, *¿qué diferencia a la célula y a los organismos constituidos por ellas de la materia inerte?* Y, tomando en cuenta su diversidad *¿es posible caracterizar la vida?*

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 30 minutos)

IDENTIFICANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VIDA (parte 1)

Materiales: un huevo; una fruta; un pedazo de queso, un pan, una semilla y agua.

Procedimiento: organice a los estudiantes en grupos de tres a cinco integrantes. Muestre a la clase los siguientes implementos: un huevo, una fruta, un pedazo de queso, un pan, una semilla y agua. Ahora interróguelos *¿cuáles de estos objetos se encuentran vivos? ¿Por qué decimos que lo están?* Si lo solicitan, permítales manipular los objetos.

Indique que elaboren una tabla, separando los elementos vivos y los no vivos que les fueron mostrados, así como al menos una razón, criterio o característica de por qué los clasificaron en esa forma. Ejemplo:

Elemento vivo	Características	Elemento no vivo	Características
Huevo	<ul style="list-style-type: none"> – Posee organización. – Crece y se desarrolla. 	Pan	–No responde a estímulos.

Cuando terminen, liste en la pizarra las características que cada grupo le otorgó a los elementos vivos (agrupar similares). Formule la siguiente pregunta *¿cumplimos nosotros con todas estas características?*

¿Qué otras características compartimos con todos los seres vivos? Desarrolle la temática sobre las características de los sistemas vivos de acuerdo con la información siguiente:

Dada la dificultad histórica de instaurar una definición exhaustiva y concluyente de vida, se ha optado por caracterizar a los seres vivos, estableciendo una serie de rasgos que los definen como tales. Estas características se resumen en:

Organización: Los seres vivos poseen diferentes niveles de organización con patrones similares. Su característica principal es que *todos están formados por células*, considerándose éstas las unidades básicas de la vida (Fig. 2). Las células se conforman por biomoléculas, y diferentes agrupaciones celulares se constituyen en tejidos, órganos, sistemas y organismos.

Homeostasis: Es la propiedad de regular el medio interno para mantenerlo en un estado constante. Se relaciona íntimamente con las adaptaciones al medio. Por ejemplo sudar para mantener la temperatura corporal (Fig. 3).

Respuesta a estímulos: Los organismos reaccionan a cambios externos respondiendo de diversas formas (Fig. 4). La respuesta a estímulos involucra desde pequeñas contracciones celulares, hasta la locomoción y las relaciones sociales.

Adaptación: Es la habilidad de *cambiar*, sobre cierto período de tiempo, en respuesta al ambiente (Fig. 5). Representa la base de la evolución y se relaciona con la herencia.

Uso de energía: Los seres vivos requieren de energía para mantener su organización y equilibrio interno, así como para producir todo fenómeno relacionado con la vida (Fig. 6). Esta energía es obtenida del ambiente.

Todas las reacciones químicas que ocurren dentro de los organismos (*metabolismo*) se pueden clasificar entonces desde una perspectiva energética: los seres vivos convierten sustancias químicas y energía en componentes celulares (*anabolismo*) y descomponen materiales orgánicos para obtener energía (*catabolismo*).

Crecimiento y desarrollo: Todas las formas de vida, al menos en alguna etapa de su ciclo vital, incrementan el tamaño de todas sus partes organizadas, no simplemente acumulando materia (Fig. 7). Esto significa mantener una tasa más alta de anabolismo que catabolismo. El desarrollo lleva a los seres pluricelulares a un nivel anatómico más complejo o definitivo, por ejemplo una larva que se transforma en insecto; sin embargo, también existe el desarrollo en seres unicelulares.

Movimiento: Los organismos vivos, aún las formas sésiles como los vegetales o esponjas, presentan movimiento en alguna etapa de su desarrollo, en sus estructuras internas o simplemente a escala celular (Fig. 8)

Reproducción: Es la capacidad de producir nuevos organismos que presentan todas las características de la materia viva incluyendo nuevamente la reproducción. La descendencia puede ser semejante o idéntica a su(s) progenitor(es), relacionándose esta propiedad a la transmisión de información genética.

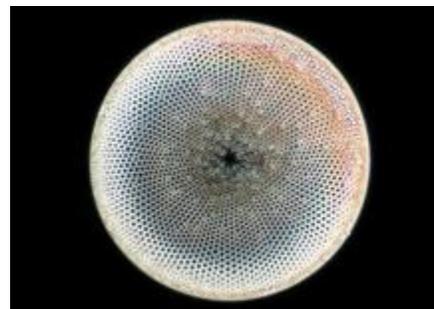


Figura 2. Organización: Simetría en la valva de *Coscinodiscus*, un alga marina de El Salvador.



Figura 3. Un perro jadea para enfriar su cuerpo, pues no puede sudar.



Figura 4. Las plantas crecen en dirección a estímulos lumínicos.



Figura 5. Adaptación: El cangrejo ermitaño o "canegüe" como se le conoce en el país, no posee caparazón, así que busca reemplazos.



Figura 6. Termografía de un tucán: Permite observar la energía térmica que produce su cuerpo (áreas rojizas y amarillas).

Ciertos objetos y sustancias inertes pueden cumplir una, o incluso varias, de estas características que definen a la vida, por ejemplo los planetas se encuentran organizados en capas y se mueven en órbitas, los cristales crecen y los virus se reproducen; no obstante, un ser viviente tiene que presentar necesariamente todas las particularidades que definen a la vida.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 15 minutos)

IDENTIFICANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VIDA (parte 2)

Con la información anterior, y manteniendo los mismos grupos de trabajo, pida a los estudiantes que elaboren una tabla donde cotejen a cada elemento mostrado, con las características vitales observables, de la siguiente manera:

Objeto	Semilla	Queso
Características		
Posee moléculas orgánicas	X	X
Se mueve	X	-
Crece	X	X
Responde a estímulos	X	-
Se reproduce	X	-
Usa energía	X	-

DIVERSIDAD EN LA UNIFORMIDAD: CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CÉLULAS.

Como se mencionó antes, la complejidad de los seres vivos obliga a estudiarlos desde un enfoque de sistemas, siendo estos, en su definición más simple, *un conjunto de elementos y de sus interacciones que forman un todo con propiedades específicas.*

En las células, si bien los elementos internos siguen patrones uniformes de conformación molecular y sus funciones vitales son semejantes, la especialización, la complejidad estructural, las formas y los tamaños celulares permiten la diversidad de la vida. Por supuesto, el estudio de las características celulares es complejo, debido especialmente a una de las mismas: su tamaño (Fig. 10).

Durante siglos las células individuales pasaron inadvertidas para la humanidad, puesto que el ojo humano alcanza una resolución máxima de 0.1 mm, lo que se encuentra por encima del tamaño habitual de las células.



Figura 7. Crecimiento y desarrollo. La vegetación se abre paso a través de las estructuras humanas.



Figura 8. En la mayoría de animales, el movimiento es esencial para la supervivencia. Debido a sus agudos sentidos, la lechuza común (*Tyto alba*) se mueve libremente en la oscuridad cazando roedores.



Figura 9. Reproducción: Los “zompopos de mayo” (*Atta laevigata*) se reúnen al inicio de las estación lluviosa para reproducirse.

ACTIVIDAD 2. (Tiempo: 20 minutos)

EL TAMAÑO DE LAS CÉLULAS

Materiales

- 1 metro (instrumento).
- 1 regla milimetrada.
- Aguja.
- Tinta de cualquier tipo.
- Servilletas.

Procedimiento

Forme al estudiantado en grupos de tres a cinco personas.

Indique que tomen la regla milimetrada y mojen con tinta la punta de la aguja, quitando el exceso con la servilleta.

Ahora pídale que hagan un punto muy fino entre dos de las rayas que forman los milímetros (mm).

Pregúnteles *¿qué distancia hay desde el punto hasta la raya del milímetro? Aproximadamente 0.5 mm.*

Indique que repitan el proceso haciendo otro punto muy fino entre el punto anterior y la raya del milímetro.

Nuevamente interrogue *¿qué distancia hay entre los dos puntos? 0.25 mm. ¿Ven los dos puntos separados?*

A quienes puedan verlos, pídale hacer un tercer punto entre los primeros dos. Resultará muy difícil distinguirlos todos. La distancia mínima que puede haber entre dos puntos para que una persona de buena vista los pueda ver separados es de 0.10 a 0.20 mm. Por eso, para que una cosa sea visible ha de ser mayor de 0.20 mm.

Posteriormente tome el metro y dibuje en la pizarra una línea dividida cada 10 cm.

Represente dos círculos de 20 cm de diámetro, uno con centro en la marca del 50 y otro en la de 75.

Finalmente dibuje un círculo de 5 cm entre los anteriores.

Explique que si el metro fuera 1 mm, los círculos grandes representarían los puntos que ellos hicieron y el pequeño una célula de tamaño grande. Una bacteria ocuparía 0.5 cm.

Esto representa un aumento de 1000X.

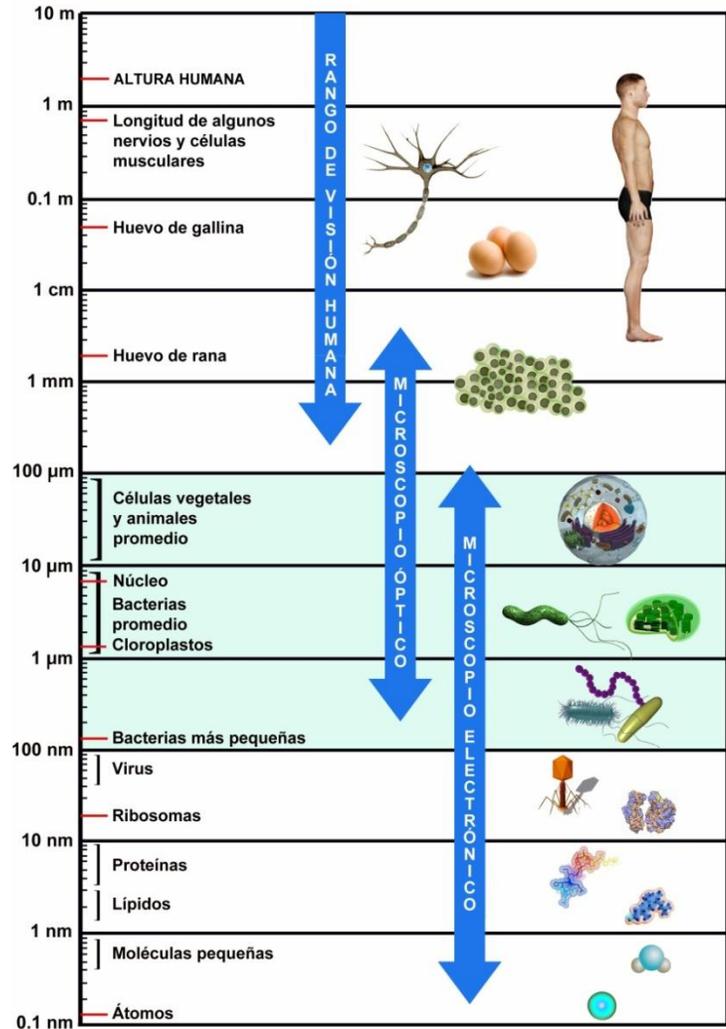


Figura 10. Escala celular. Con algunas excepciones, la mayoría de células no pueden observarse debido a su tamaño. Existen células tan pequeñas que son invisibles al microscopio óptico (MO) y tienen que observarse con el microscopio electrónico (ME). Medidas microscópicas:

$$1 \text{ milímetro (1 mm)} = 1\,000 \text{ } \mu\text{m}.$$

$$1 \text{ micrómetro (1 } \mu\text{m)} = 1\,000 \text{ nm}.$$

Hasta la fecha se acepta que las primeras células microscópicas fueron observadas y descritas por *Robert Hooke* en 1665, tras el surgimiento de la microscopía. Hooke observó un corte de corcho y reportó la existencia de celdas asociadas a ciertos "jugos". Más adelante *Anton Van Leeuwenhoek*, un comerciante contemporáneo de Hooke, desarrolló lentes que lograban aumentos de hasta 250X, suficiente para descubrir las primeras bacterias.

Luego del descubrimiento de las células, las limitaciones tecnológicas obligaron a esperar casi 300 años para conocer su estructura. Esto fue posible en la década de 1950, con la invención del microscopio electrónico (ME) que impulsó una revolución en la biología, puesto que permitió apreciar por primera vez estructuras subcelulares, así como moléculas orgánicas de gran tamaño como las proteínas.

Debido a la complejidad de las estructuras subcelulares se diferencia entre dos tipos básicos de células: *Procariotas* y *Eucariotas*.

CÉLULA PROCARIOTA

Las **procariotas** (del griego *pro*, antes; y *karyon*, núcleo) son células pequeñas y de estructura muy sencilla. Su principal característica, como lo expresa la etimología, es carecer de envoltura nuclear, por lo que el contenido del núcleo está diseminado en el interior.

También se denominan procariotas o procariontes a los organismos conformados por este tipo de células. Todos ellos son unicelulares y, exceptuando dos especies, todos son microscópicos. Como representantes de los procariotas están: las *arqueobacterias*, las *bacterias* y las algas verde azuladas, también llamadas *cianobacterias*.

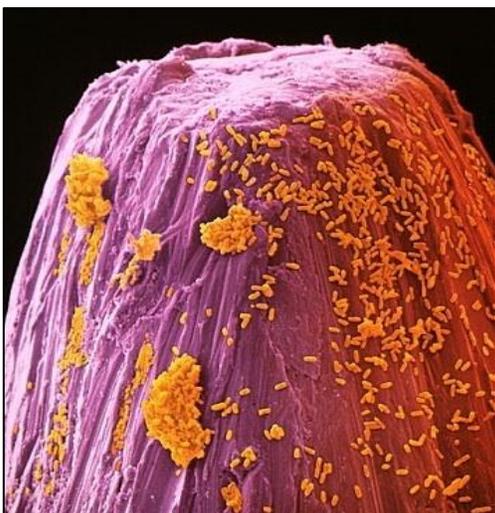


Figura 11. Dimensión de las bacterias. Imagen de bacterias (puntos amarillos) sobre la punta de un alfiler.

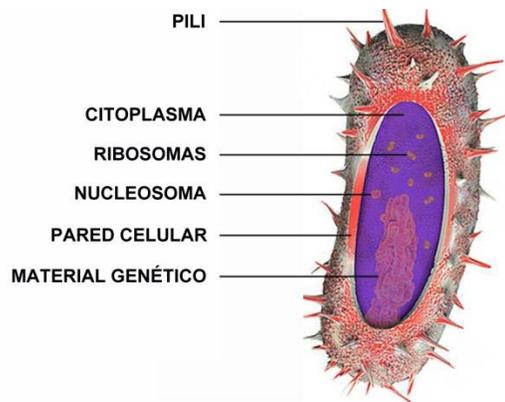


Figura 12. Esquema general de una célula procariota.

ESTRUCTURA

Las células procariotas asemejan cápsulas microscópicas cuya forma depende de cómo se conforme su envoltura externa rígida denominada *Pared Celular* (Fig. 12). El contenido celular se encuentra limitado por la *Membrana Plasmática*, dentro de ella, las estructuras internas se ven inmersas en el *Citoplasma*, una solución acuosa que contiene principalmente sales, azúcares y proteínas necesarias para mantener la homeostasis y transformar energía.

Desde la región interna (citoplasmática), hacia la región externa de la pared celular, los elementos que forman una célula procariota son:

La región nuclear: contiene el material genético que puede organizarse en *nucleosomas*, cúmulos de Ácido Desoxirribonucleico (ADN) más proteínas, o bien en un *Cromosoma*, estructura conformada por el superenrollamiento de ADN y sus proteínas durante la *División Celular*.

Esta área es indistinta pues no se encuentra confinada por membranas. *Contiene la información para realizar todas las funciones vitales, incluyendo la adaptación y la reproducción.*

Ribosomas: *Gránulos de Ácido Ribonucleico (ARN) que flotan en el citoplasma dándole una apariencia rugosa. Son vitales, ya que contienen la información para sintetizar proteínas.*

Plásmidos: Cúmulos circulares de ADN. Su importancia radica en que pueden ser

transferidos a otras células para la reproducción sexual.

La Membrana Plasmática: es una *bicapa de lípidos que envuelve al citoplasma*, aislando a la célula del medio circundante. Permite la entrada o salida selectiva de sustancias para mantener la homeostasis y alimentarse. Asimismo, posee receptores que detectan cambios ambientales.

Pared Celular: Compuesta de una mezcla de proteínas y carbohidratos, *brinda rigidez y protección a la célula, al mismo tiempo que mantiene su forma*. Posee poros que permiten el intercambio libre de sustancias.

Los *Micoplasmas* son las únicas bacterias que no poseen pared celular rígida, por lo tanto no tienen forma definida. Estas son bacterias patógenas del aparato respiratorio humano (por ejemplo el *Micoplasma neumoniae*, que causa la neumonía leve) y son tan pequeñas que resultan invisibles al microscopio óptico (MO).

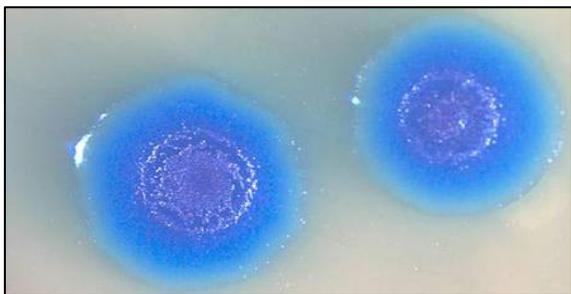


Figura 13. Micrografía de micoplasmas (*Mycoplasma*). La región nuclear se ha teñido de violeta.

¿Pueden distinguirse las bacterias por su forma?

En los inicios de la clasificación de bacterias, el único criterio posible para diferenciarlas era su forma. Así se establecieron 4 tipos básicos de bacteria:

- Cocos: Bacterias con forma esférica.
- Bacilos: Bacterias con forma de bastón.
- Espirilos: Bacterias con forma espiral.
- Vibriones: Bacterias en forma de coma.

Con el desarrollo de la biología molecular, el sistema de clasificación por la forma se volvió obsoleto, pero los géneros derivados de este aún se mantienen para ciertas bacterias, por ejemplo:

- Streptococcus pneumoniae*: Bacteria de la neumonía.
- Lactobacillus casei*: Bacteria del yogur.
- Spirillum minor*: Bacteria de la fiebre de rata.
- Vibrio cholerae*: Bacteria del cólera.

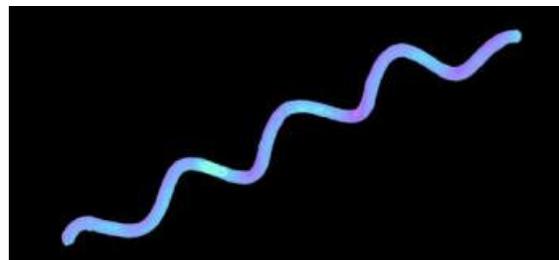


Figura 14. Bacteria con forma en espiral: *Spirillum sp.*

Hacia el exterior de la pared celular, algunas bacterias presentan apéndices (proyecciones anatómicas con funciones diversas), principalmente:

Fimbrias o Pili: Estructuras proteicas con forma de cabello. El más importante es el pili sexual, que permite intercambio de ADN en la reproducción sexual de bacterias.

Flagelos: Largos apéndices proteicos conectados a la membrana celular. Estos rotan para impulsar a la célula, constituyendo el único medio de locomoción procariota.

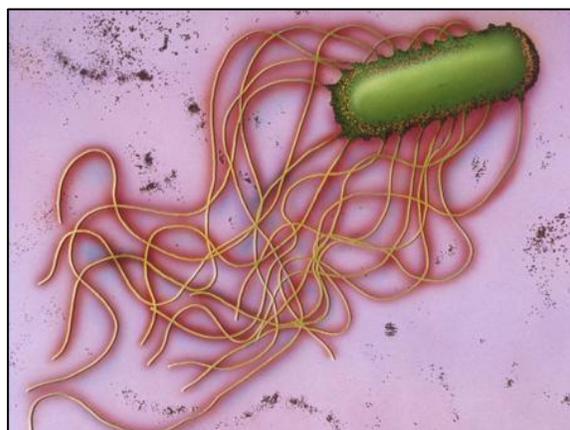


Figura 15. Bacteria con múltiples flagelos, estructuras filamentosas en amarillo con fluorescencia rojiza.

CÉLULA EUCARIOTA

Debido a su mayor tamaño, estas células fueron las primeras descritas, aun cuando su estructura interna las vuelve más complejas que las procariotas.

Tanto la célula procariota como eucariota se encuentran delimitadas por una membrana plasmática, dentro de la cual se encuentra el

citoplasma. Ambas pueden o no presentar estructuras de locomoción, dividirse, muestran tamaños variables y, en general, realizan las mismas funciones vitales.

La característica que denota a una célula eucariota es que durante la interfase (período de no división) *mantiene su información genética (ADN) protegida en un núcleo definido*, de ahí deriva su nombre: del griego *Eu*, verdadero, auténtico; y *karyon*, núcleo.

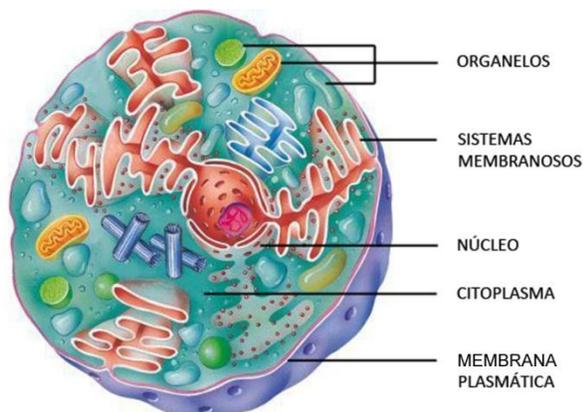


Figura 16. Imagen simple de un eucariota denotando núcleo, membrana plasmática, organelos y sistemas membranosos.

ESTRUCTURA: LOS ORGANELOS

Como se mencionó antes, las células eucariotas muestran una serie de estructuras internas y externas que se especializan en diferentes actividades celulares. Estas estructuras se denominan *organelos*.

Un *organelo* u *orgánulo* es un compartimento celular separado por membranas que realiza funciones específicas. La mayoría de las actividades celulares eucariotas se encuentran asociadas a organelos, siendo el núcleo el más conspicuo (o prominente) entre estos.

EL NÚCLEO es una región intracelular diferenciada del citoplasma por una doble membrana interna llamada *carioteca*. El núcleo contiene en su interior la mayoría de la información genética celular en forma de *cromatina*, múltiples moléculas de ADN asociado con proteínas, que determina las características y

actividades celulares (Fig. 17), incluyendo la división para producir nuevas células.

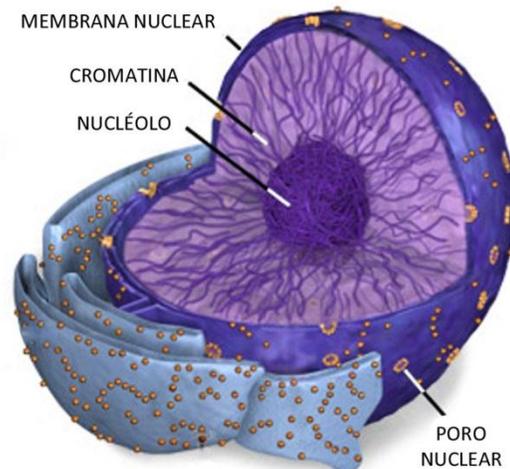


Figura 17. Estructura del núcleo celular.

Es posible observar dentro del núcleo algunos corpúsculos denominados *corpos subnucleares*, estos se constituyen de ARN, ADN, proteínas o una mezcla de ellos. El más común de los corpúsculos es el *nucléolo*, que se encarga de sintetizar los ribosomas.

LAS MITOCONDRIAS son organelos de doble membrana especializados en realizar la *Respiración Celular*, transformación de energía química potencial en energía biológicamente útil para ejecutar todas las funciones celulares. Se pueden considerar las “centrales energéticas” de la célula (Fig. 18).

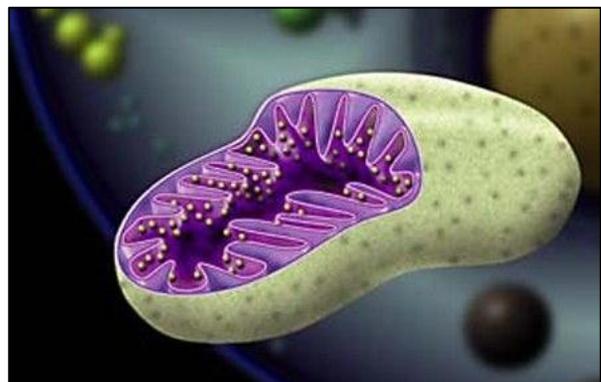


Figura 18. Representación de una mitocondria. Membrana externa en verde e interna en violeta.

Las mitocondrias pueden distinguirse debido a que su membrana interior posee pliegues que

forman crestas y valles. Otra particularidad es que cuentan con su propio ADN, que es pasado de generación en generación, sin juntarse con el material genético del núcleo (Fig. 19).



Figura 19. Representación de una mitocondria y su material genético (fibra violeta).

LOS PLASTIDIOS. Con este nombre se agrupa a un conjunto diverso de organelos encargados de la producción y almacenamiento de importantes compuestos químicos usados por la célula. Son propios de algas y plantas, siendo el más importante de ellos el **cloroplasto**.

Los cloroplastos, aunque no siempre presentes, se consideran los organelos distintivos de las células vegetales. Son estructuras de doble membrana especializadas en la *fotosíntesis*, transformación de moléculas inorgánicas en azúcares utilizando energía lumínica. Para realizar su función, contienen una serie de vesículas membranosas llamadas *tilacoides* (Fig. 20).

Los cloroplastos pueden distinguirse por su coloración verde debida a la presencia de *clorofila*, pigmento orgánico que permite captar la energía de la luz. Al igual que las mitocondrias, los cloroplastos contienen su propio ADN.



Figura 20. Cloroplastos. Corte longitudinal de cloroplastos denotando los *tilacoides* (líneas amarillas).

Típicamente los azúcares producidos en los cloroplastos son luego procesados por las mitocondrias para obtener energía utilizable.

LAS VACUOLAS son organelos de una membrana, cuya función es el almacenamiento de sustancias tales como sales minerales, algunos nutrientes y agua para las actividades celulares.

Las vacuolas no tienen forma ni tamaño definidos. Las células vegetales presentan típicamente una vacuola de gran tamaño que ocupa hasta el 85% del espacio celular interno (Fig. 21), desplazando el núcleo del centro.

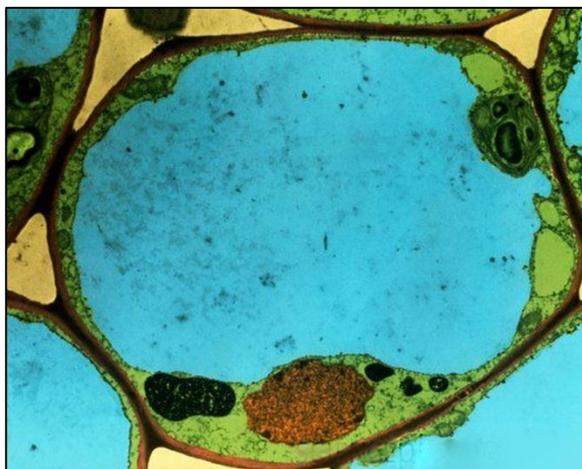


Figura 21. La vacuola (celeste) ocupa casi todo el espacio celular interno (verde). La estructura naranja es el núcleo.

LISOSOMAS. Son organelos de una membrana formados dentro de los sistemas membranosos. Su función es la de contener y transportar enzimas (proteínas catalizadoras) para degradar

compuestos. En otras palabras, se encargan de la *Digestión Celular*.

VESÍCULAS. Organelos que forman pequeños compartimentos separados del citoplasma por una bicapa lipídica igual que la membrana celular. Su función es almacenamiento, transporte o digestión de productos y residuos celulares.

SISTEMAS MEMBRANOSOS

Son organelos especiales formados por una serie de membranas plegadas sobre sí mismas, con funciones de ensamblaje y transporte (Fig. 22). Estos sistemas se conocen como: *Aparato de Golgi* y *Retículo Endoplásmico (RE)*.

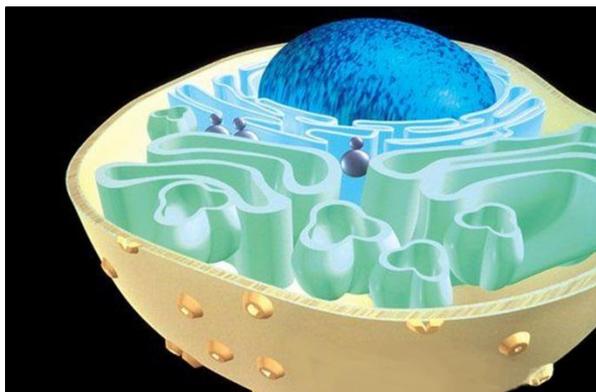


Figura 22. Sistemas membranosos. El aparato de Golgi se representa en verde y el RE en celeste. Las estructuras esféricas constituyen vesículas ensambladas entre ambos sistemas que interaccionan con el núcleo (esfera azul).

Aparato de Golgi. Sistema de endomembranas (membranas internas) formado por sacos aplanados rodeados de membrana y apilados unos encima de otros, llamados *dictiosomas*. Su función es completar la fabricación de algunas proteínas. Trabaja empaquetando y modificando vesículas del retículo endoplasmático rugoso. El material nuevo de las membranas se forma en varias cisternas del Golgi.

Retículo endoplásmico. Orgánulo formado por una serie de túbulos, sacos y vesículas rodeados de membrana e interconectados entre sí. Se pueden distinguir dos tipos: el rugoso y el liso.

El *retículo endoplásmico rugoso* presenta en su superficie muchos *ribosomas* que se encuentran sintetizando proteínas.

El *retículo endoplásmico liso* no presenta ribosomas. Sus funciones principales son la síntesis de lípidos de membrana, el almacenamiento de calcio y la detoxificación.

Los Ribosomas. En eucariotas están formados por dos subunidades de ARN ribosomal y proteínas. Ambas subunidades se ensamblan en el citoplasma para sintetizar proteínas.

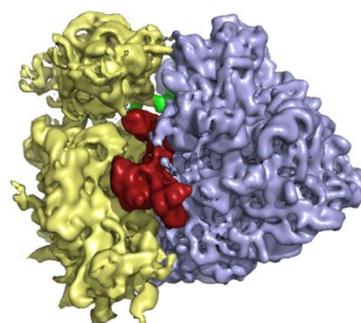


Figura 23. Ribosoma. El ARN se forma en dos subunidades (amarillo y gris). En la intersección se ensamblan las proteínas (rojo y verde).

EL CITOPLASMA

Es el contenido *coloidal* comprendido entre la membrana plasmática y el núcleo de la célula. Envuelve, sostiene y moviliza a los organelos. Se divide en dos partes:

Citosol. También llamado *hialoplasma*, es una solución de biomoléculas vitales celulares, formada en un 70% por agua. El contenido de citosol es abundante, pudiendo llegar a ocupar el 80% del volumen total de una célula animal. Muchos procesos bioquímicos, incluyendo la *glucólisis* (rompimiento de azúcares), ocurren en el citosol.

Citoesqueleto. Es una red de fibras proteicas formada principalmente por *actina* y *tubulina*. Le brinda soporte a la célula, mantiene y moviliza a los organelos (Fig. 24), además de permitir la formación de estructuras de locomoción tales como *cilios* y *flagelos*. Durante la división celular,

el citoesqueleto forma los *centriolos* y el *huso* que mueven los *chromosomas*.

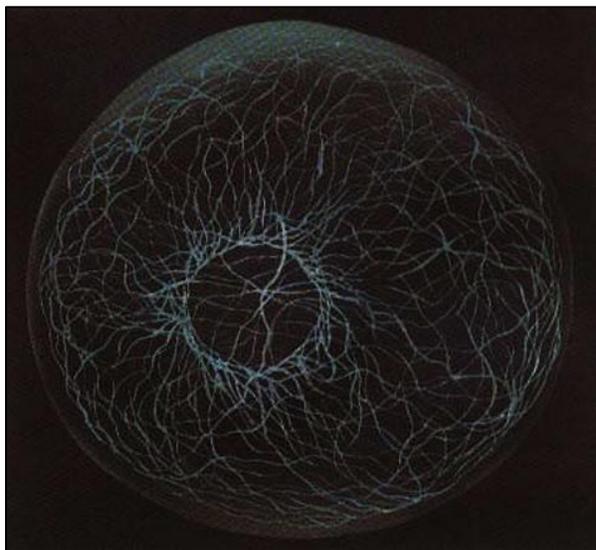


Figura 24. Fibras del citoesqueleto. Se observa cómo mantienen la forma de la célula y el espacio del núcleo (al centro).

MEMBRANA PLASMÁTICA

Es una estructura semipermeable organizada y compleja que separa a la célula del medio externo. Está formada por una bicapa de fosfolípidos que contienen Inmersas proteínas de membrana y azúcares, los cuales actúan como receptores externos y vehículos transportadores de sustancias.

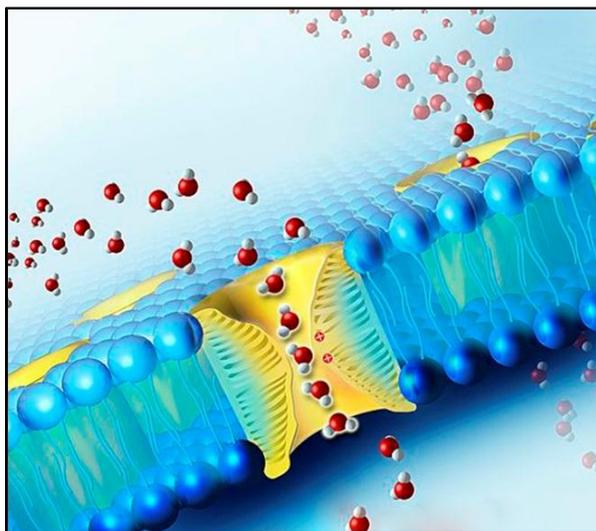


Figura 25. Representación de la membrana celular: Diagrama de mosaico fluido. Una bicapa de fosfolípidos (moléculas azules) con poros de naturaleza proteica (en amarillo), permiten el paso de agua (moléculas rojas).

La importancia de la membrana es mantener la integridad de la célula, para lo cual realiza diversas funciones como el control de entradas y salidas de nutrientes, agua y sales. La cara externa de la membrana es muy variable, mientras que la interna es relativamente constante.

PARED CELULAR

Es una capa rígida y porosa que se localiza en el exterior de la membrana plasmática. Típica de células vegetales y fúngicas, protege a los contenidos celulares, brinda rigidez a la célula y actúa como compartimiento celular. Además, define la estructura y otorga soporte a los tejidos.

La constitución molecular de la pared depende del organismo, pero en plantas se compone principalmente de *celulosa*, un *polisacárido*.

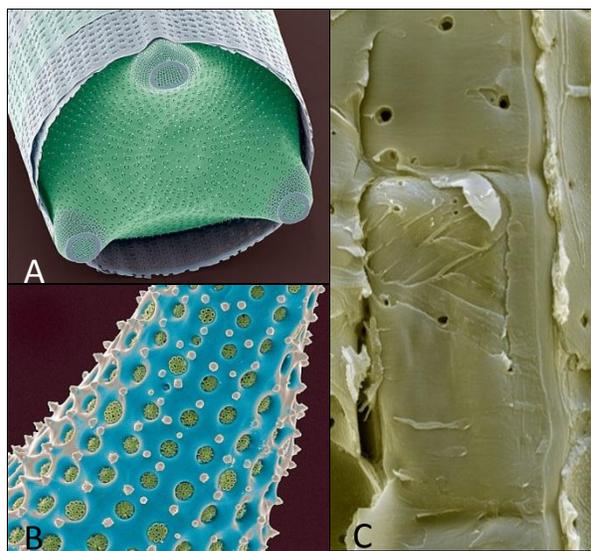


Figura 26. Pared celular. Las paredes celulares varían de acuerdo con la especie tanto en composición como en ornamentación. A y B: Micrografía de las valvas de *Biddulphia*, un alga abundante en las costas salvadoreñas. C: Micrografía de las células de bambú (*Bambusa vulgaris*)

ESTRUCTURAS DE LOCOMOCIÓN

Hacia el exterior celular, los eucariotas han desarrollado diversas estructuras que les brindan motilidad o bien permiten la alimentación. Las más importantes son:

Flagelos. Los eucariotas por lo general presentan pocos flagelos, los cuales están conectados al citoesqueleto. Se baten en forma helicoidal para desplazarse o generar corrientes (Fig. 27).



Figura 27. Los espermatozoides son células flageladas.

Cilios. Son estructuras móviles propias de eucariotas y de conformación similar a los flagelos. Se diferencian de estos en que su estructura es más organizada, son más pequeños, se presentan en grandes números y se baten de forma ondulatoria sincronizada. Sus funciones incluyen además de la locomoción, aspectos sensoriales y el movimiento del medio extracelular (Fig. 28).

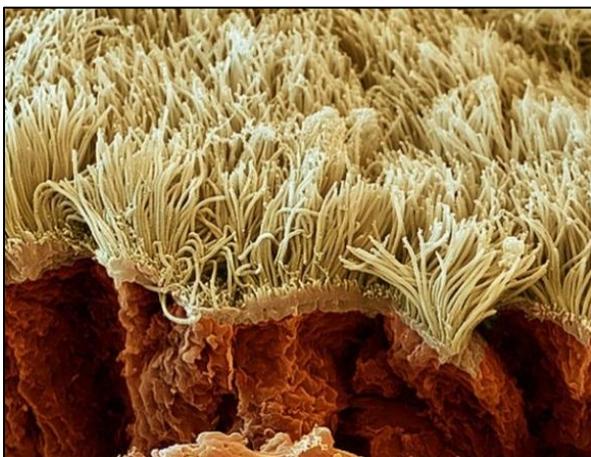


Figura 28. Células ciliadas de los bronquios.

Célula vegetal

Este tipo de célula es típica de plantas y algas verdes, no obstante algunas de sus características son compartidas con protistas y hongos. Básicamente es una célula rígida (con pared celular), autótrofa con una vacuola grande (Fig. 31).

Como puede observarse, la célula fúngica (de los hongos) es una célula con características especiales. Es más parecida a la animal, puesto que es heterótrofa y no posee una gran vacuola, pero está rodeada por paredes celulares. De igual manera muchas células de protistas cuentan con características de animales y vegetales.

Pseudópodos. Son extensiones citoplasmáticas propias de eucariotas que sirven para la locomoción y para apresar alimentos. Se asocia más con las células animales de protozoos (Fig. 29).

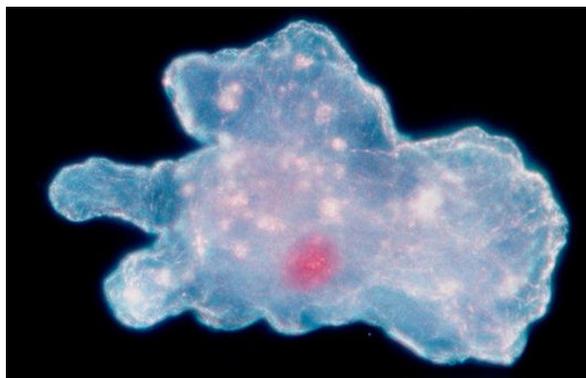


Figura 29. Las amibas (*Amoeba spp.*) se mueven por pseudópodos, elongando parte de sus membranas plasmáticas y citoplasma.

CÉLULA ANIMAL Y VEGETAL

Las células eucariotas pueden agruparse e integrarse formando estructuras cada vez más complejas y especializadas, incrementando su diversidad en los organismos pluricelulares. No obstante, su organización básica se mantiene, permitiendo catalogar al menos dos tipos básicos de células: Animal y vegetal.

Célula animal

Este tipo de célula no está delimitado sólo a animales, pues la mayoría de sus características las presentan también protistas y hongos. La célula animal es entonces una célula eucariota heterótrofa sin pared celular (Fig. 30).

COMPARACIÓN ENTRE CÉLULA ANIMAL Y VEGETAL

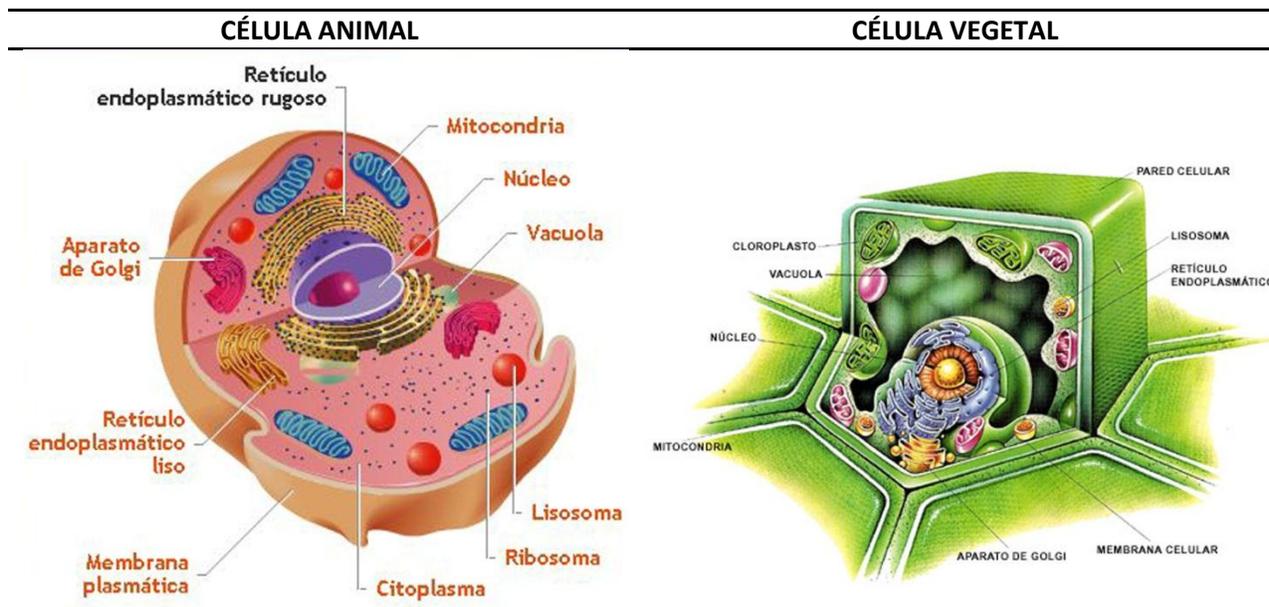


Figura 30: Célula animal típica.

Figura 31: Célula vegetal típica.

<ul style="list-style-type: none"> • Carece de pared celular. • No posee plastidios (cloroplastos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee pared celular. • Contiene gran diversidad de plastidios, especialmente cloroplastos.
<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas vacuolas, especialmente en protozoos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Una vacuola de gran tamaño y varias de pequeño tamaño.
<ul style="list-style-type: none"> • Núcleo central. 	<ul style="list-style-type: none"> • Núcleo lateral.
<ul style="list-style-type: none"> • Posee centrosoma, que forma los centriolos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee centrosoma (ni centriolos).
<ul style="list-style-type: none"> • Puede tener flagelos, cilios o pseudópodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No poseen cilios ni pseudópodos.

ACTIVIDAD 3 (Tiempo: 20 minutos)

OBSERVACIÓN DE CÉLULAS MACROSCÓPICAS

Como se muestra en la escala celular (Fig. 10), algunas células pueden observarse a simple vista debido a su gran tamaño. Entre las células eucariotas, las más familiares son: Las células huevo, por ejemplo el disco germinal de un huevo de gallina (hasta 3 mm), el cigoto de un huevo de rana (depende de la especie) o los ovarios humanos (unos 0.15 mm).

Materiales

Un par de huevos de gallina; una cápsula médica; un recipiente hondo o un vaso pequeño de vidrio transparente.

Procedimiento

Muestre a sus estudiantes un huevo de gallina y la cápsula, invíteles a repasar preguntando: *¿qué características de los sistemas vivos presentan estos objetos?* Espere las respuestas y prosiga: si estos dos materiales fueran células, *¿de qué tipo serían? ¿Con qué argumentos las clasificaron?* Tabule las respuestas en la pizarra.

Rompa uno de los huevos y viértalo en el recipiente (o vaso) con cuidado de preservar la forma de la yema. Explique que si el huevo fuera una célula, la clara representaría perfectamente al citoplasma, por su consistencia y posición, mientras que la yema parecería el núcleo, debido a su separación.



Figura i. Partes del huevo de gallina. Nótese la consistencia de la célula germinal, típica de los animales. Cuando el disco está fecundado se torna rojizo.

Recalque que ninguno de los objetos es una célula, no obstante, el huevo de gallina contiene una célula macroscópica en su interior: El disco germinal o disco embrionario (fig. i).

Indique a sus estudiantes que busquen el disco germinal del huevo. Si no lo encuentran, rompa el otro huevo. Es más fácil de observar el disco cuando éste se encuentra fecundado (“huevo de amor”).

¿Existen células gigantes en El Salvador?



Las algas también presentan células de gran tamaño, entre ellas, *Acetabularia* (arriba), un alga que habita en las costas salvadoreñas. Todo el cuerpo visible del alga está formado por una sola célula de hasta 5 cm. Lo que la convierte en la más grande de las células vegetales.

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... INFORMÁTICA

ELABORACIÓN DE UN MICROSCOPIO TIPO USB

Materiales: Cinta adhesiva, silicón líquido, cartulina o papel de construcción negro, Cámara web (preferible más de 1MP de resolución) con conexión USB (*Universal Serial Bus*), linterna de preferencia tipo LED (*Light-Emitting Diode*), computador con puerto de (USB), software de la cámara. Agua de charco, río o quebrada.

Procedimiento

Desarme la webcam. Junto con el lente encontrará un ajustador de enfoque. Remueva toda pieza plástica que se interponga delante del lente y gire el ajustador de enfoque procurando alejar la lente del lector interno (si el modelo no presenta ajustador omita este paso).

Como el objetivo es que la lente se mantenga lo más cerca posible del objeto por observar, en ciertos casos deberá limar la parte frontal del ajustador.

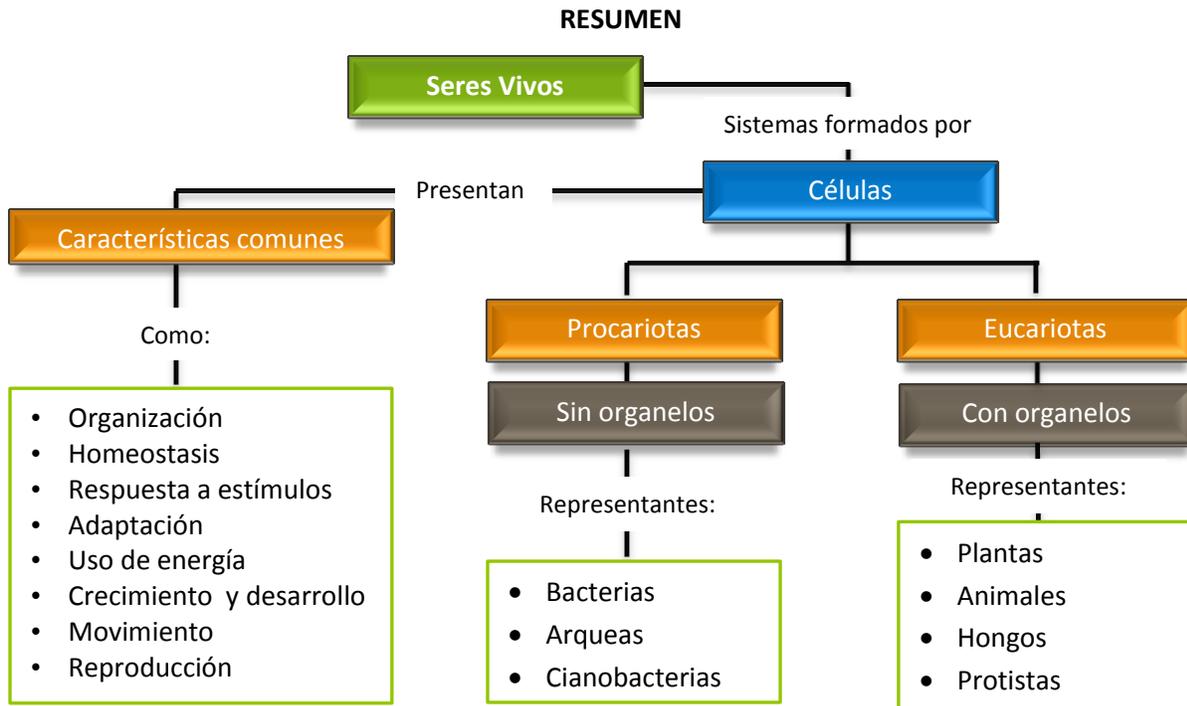
Adicione un poco de silicón líquido alrededor si necesita fijar la pieza. Corte un rectángulo de la cartulina negra y abra un agujero circular del tamaño del lente en el centro. Coloque el recuadro de cartulina sobre la webcam y envuélvala utilizando cinta adhesiva para proteger las piezas. El dispositivo tiene que verse como la figura ii.



Figura ii. Microscopio casero.

Ahora solo tiene que enchufar el nuevo equipo informático (hardware) al computador.

Para observar coloque en una superficie plana (de preferencia blanca) una gota del agua de charco e ilumínela con la linterna. Acerque el microscopio lo más posible hasta enfocar. Puede observar otro tipo de muestras o simplemente acercar el aparato a cualquier superficie que desee, se recomienda enfocar una regla milimetrada para dimensionar el aumento conseguido (debe ser de entre unos 20 a 100X).



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Maillet, M. (2002). *Biología celular*. Barcelona: Masson s.a. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/yrSSx>

Campbell, N. y J. Reece, J. (2007) *Biología*. 7ª Edición. Madrid: Médica Panamericana.

Starr, C.; C. Evers & L. Starr. (2007.) *Biology: Concepts and applications whitout physiology*. 7th Edition. USA: Thomson books. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/AVi8L>

Bayley, (s.f.). *Biology - The study of life*. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/9mY3w>

Exploratorium (2011). *Classroom explorations: Characteristics of living things*. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/926kp>

Hnncbiol.blogspot.com (2008). *Células procariotas*. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/pkqC9>

Parts of a Bacterial Cell (s.f.). Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/JQFxA>

Dawson, M. (2002). *Timeline of cell discoveries*. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/XiaB8>

Cienciaybiología.com (s.f.) *Historia del estudio de la célula*. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/798mq>

Medicina molecular FIBAO. (2008). *Retículo endoplásmico*. Extraído en junio, de 2011 de <http://goo.gl/Y3yxL>

ACTIVIDAD EVALUADORA

Primera parte. Completa el siguiente cuadro:

1. Nombra tres materiales u objetos inertes que cumplen con al menos una característica de la vida.

Material/Objeto	Características vitales	Etapa en que ocurre

Segunda parte. Conteste las preguntas

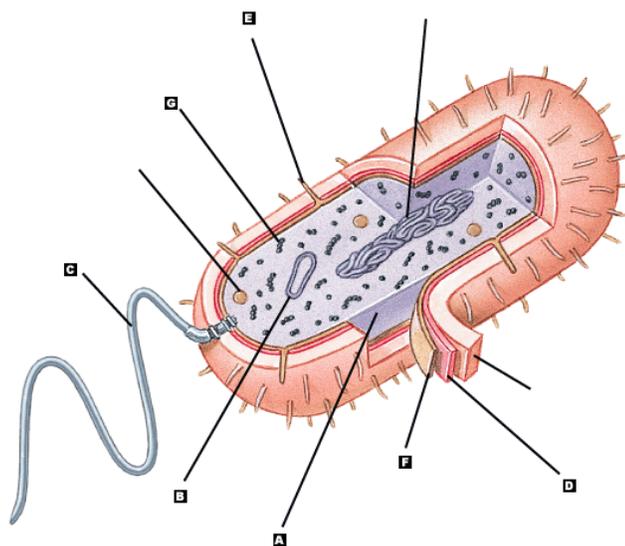
- La Teoría celular se plantea en el siglo
 a) XVI b) XVII c) XVIII d) XV
- El decir que la célula es la unidad fisiológica de los seres vivos significa que:
 a) Todos los seres vivos están formados por células.
 b) Los gametos son células.
 c) El funcionamiento de los seres vivos se debe al funcionamiento de sus células.
 d) Hay seres vivos unicelulares y pluricelulares.

- En la figura se observa:
 a) Una célula procariótica, porque tiene núcleo diferenciado.
 b) Una célula eucariótica, porque no tiene orgánulos.
 c) Una célula procariótica, pues no tiene orgánulos.
 d) Una célula eucariótica, pues tiene núcleo.



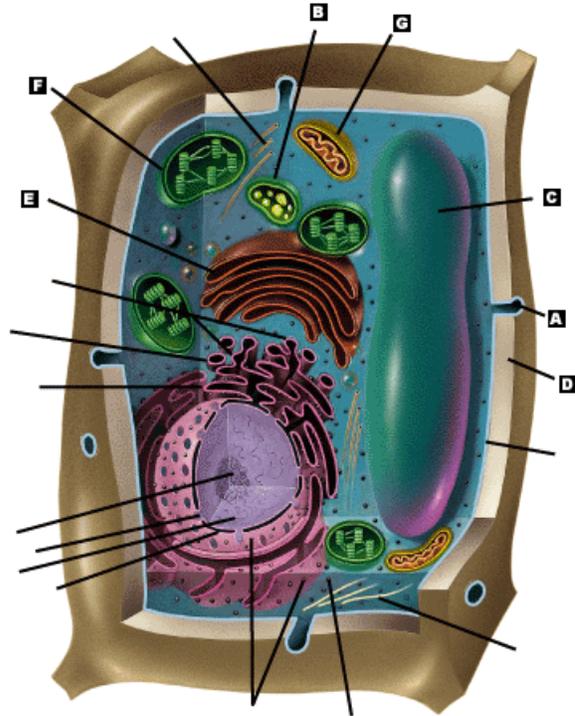
- ¿Cuál de los siguientes organelos no se encuentra en las plantas?
 a) Vacuola b) Centríolo c) Mitocondria d) Núcleo

6. Señale las partes de la siguiente célula procariota:



- | | |
|-----|---------------------|
| ___ | Ribosomas |
| ___ | Citoplasma |
| ___ | Plásmido |
| ___ | Pared celular |
| ___ | Membrana plasmática |
| ___ | Pilus |
| ___ | Flagelo |

7. Identifique las partes distintivas de la siguiente célula vegetal:



8. Escriba el número correspondiente a las estructuras celulares (puede ser más de un número).

- | | | |
|-------|------------------------------|---|
| I. | Vacuola | Contienen material genético: |
| II. | Mitocondria | Son organelos de doble membrana: |
| III. | Cloroplasto | Son característicos de los vegetales: |
| IV. | Núcleo | Son sistemas membranosos: |
| V. | Aparato de Golgi | No son organelos: |
| VI. | Retículo endoplásmico | Producen energía: |
| VII. | Citoplasma | Contienen sustancias nutritivas: |
| VIII. | Ribosomas | Existen tanto en procariotas como eucariotas: |

9. ¿Cuál de los siguientes compuestos orgánicos no es parte de la membrana celular?

- a) Ácidos nucleicos b) Proteínas c) Lípidos d) Carbohidratos

10. Una célula que carece de lisosomas será incapaz de realizar la siguiente actividad:

- a) Digestión celular b) Almacenar energía c) Producir proteínas d) Mover el citoplasma

CONTENIDOS

1. El Origen de la Vida.
 - a. Teoría de la evolución química.
 - b. Otras teorías.
 - c. Teoría de Darwin.
 - d. Características de la materia viva.
2. Los Priones.
 - a. Estructura y características.
 - b. Propagación.
3. Los Virus
 - a. Estructura viral.
 - b. ¿Cuántos virus existen?

INDICADORES DE LOGRO

1. Analiza de forma crítica las hipótesis sobre el origen de la vida.
2. Identifica las características de un prion.
3. Comprende la estructura de los virus.

PALABRAS CLAVE

Radiación de fondo, evolución, quiralidad, generación espontánea, panspermia, materia viva, prion, proteínas priónicas, virus, virión, plásmido, cápside, vectores de transmisión.

**¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?**

A partir de esta premisa surge la Biología como tal. Conocer el origen de la vida establece un criterio unificador, no sólo de las características de la materia viva en particular, sino de las ciencias naturales en general. El fenómeno del surgimiento de sistemas vivientes solo puede ser explicado, científicamente, con la interrelación dinámica de conceptos multidisciplinares, lo que fomenta la capacidad de conectar ideas lógicas, de auto cuestionarse, así como de analizar e interpretar el entorno desde una perspectiva científica.

DESCRIPCIÓN

Se describen las diversas teorías sobre el origen de la vida en la Tierra. Se exploran los límites de lo que se considera “vivo”, estudiando las estructuras de priones y virus; asimismo, se abordan las intrincadas redes a las que pertenecen todas las formas de vida simples y complejas, incluyendo al ser humano.

EL ORIGEN DE VIDA

Existen varias teorías sobre el origen de la vida; sin embargo, todas coinciden en que apareció de forma gradual y que se desarrolló a partir de un *ancestro común*. Las investigaciones astronómicas y astrofísicas sobre la **radiación de fondo**, una especie de “huella” o rastro de microondas que dejó la gran explosión del Big Bang, han concluido que el Universo se originó hace 13 500 millones de años (MDA); mientras que a la Tierra se le calcula una edad de 4 500 MDA.

Este dato se respalda con los hallazgos de rocas muy antiguas alrededor del mundo, las más recientes encontradas en las tierras al noroeste del estado de Quebec en Canadá. Estas rocas han sido datadas con una edad aproximada de 4 450 MDA (Fig. 1).



Figura 1. Rocas sedimentarias encontradas en Canadá, las más antiguas existentes en el planeta.

Las primeras evidencias de materia viva en el planeta se hallan en los fósiles de bacterias primitivas de unos 3 250 MDA; cabe aclarar que no existe ningún organismo simple desde el punto de vista bioquímico; sin embargo, se les puede llamar “simples” tomando en cuenta el lugar que ocupan en la organización biológica.

Teoría de la Evolución Química

La *Teoría de la Evolución Química* menciona que la vida se presentó por una súbita y muy afortunada serie de sucesos químicos que lleva-

ron a un grupo de moléculas simples como el *metano* (CH_4), *dióxido de carbono* (CO_2) y *amoníaco* (NH_3) a formar *aminoácidos* y *nucleótidos*. Estas moléculas reaccionaron entre sí en la atmósfera primitiva, donde los relámpagos funcionaron como *catalizadores* y transportadores de los productos suspendidos en el aire hacia los océanos poco profundos que existían en ese entonces (Fig. 2).

Los aminoácidos luego se enlazaron para formar las proteínas necesarias y formar las primeras moléculas con la capacidad de *autorreplicarse* (proceso por el cual las moléculas pueden producir copias de sí mismas).

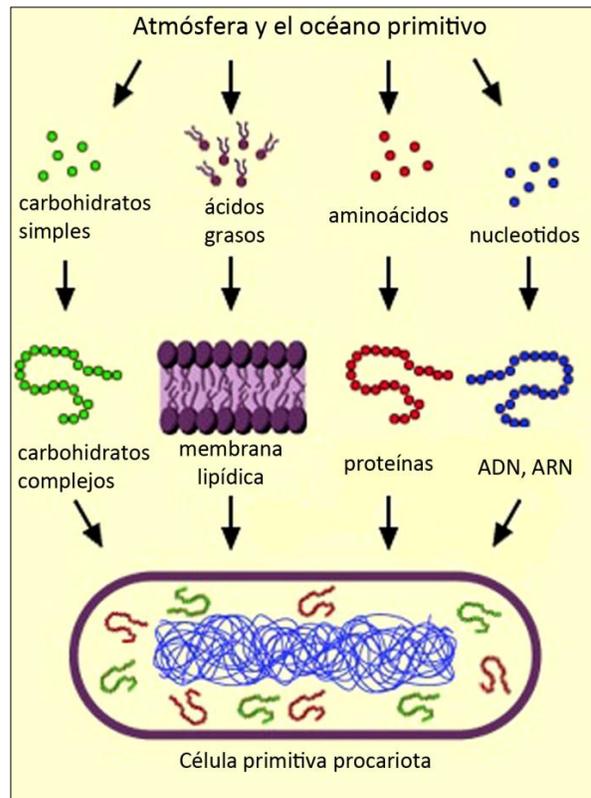


Figura 2. Secuencia en que ocurrió la transición de moléculas simples a complejas y la interacción en conjunto para formar la célula primitiva.

Gradualmente los nucleótidos siguieron enlazándose y empezaron a reaccionar entre sí hasta formar largas cadenas moleculares, construyéndose así, bloque a bloque, la primera molécula de ARN (ácido ribonucleico) como la

antesala para formar el ADN (ácido desoxirribonucleico).

Todos estos procesos acontecieron durante millones de años, resultando en la formación de las moléculas energéticamente más estables. Junto con los nucleótidos precursores del ADN, se formaron otras clases de macromoléculas que proporcionarían un soporte estructural; algunas proteínas adquirieron una función química catalítica para ensamblarse de manera sincronizada y armoniosa con el recién formado ADN. Estos procesos bioquímicos novedosos hicieron posible el origen de las primeras células primitivas o *protocélulas*, favorecido por la formación de una capa de lípidos como protección del material genético.



Figura 3. Micrografía electrónica de arqueobacterias. Las primeras bacterias en la Tierra fueron muy similares a estas.

Como consecuencia de estos sucesos aparecieron las células *procariontas*, representadas por las bacterias (Fig. 3). A partir de este punto surge la *Teoría Endosimbiótica* que explica cómo de una sucesiva incorporación genética de bacterias libres, que eran engullidas por células más grandes, lograron sobrevivir en el interior de estas proveyéndoles energía a través de azúcares (si eran autótrofas), o energía química (si eran heterótrofas), formando una *simbiosis mutualista* y con el tiempo conjugaron su ADN con el núcleo de la mayor, surgiendo así las células *Eucariotas*.

UN CLÁSICO EXPERIMENTO MODERNO

El científico estadounidense Stanley Miller (1930-2007) realizó el famoso experimento cuyo propósito fue probar cómo los factores físico-químicos en la Tierra, hace miles de millones de años, propiciaron la reacción de las moléculas precursoras para formar la materia viva. Este experimento lo realizó en 1953 con la ayuda de Harold Urey (Nobel de Química, 1934) y consistió básicamente en someter una mezcla de metano, amoníaco, hidrogeno y agua a descargas eléctricas de 60,000 V. En el aparato se mantenía el agua en ebullición y además, la condensaba con ayuda de un enfriador; todo estaba en circulación mientras los electrodos realizaban las descargas eléctricas simulando los relámpagos de la atmósfera. Como resultado se obtuvo una mezcla de aminoácidos (Fig. i). Su experimento probó como la manipulación de ciertas condiciones puede llevar a que moléculas simples conformen moléculas complejas.

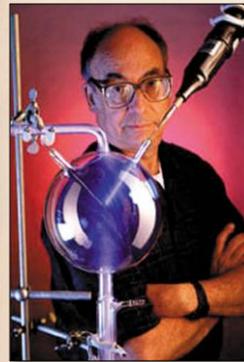


Figura i. Stanley Miller junto al aparato donde desarrolló su experimento.

Para tal logro era necesario que contaran con *complejos moleculares*, donde sus estructuras tridimensionales encajaran unas con otras para iniciar las reacciones químicas de reproducción de ADN, ARN y proteínas estructurales, así como procesos bioquímicos asociados a la disposición espacial de sus enlaces moleculares.

Sin embargo, la teoría de evolución química aún no ha podido explicar totalmente la *quiralidad* (Fig. 4) de las moléculas complejas, es decir, aquellas moléculas cuya estructura en tres dimensiones, les confiere una propiedad bioquímica diferente a las de otras moléculas similares, pero con geometría distinta

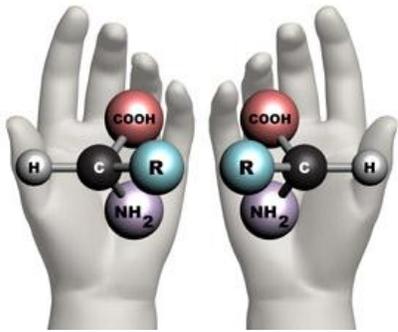


Figura 4. Modelo que muestra la *quiralidad* de una molécula orgánica, donde cada una es como el “reflejo en un espejo” no superponible de la otra, con propiedades distintas.

Otras teorías

Existieron otras teorías sobre el origen de la vida, que no fueron capaces de explicar claramente sus principios y otras han sido rechazadas por presentar errores que se han descubierto con el tiempo. Entre las teorías más conocidas está la *Teoría de la Generación Espontánea* planteada por el filósofo griego *Aristóteles*.



Figura 6. En la Teoría de la Generación Espontánea, se creía que surgían ratones de la ropa sucia y de semillas almacenadas.

La generación espontánea explicaba que la vida surgía de la materia inerte sin ninguna causa aparente en cualquier lugar y cualquier momento; esto fue producto de la observación de los insectos que surgían de la materia en descomposición, y de pequeños roedores viviendo en la ropa sucia (Fig. 6). A pesar de ser tan simple, esta teoría prevaleció por mucho tiempo desde el año 322 antes de nuestra era

(ANE) hasta 1684 de nuestra era (NE), cuando el naturalista y médico italiano *Francesco Redi* demostró con un experimento sencillo que la vida no aparece de la materia inerte, sino que la vida preexistente genera vida nueva.

Una de las teorías más recientes es la teoría de la *Panspermia*, que menciona que la vida llegó de otra parte del universo a la Tierra viajando en un cometa o meteorito, el cual, al estrellarse en algún océano del planeta sembró las moléculas simples para la génesis de la materia viva; sin embargo esta teoría es muy refutada ya que esencialmente solo cambia la cuestión principal hacia otra fuente fuera del planeta.



¿Darwin, pasado de moda?

A principios del siglo XX, científicos como Dobzhansky, Simpson, Mayr y Huxley formularon una nueva teoría, el llamado neodarwinismo, que se fundamenta en la Teoría del origen de las especies de Darwin, y se complementa con las *Leyes de Mendel* y el fenómeno de las mutaciones genéticas. El neodarwinismo o también llamado *Teoría Sintética de la Evolución*, es la que se encuentra vigente hoy en día.

Teoría de Darwin

Una de las teorías más conocidas, relacionada con el origen de la vida, es la que planteó Charles Darwin en su libro “*On the Origin of Species*” (El Origen de las Especies) acerca de la Selección Natural; originalmente no explicaba cómo surgió la vida en la Tierra, sino que explicaba la *adaptación* de todas las especies a su ambiente natural y que es el ambiente quien se encarga de mantenerlas vivas o de que se extingan. Su teoría fue estudiada y reformulada en la actual teoría de la evolución.

Además, con los adelantos en la disciplina de la genética se ha sumado un gran aporte para

estudiar los cambios y adaptaciones desde el campo de la herencia y desde un nivel microscópico.

De la **Evolución** se puede decir que es *la serie de cambios en el perfil genético de una población, a través de lapsos temporales, causados por la selección natural, la deriva genética, la mutación y la migración o flujo genético*, estas modificaciones pueden traer ventajas en cuanto a supervivencia o apareamiento, llevando al apareamiento de nuevas adaptaciones o novedades genéticas, e incluso nuevas especies.

Características de la materia viva

Como se observó antes, a pesar de la gran diversidad de organismos, todos comparten características básicas que los diferencian de la materia inerte. Las más importantes son:

*Todos están formados por células.
Todos se reproducen utilizando el ADN como material de la herencia y lo combinan para obtener variación genética.
Todos toman energía del ambiente, el cual perciben respondiendo a estímulos.*

Cuando se habla de materia inerte, se hace referencia a todos aquellos compuestos que no presentan las características de los sistemas vivientes. Existen elementos que se mueven o se transforman y aparentan poseer vida, pero para que sea considerado vivo, debe de cumplir *todas las características* ya mencionadas y no solamente con algunas.

Compuestos moleculares como los *priones* de origen patógeno (que causan enfermedades), parecieran ser materia viviente, ya que tienen procesos de duplicación donde influyen a los priones adyacentes a adoptar su estructura molecular, sin embargo, no cumplen con todas las características como se analiza a continuación:

Pequeños y letales

Los priones son los causantes de la enfermedad de las “vacas locas” identificada por primera vez en Inglaterra en 1984. Los granjeros veían cómo sus reses temblaban a causa de la pérdida de control en sus músculos. *Stanley Prusiner*, bioquímico y médico, fue quien describió por primera vez al prion al realizar estudios en tejidos cerebrales de ganado vacuno que había muerto a causa de la “tembladera” que era la palabra con que se identificaba los síntomas de las “vacas locas”. Descubrió grandes agujeros causados por la acumulación de proteínas patógenas lo que llevaba a la muerte de las neuronas y deterioro del sistema nervioso del animal hasta matarlo. En años recientes se ha descubierto una variación del prion patógeno en el hongo *Saccharomyces cerevisiae* usado en procesos industriales de fermentación de bebidas como la cerveza y también en alimentos. Además, se está estudiando la relación directa que puede existir entre los priones y el Síndrome de Alzheimer en seres humanos.

LOS PRIONES

Se estudiarán los priones ya que son estructuras moleculares que, por sus características únicas, actualmente se consideran las *más sencillas* y semejantes a las *primeras formas de vida*.

No son seres vivos, sino que están en los límites de la materia inerte y lo vivo. La palabra **prion** es un acrónimo inglés derivado de las palabras *protein* (proteína) e *infection* (infección); se define como una *estructura proteínica infecciosa, producto de una síntesis incompleta de su estructura tridimensional, que le causa un plegamiento erróneo en las moléculas* de la cadena proteica y a diferencia de otros agentes infecciosos (virus, bacterias, hongos, etc.) el prion solo posee aminoácidos y no ácidos nucleicos.

A diferencia de los virus que tienen una morfología molecular que los distingue como tal, los priones no poseen estructuras moleculares constantes; no provocan una respuesta inmunológica perceptible, contrario del virus, el cual activa al sistema inmunológico delatando su presencia (infección viral).

Estructura y Características

Mediante las investigaciones realizadas se ha descubierto que existe una clase de *proteínas asociadas a la membrana celular* conocidas como **Proteínas Priónicas** (identificadas por el término *PrP^C*).

Tales proteínas están relacionadas con la membrana celular de las neuronas; sin embargo, cuando estas presentan una modificación en su estructura primaria debido a una síntesis incompleta de aminoácidos (Fig. 7) se convierten en agentes patógenos capaces de reproducir nuevas proteínas con la misma secuencia de aminoácidos, formando grandes cúmulos proteínicos en los tejidos nerviosos; a esta proteína patógena, se le identifica con el término *PrP^{Sc}*.

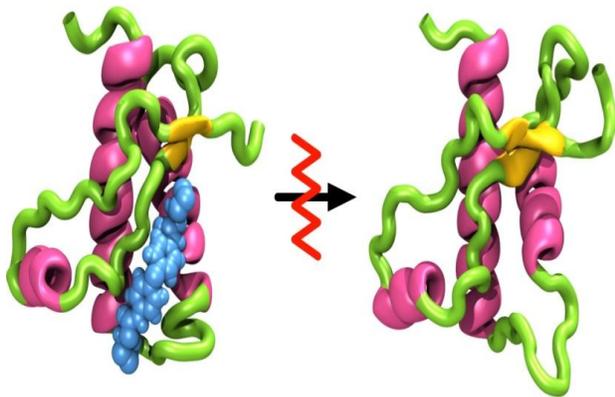


Figura 7. Comparación de un prion normal (izquierda) con un prion patógeno (derecha). Nótese que la zona globular de color azul del prion normal, está ausente en el patógeno.

Propagación

El agente patógeno puede transmitirse, por ejemplo, a través del consumo de carne contaminada. Una vez dentro del organismo es transportada desde el intestino hacia el torrente sanguíneo y aunque los *macrófagos* sintetizan un anticuerpo, no tienen eficacia, ya que los priones se confunden con las proteínas priónicas no patógenas; así que se transportan hasta el bazo y ganglios linfáticos y entran al sistema nervioso y al cerebro (Lección 6: Principios de Anatomía y Fisiología Animal).

Por lo tanto, los priones son un campo de estudio amplio que ha venido a servir como un soporte a la *teoría de la evolución química de la vida*, comprobando que existen estructuras moleculares relativamente sencillas, las cuales vinieron cambiando desde hace millones de años haciéndose cada vez más complejas, hasta el surgimiento de la materia viva. Los priones son, además, un refuerzo para el estudio de los virus que son otras estructuras moleculares que apoyan la teoría química de la vida.

LOS VIRUS

Así como los priones, los virus también están en el umbral que divide a la materia viva de la inerte, pero como se explicó anteriormente, hay ciertas diferencias importantes entre estos dos agentes patógenos.

La palabra **virus** tiene su origen de la raíz latina “*virus*” que significa “veneno” o “toxina”. La estructura de estas partículas está bien definida y contrasta con la inconsistencia de la estructura molecular de los priones (Fig. 9).

Los virus tampoco se consideran como seres vivos y se cree que surgieron de un complejo supramolecular de ARN o ADN llamado *Plásmido*, que no siguió desarrollándose y que solamente se limitó a una partícula portadora de ARN.

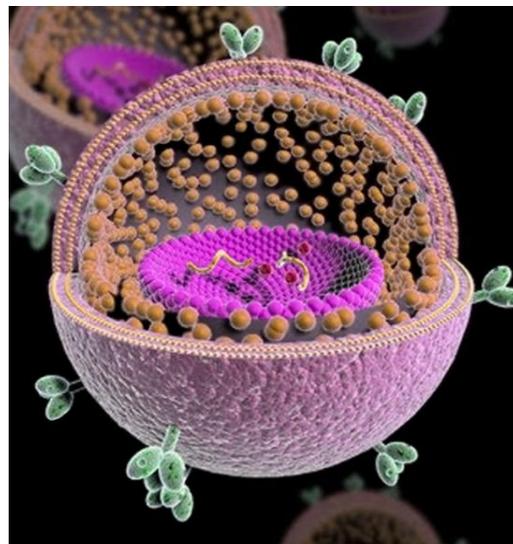


Figura 8. Modelo teórico de una partícula vírica idealizada.

Existe una hipótesis que plantea una regresión de ciertas bacterias patógenas que perdieron su capacidad de autorreproducirse y tuvieron que infectar otras células para replicarse dentro de estas, así fueron reduciéndose hasta llegar a ser los virus; a esta teoría se le conoce como *Teoría de la Regresión*.

La *Teoría de Coevolución* dice que estas partículas se derivaron de los fragmentos de ARN y ADN primitivos que con el tiempo dieron origen a las células; algunas partículas evolucionaron junto a las células primitivas infectándolas.

Con el descubrimiento de los priones se refuerza la idea de que moléculas simples avanzaron a ser más complejas y posteriormente conformarían la materia viva. Además la Biología Celular y Molecular, Bioquímica y Genética han provisto pruebas. Por su ínfimo tamaño, los virus son imposibles de ver con un microscopio óptico. Se lograron fotografiar luego de la invención del microscopio electrónico. Infeccionan células animales, vegetales y bacterias (Fig. 9).

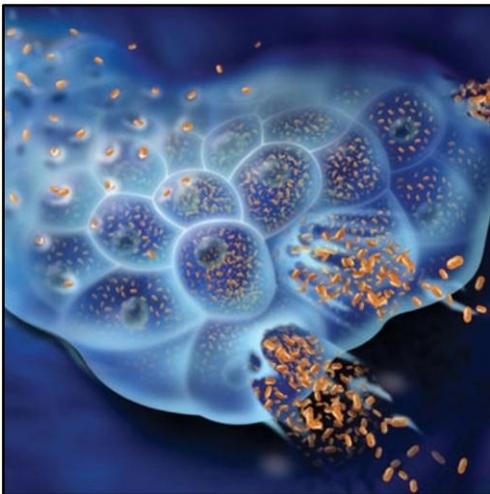


Figura 9. Ilustración representando la forma de infección de los virus, causando la *lisis* o rompimiento de la célula para liberarse.

Estructura viral

Están formados por material genético que puede ser ARN o ADN rodeado y protegido por una capa de proteína llamada *cápside* o *nucleocápside* con

forma icosaédrica; algunas clases de virus, además, tienen una envoltura de lípidos (ácidos grasos) que a menudo suele ir acompañada por glicoproteínas (proteínas unidas a carbohidratos); la mayoría de virus con esta estructura afecta a los animales (Fig. 10).

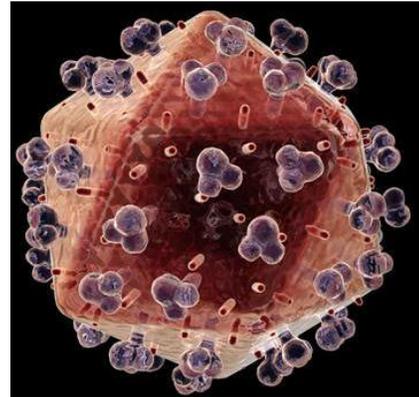


Figura 10. Estructura en forma icosaédrica del virus HIV.

La función principal de la cápside es proteger al genoma viral cuando el virus se encuentra en el medio intercelular; cuando la partícula se encuentra fuera de la célula se le llama *Virión*. Las glicoproteínas que están en la capa externa, forman una especie de "antenas" con las que el virión es capaz de adherirse a la membrana celular.



¿Amigos o enemigos?

Con la *Teoría de la Coevolución*, se ha descubierto además, que los virus juegan un papel en la llamada *Evolución Horizontal*, que sencillamente es otra forma de realizar cambios genéticos en la célula, pero con la ayuda de agentes externos. En este caso, los virus al mezclar su ARN y ADN con las células que infectan, han introducido cambios en el genoma de sus hospedadoras, dándoles nuevas características para ser más resistentes a ellos o bien tolerar a los intrusos.

Existen virus con una estructura helicoidal que consiste en única estructura proteica que rodea al ARN o ADN vírico formando una estructura

parecida a una hélice con un eje central como tubo hueco. Esta estructura puede ser pequeña y rígida o bien larga y flexible. El virus del mosaico del tabaco es un ejemplo de esta estructura.



Los virus como el *bacteriófago T4* tienen una estructura *compleja* y especializada que no es ni puramente icosaédrica ni puramente helicoidal, cuya función es liberar el ADN viral directamente en el interior de la bacteria; su cola helicoidal es como una jeringa molecular, además de poseer fibras proteicas caudales que sobresalen (Fig. 11).



Figura 11. Estructura de un bacteriófago. Se observa la cápside icosaédrica con el ADN, la cola en forma de tubo y las fibras caudales semejantes a "patas".

Los viriones que infectan a las arqueobacterias tienen una estructura con formas inusuales como botella, barras con ganchos o como lágrimas.

El conocimiento acerca de los virus es de interés global, no solo por su importancia médica, sino también por las implicaciones sociales y económicas que conlleva el surgimiento de una epidemia o pandemia de origen viral.

En países subdesarrollados como El Salvador, controlar una epidemia se hace más difícil cuando no se tienen los conocimientos necesarios del tipo de virus que impacta, así como una ineficiente política de salud pública que no tiene en su programa permanente la salud preventiva; sumado a estos obstáculos, está la pobreza de la gran mayoría de la población, lo que obliga a las familias a vivir en sitios inapropiados y que son un peligro constante para su salud.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 50 minutos)

LA PROPAGACIÓN DE LOS VIRUS

Indíqueles que:

Escriba cada quien su nombre en un pedazo pequeño de papel, lo doble y que se lo entreguen.

Explique que elegirá a alguien al azar, que será quien "posea" al virus; vea el nombre, pero sin decirlo a sus estudiantes.

Elabore un esquema ya sea en un pliego de papel o en la pizarra, donde muestre los contactos (Fig. ii).

Elija a un integrante del estudiantado (que no sea quien escogió de los papeles) para que recorra el salón dando la mano a cuatro compañeros al azar. Escriba en la primera fila de la tabla el nombre de la persona que eligió y en las cuatro columnas restantes los nombres de las personas a quienes dio la mano.

Dirija a estos cuatro estudiantes a que vayan y estrechen la mano a otras cuatro personas cada uno. Registre los nombres de las cuatro personas a quienes dan la mano, en las columnas debajo de cada nombre de ellos.

Revele el nombre de la persona que eligió para "portar" al virus.

Analice la tabla con sus estudiantes para descubrir cuántos estuvieron en *contacto directo* con "el virus" al darle la mano a la persona inicial.

Analice de nuevo la tabla con sus estudiantes para descubrir cuántas personas estuvieron expuestas a *contacto indirecto* por haber dado la mano a quienes

estrecharon la mano de la persona “contagiada por el virus”.

Use esta actividad para discutir cómo los virus se propagan rápidamente de una persona a otra, a menudo sin saber que alguien porta un virus o antes de que los síntomas de la infección aparezcan.

Discuta con sus estudiantes como esto puede conducir a una epidemia en un período de tiempo relativamente corto.

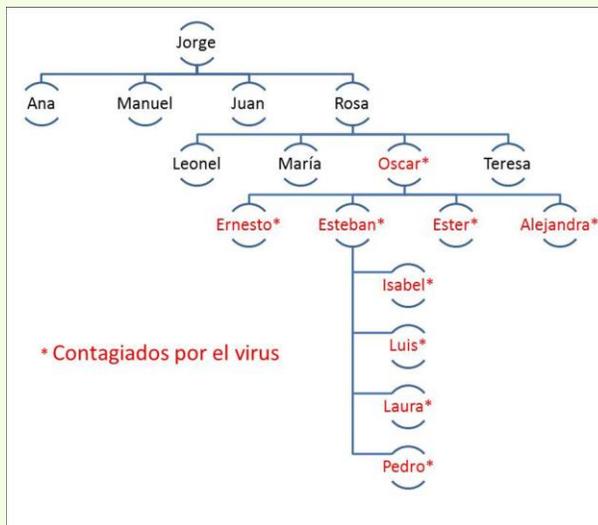


Figura ii. esquema de la distribución de los alumnos, mostrando a los que son contagiados por el virus.

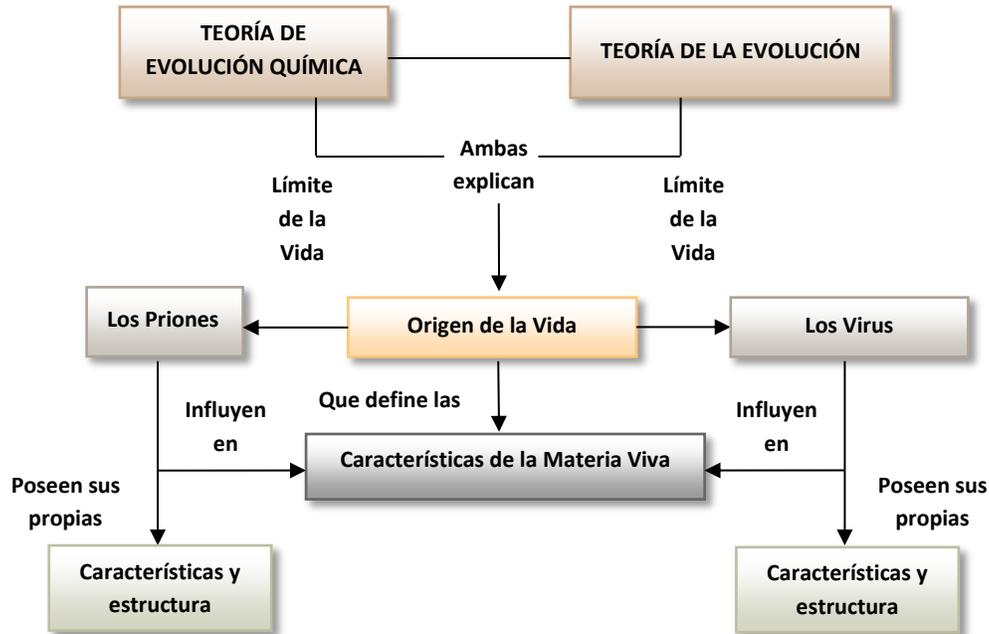
Es importante identificar a los virus como frontera de la vida, reconocer la importancia evolutiva que poseen como las primeras partículas que antecedieron a la célula viva primitiva y que además, al infectar a las células, aportaron material genético que ayudó a la célula para expresar nuevas características en tiempos muy remotos, para la adaptación a nuevos ambientes en el planeta.

¿Cuántos virus existen?

Hay varias concepciones para clasificar a los virus, el dilema que surge es sobre qué base categorizarlos. En la actualidad hay un acuerdo en clasificarlos según sus características compartidas (no las de la célula infectada) y del tipo de ácido nucleico que compone su genoma. El Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV, por sus siglas en inglés) ha hecho esta clasificación, de las más conocidas, fusionando estos dos criterios:

Tabla 1. Clasificación de los virus de acuerdo a su familia y el ácido nucleico que portan

TIPO DE ACIDO NUCLEICO	FAMILIA	ENFERMEDAD QUE PRODUCE
Doble cadena de ADN (dsADN virus)	Adenovirus, Herpesvirus, Poxvirus	Influenza y neumonía; Herpes cutáneo; viruela.
Cadena simple de ADN (ssADN virus)	Parvovirus	Diarreas, gastroenteritis.
Doble cadena de ARN (dsARN virus)	Rotavirus	Diarrea infantil, “diarrea invernal”, gastroenteritis viral aguda.
Cadena simple positiva (+ssARN virus)	Picornavirus, Togavirus	Poliomelitis, resfriado común; rubeola.
Cadena simple negativa (-ssARN virus)	Ortomixovirus, Rabdovirus	Sarampión, paperas, bronquitis, moquillo canino, SARS (Síndrome respiratorio agudo grave); rabia en mamíferos y humanos.
Cadena simple de ARN con Transcriptasa inversa (ssARN R-T)	Retrovirus	Leucemia en mamíferos, sarcoma cutáneo, hepatitis C, cáncer de linfoma, SIDA.
Cadena simple de ADN con Transcriptasa inversa (ssADN R-T)	Herpesvirus	Herpes genital, varicela, conjuntivitis.

RESUMEN**GLOSARIO**

Catalizador. Sustancia que está presente en una reacción química, en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma

Complejo molecular: Conjunto de macromoléculas acopladas de tal forma que no reaccionan entre sí, pero que intervienen en la síntesis y polimerización de otras moléculas orgánicas, en distintas vías metabólicas.

Macrófago: Célula inmunológica de gran tamaño, cuya función principal es fagocitar cuerpos extraños dentro del organismo, así como participar en la respuesta inflamatoria.

Icosaédrico: Con forma de *icosaedro*, un poliedro de veinte caras cóncavo o convexo, donde las caras deben ser polígonos de 19 lados o menos.

Selección Natural: Proceso donde los organismos con ventaja adaptativa o reproductiva desplazan a los menos adaptados mediante la acumulación lenta de cambios genéticos favorables en la población a lo largo de las generaciones.

Simbiosis Mutualista: Asociación por parte de dos o más individuos de especies diferentes, con el fin de recibir provecho mutuo para todos ellos

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Biology: Virus and Prions, Living or Nonliving? (s.f.)
Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/3z2Fc>

Farabee, M. (2007). *Biological Diversities: Viruses*.
Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/0z3IG>

Holger, F. (2000). *Prions: a challenge for science, medicine and public health system*. Switzerland. Karger AG.

Ireland, K. (2011). *Biología Humana*. Estados Unidos de América: Wiley, National Geographic Society.

Murray, P., Rosenthal G. (2005). *Microbiología Médica*. Versión en español. España. Extraído en junio de 2011, de <http://goo.gl/IE3UT>

Piédrola, G. y V. Mantilla. (1990). *Priones*. Madrid: Instituto de España, Real Academia de Medicina. Extraído en junio de 2011 de <http://goo.gl/GhoFl>

Prusiner, S. (2001). *Prion, Biología y enfermedades*. Estados Unidos de América: Cold Springs Harbor Laboratory Press.

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Defina con sus propias palabras en qué consiste la Teoría de la Evolución Química.
2. Defina con sus propias palabras en qué consiste la Teoría de la Evolución que planteó Charles Darwin.
3. ¿Qué es un Prion?
4. ¿Cuál es la característica principal de los priones?
5. ¿Qué es un Virus?
6. ¿Cuál es la característica principal de un Virus?
7. Investigue que síntomas presentan las siguientes enfermedades causadas por virus:
 - SIDA
 - Dengue
 - Conjuntivitis
 - Varicela
 - Hepatitis C

Lección 3.

SISTEMÁTICA Y TAXONOMÍA

CONTENIDOS

1. La diversidad de la vida.
2. Sistemática y taxonomía.
3. Los sistemas de clasificación:
Una revisión histórica.
4. Cladística.
5. La clasificación taxonómica moderna.
6. Las especies.
7. Reinos y dominios biológicos.



INDICADORES DE LOGRO

1. Aplica los términos relacionados con la sistemática biológica.
2. Analiza los diferentes sistemas de clasificación, su contexto y aplicación.
3. Interpreta a las bioespecies como entidades colectivas no estáticas.
4. Interpreta las características que determinan dominios y reinos.
5. Relaciona organismos del entorno con diferentes taxa.

PALABRAS CLAVE

Sistemática, filogenia, cladística, taxón, especie, dominio, reino.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

El Salvador es un país con exuberante biodiversidad; sin embargo, esta se utiliza inadecuadamente al punto de atentar contra su integridad. Las ciencias biológicas, buscan la comprensión de los sistemas vivos conciliando entre la conservación y la utilidad; así, la base para el uso sostenible de recursos es el conocimiento científico. La sistemática es un área multidisciplinaria generadora de estos vínculos al fomentar el pensamiento analítico y sistémico. Utilizando las especies como referencia, permite dimensionar la diversidad de la vida, cuál es su historia y cómo se relaciona.

DESCRIPCIÓN

Se aclara la terminología empleada en la clasificación científica de organismos y cómo estas herramientas se han perfeccionado a través del tiempo. Se describe el estudio sistemático y su importancia, para finalmente establecer las relaciones entre los seres vivos a través de categorías taxonómicas, utilizando ejemplos de la biota nativa.

LA DIVERSIDAD DE LA VIDA

Se estima el origen de la vida hace unos 3 400 millones de años (MDA) y a partir de entonces, los seres vivos se han desarrollado y evolucionado adoptando las características aleatorias que, por pequeñas que fueren, les conceden cierta *ventaja de supervivencia en un ambiente específico pero cambiante*, con variaciones tan amplias como la historia misma de la tierra lo permite (Fig. 1).

Fruto de la acumulación continua de cambios en los seres vivos surge la *diversidad biológica*; esta comprende desde los niveles más básicos (genéticos), hasta los más complejos (ecológicos). La gama de organismos inmersos entre ambos estratos involucra por igual a animales, plantas, hongos, algas, protozoos, bacterias y toda forma de vida individual presente y pasada.

Siendo el ser humano una especie inherente a la diversidad, que coexiste con otros organismos en ambientes cambiantes; la clasificación de los seres vivos, al igual que de los objetos inanimados, surge de la necesidad para comprender el entorno y adaptarse a través de nuevos descubrimientos. Tras el surgimiento de las ciencias, los antiguos criterios de clasificación se estandarizan, los métodos de detección de especies se perfeccionan y las aplicaciones del conocimiento se incrementan.

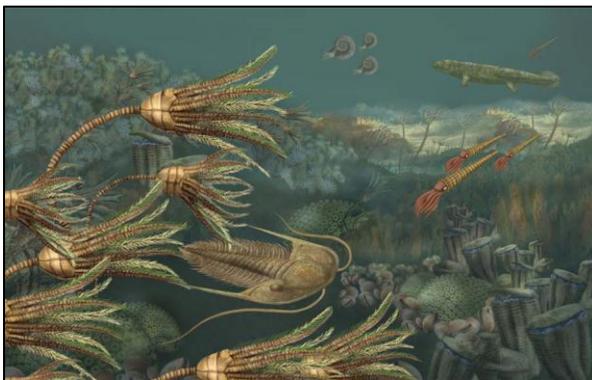


Figura 1. La vida no es estática. Durante la era Paleozoica, comprendida hace de 570 a 246 MDA surgieron la mayoría de los grupos animales conocidos, como los artrópodos, equinodermos y moluscos.

SISTEMÁTICA Y TAXONOMÍA

En biología, la *sistemática* se define como el estudio científico-descriptivo de la diversidad de los organismos a través del tiempo y de todas y cada una de las relaciones entre ellos, así como de la manipulación de la información obtenida para producir *sistemas de clasificación*.

Para la sistemática moderna, las relaciones más importantes entre organismos son aquellas que reflejan una *historia evolutiva*; a esto se le llama *filogenia* (Fig. 2). En otras palabras:

“La sistemática es una ordenación analítica del mundo viviente que procura reflejar la historia evolutiva de los seres vivos”.

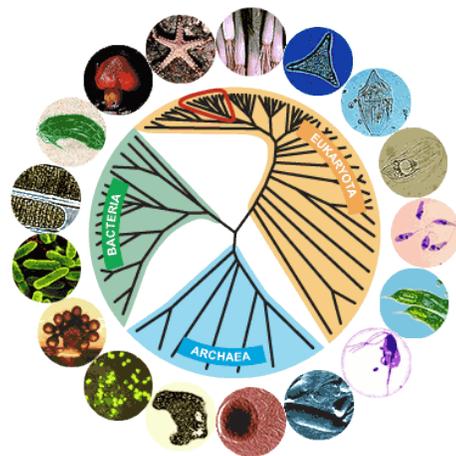


Figura 2. Filogenia. Las relaciones de parentesco entre los seres vivos se representan como árboles filogenéticos.

Como se mencionó antes, la clasificación u ordenación es una operación imprescindible cuando se trata de entender una realidad compleja o, al menos, convivir con ella. Por tal motivo, surgió una ciencia especializada: La *taxonomía*.

“De la raíz griega *taxis* que significa ordenación, *taxonomía* es, en su sentido más básico, la *teoría y práctica de describir, nombrar y clasificar organismos*”.

Como puede observarse, taxonomía y sistemática son disciplinas íntimamente relacionadas y

frecuentemente se utilizan como sinónimos. En tal caso se deberá tener cuidado, pues el uso del término dependerá del sentido que un autor le dé y que cada lector deberá elucidar.

En la presente lección, *taxonomía* se enfocará a la nomenclatura de especies, mientras que la *sistemática*, a relaciones evolutivas entre grupos de especies.

LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN: UNA REVISIÓN HISTÓRICA

Clasificación Utilitaria: en los primeros tiempos el ser humano comienza a conocer diversas especies del entorno, llegando a diferenciarlas en alimenticias, medicinales, religiosas y venenosas, entre otras. Se trata de una clasificación utilitaria porque los grupos formados tienen fundamento únicamente en su uso (Fig. 3).

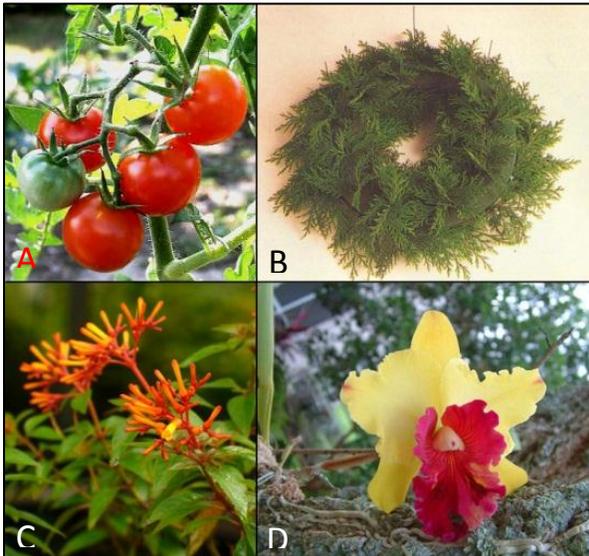


Figura 3. Ejemplo de una clasificación utilitaria de plantas. A: los tomates (*Lycopersicon esculentum*) son alimenticios, B: el ciprés (*Cupressus lusitánica*) es de uso tradicional. C: el chichipince (*Amelia patens*) es medicinal y las orquídeas (como *Cattleya* spp.) son ornamentales.

Con el paso del tiempo y a medida que el ser humano ampliaba sus conocimientos, se abandona la clasificación utilitaria y se hacen evidentes distintos períodos:

Período de los Sistemas Artificiales: estos se basan en una elección arbitraria de determinados caracteres, que servirá para establecer las relaciones o diferencias entre los organismos. Se inician con *Aristóteles* y *Teofrasto* (384-286 antes de nuestra era –ANE–), quienes agruparon y clasificaron a animales y plantas de acuerdo con un criterio lógico (Fig. 4).

La etapa artificial culmina en 1753 con la aparición de “*Species Plantarum*” de *Carl Linneo* (1707-1778). Este afamado científico sueco da un impulso decisivo a la sistemática al establecer la *nomenclatura binomial* y reconocer a las especies como unidad básica del sistema. No obstante, se creía que la especie era inmutable y creada por un ser superior (criterio *fijista*). La variabilidad individual de los organismos se atribuía al resultado de las diferencias climáticas y *edáficas* (del suelo).

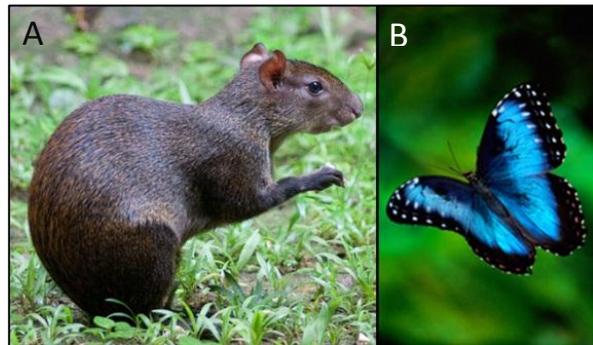


Figura 4. *Aristóteles* dividió a los animales por presencia o ausencia de sangre, así como por su movilidad como criterios lógicos. En este sistema la cotuja (*Dasypromcta punctata*) y la mariposa morfo azul (*Morpho* sp.) pertenecerían a varias categorías: ambos son “animales con movimiento”, pero sólo la cotuja “posee sangre”.

Período de los Sistemas Naturales: tiene su apogeo con la obra “*Genera Pantarum*” (1764) de *Linneo*. Se llega a la conclusión de que era necesario el empleo de un número grande de caracteres para determinar las relaciones “naturales” de los seres vivos. La idea de la variabilidad de las especies se incrementa; sin embargo, el criterio evolucionista y el concepto sobre las relaciones de parentesco no existían.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 1 hora)**CREANDO Y UTILIZANDO SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN:
LA PREDICTIBILIDAD DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES**

Materiales: hojas de papel; plumones; cinta adhesiva; pañoletas y un cuaderno.

Procedimiento: dicte o escriba en la pizarra la lista de los siguientes nombres comunes de animales nativos:

"tenguerche"	"jute"
"tacuazín"	"tortuga"
"pez caíte"	"cusuco"
"chacuatete"	"zanate"
"lombriz"	"esponja"
"estrella marina"	"chimbolo"
"torogoz"	"masacuata"

Puede agregar animales que estime convenientes.

Forme a sus estudiantes en tríos y solicíteles que agrupen los animales en categorías, de acuerdo con criterios que les parezcan lógicos, por ejemplo, "los que viven bajo tierra" o "los que tienen corazas".

Revise todas las categorías y anótelas en la pizarra. Con ayuda de sus estudiantes, depure los grupos hasta formar categorías comunes que incluyan todas las ideas previas del estudiantado (entre más formulen, el ejercicio será más complicado, pero deben ser al menos cinco).

Organice grupos grandes procurando que a cada integrante le corresponda el nombre de un animal diferente (pueden ser sólo dos grupos). Pida que escriban en media página de papel el nombre común de cada animal y que se peguen los rótulos en el pecho o espalda. Solicite a los integrantes memorizar el rótulo de sus compañeros, teniendo en mente las categorías de la pizarra.

Indique a sus estudiantes que, conservando los grupos, se pongan de pie (en un espacio abierto). Seleccione una persona al azar de cada grupo y véndele los ojos con la pañoleta. Ahora explique las siguientes reglas a la clase:

1. Cuando usted lo indique, los miembros de cada grupo (excepto los vendados) se dividirán según uno de los criterios lógicos que formaron las categorías de la pizarra. Por ejemplo, "los animales que vuelan a la izquierda y los que no lo hacen, a la derecha".
2. Luego, podrá preguntar a las personas vendadas dónde está alguien de su grupo y tratarán de acertar. Por ejemplo puede preguntarles "¿dónde está Juan?" y la persona vendada responderá "a la izquierda".
3. La mecánica se repetirá vendando a cada integrante y dividiendo al grupo con otro criterio, por ejemplo animales "terrestres y acuáticos"; "vertebrados e invertebrados"; "con caparazón", etc."
4. Las respuestas correctas tendrán puntos y podrá elegir un grupo ganador.

Al terminar pregunte: ¿qué tipo de sistema de clasificación utilizamos? Artificial. ¿Qué características notaron en el sistema? ¿Por qué se esperaba que pudieran responder a las preguntas? Haga la reflexión sobre la predictibilidad de los sistemas artificiales y de las categorías abiertas.

Período de los Sistemas Filogenéticos: inicia con la aceptación de la teoría evolucionista de Charles Darwin (1809-1882) en su "On the Origin of Species" (1859). A partir de este enunciado se abandona el concepto de la inmutabilidad y creación independiente de las especies, reemplazándolo por la idea que las especies están constituidas por *poblaciones* (conjunto de individuos que intercambian libremente sus factores genéticos) y que estas *poblaciones* pueden variar en el proceso de reproducción para dar origen a descendientes con determinados caracteres diferentes. Se formula entonces la hipótesis que *todos los organismos vivientes están relacionados o emparentados entre sí* por provenir de formas ancestrales sencillas, las que en el transcurso de su historia sufrieron alteraciones para dar lugar a la diversidad de formas actuales.

CLADÍSTICA

Si bien el término sistemática proviene de *systema*, tal como se aplicaba a los sistemas de clasificación desarrollados por los antiguos naturalistas, la clasificación moderna es estrictamente *genealógica*. En un principio, los sistemáticos utilizaron semejanzas morfológicas y bioquímicas entre los organismos para inferir las relaciones evolutivas; no obstante, el desarrollo de la genética ha permitido develar relaciones de parentesco a su nivel más básico: el molecular. Con esta nueva herramienta se demostró que los rasgos más obvios y acusados no necesariamente marcan el desarrollo evolutivo de un linaje.

Luego de estudiar todas las características de un grupo y excluir las que no marcan su evolución, surge una nueva agrupación llamada **clado**. La *sistematización de especies a partir de clados se llama cladística*. Este sistema pone más atención a los puntos donde divergen los organismos que al grupo en sí. Actualmente se busca que todos los grupos de seres vivos representen un clado (o sea, ser *monofiléticas* -de un ancestro común-).

ACTIVIDAD 2. (Tiempo: 1 hora)
CLADÍSTICA Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Procedimiento

Indique a sus estudiantes la forma de construir un árbol genealógico familiar con las siguientes especificaciones:

- Escoger los parientes más conocidos (de preferencia del lado materno).
- En el estrato inferior colocar el nombre de la bisabuela.
- En el segundo estrato colocar el nombre de su abuela y tíos abuelos (hermanos de la abuela).
- En el tercer estrato estará el nombre de su mamá o papá y los tíos (hermanos de papá o mamá).
- Finalmente en el cuarto estrato, escribirán su nombre y el de sus hermanos.
- Escribir primero el apellido, luego el nombre.

El árbol deberá verse así:



Pregunte: *¿qué tipo de relaciones muestra la estructura? ¿Qué información podemos obtener de ella? ¿Qué diferencia a cada estrato del otro?*

Pida a sus estudiantes que intercambien su árbol genealógico con el de un compañero y lo analicen.

Vuelva a interrogar *¿Qué cosas nuevas han aprendido de su compañero(a)? ¿Conocen a alguien del árbol de su compañero(a)? ¿Alguien tiene parientes en común?*

Explique: El árbol genealógico familiar muestra una relación directa de parentesco a través del tiempo, o sea una filogenia estrecha. Como una analogía podemos compararlo al sistema cladístico utilizado por la taxonomía moderna; en tal caso:

El estrato inferior es el último ancestro común conocido (Juana Aguilar). Cada una de las particiones del árbol, donde se encuentran los nombres, marca el punto de separación genética entre cada grupo, por lo tanto, los nombres subsecuentes forman un clado. Los apellidos son como los géneros que agrupan individuos semejantes y pueden variar o mantenerse a través de los estratos, mientras que los nombres representan especies.

Entre más lejanos son los ancestros, es más difícil establecer relaciones de parentesco entre individuos.

LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA MODERNA

La relación entre seres vivos puede representarse como una estructura arbórea, donde cada rama representa a un grupo de organismos llamado **taxón**. Las ramas pueden dividirse sucesivamente en otras menores; cada una de ellas (grandes o pequeñas), constituyen taxones de distintas jerarquías. Ya que cada taxón obedece a un clado (organismos emparentados entre sí), el resultado gráfico se denomina **cladograma** (Fig. 5) o **árbol filogenético**: una estructura que muestra las relaciones entre grupos de individuos y su grado de parentesco en distintos niveles.

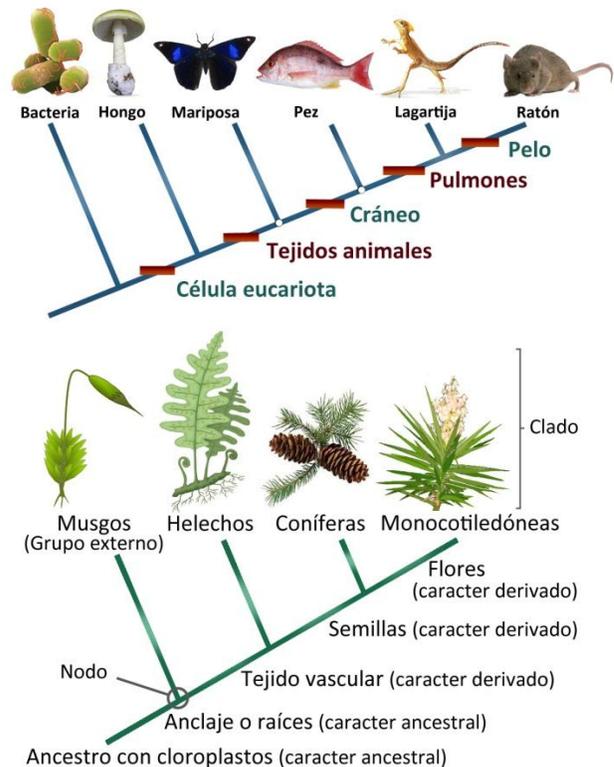
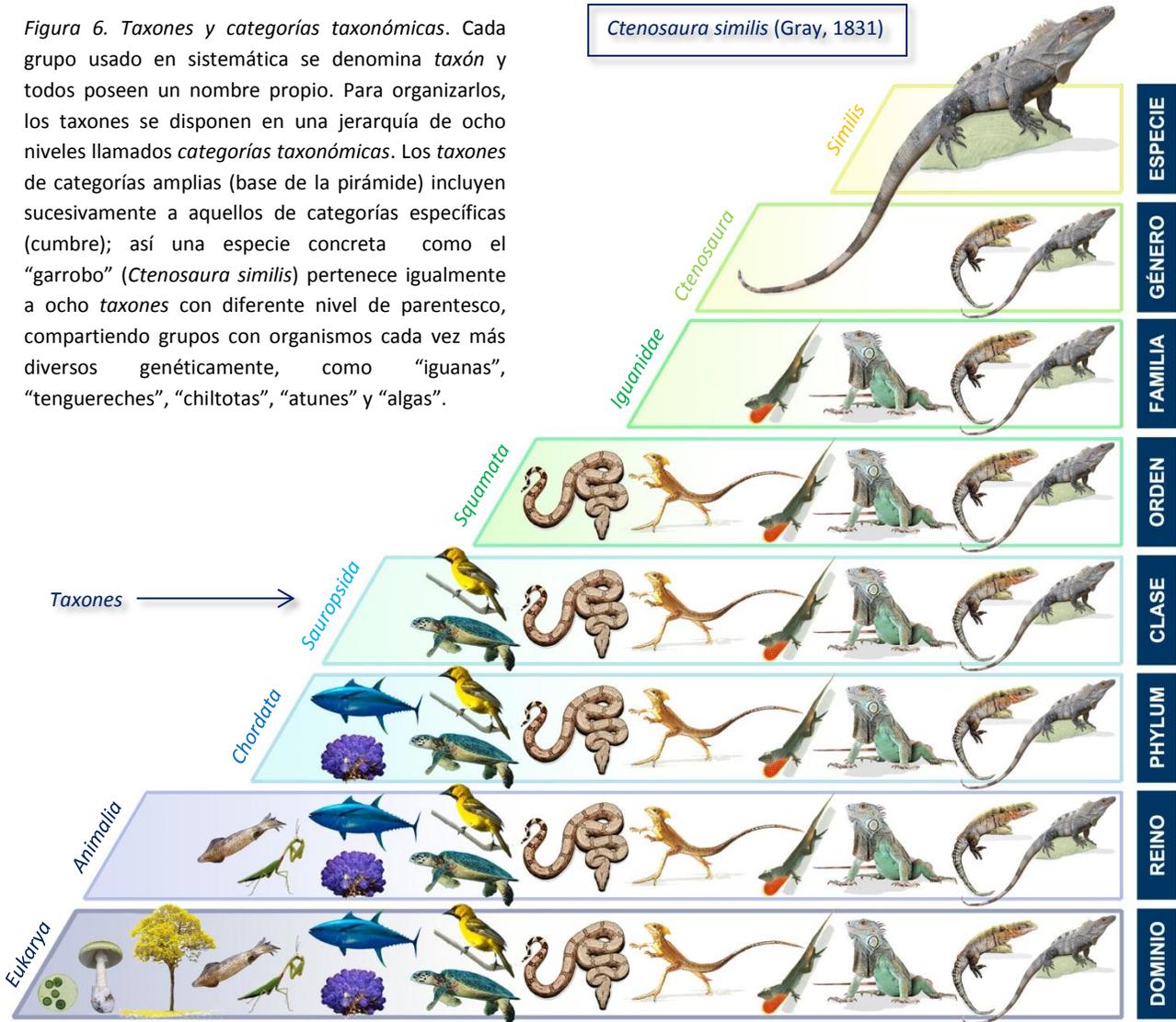


Figura 5. Cladogramas. Muestran las relaciones entre grupos de seres vivos, haciendo énfasis en los puntos divergentes (nodos) y las características observables. La taxonomía se acomoda para que cada rama forme un taxón. A: Parentesco entre distintos grupos de animales. B: Parentesco entre los grupos de plantas verdaderas.

Los taxones principales son asignados a uno de ocho “niveles de parentesco” denominados **categorías taxonómicas**. Desde la más grande a la más pequeña, las categorías son: *Dominio, Reino, Filo (Phylum o División), Clase, Orden, Familia, Género y Especie* (Fig. 6).

Figura 6. Taxones y categorías taxonómicas. Cada grupo usado en sistemática se denomina *taxón* y todos poseen un nombre propio. Para organizarlos, los taxones se disponen en una jerarquía de ocho niveles llamados *categorías taxonómicas*. Los *taxones* de categorías amplias (base de la pirámide) incluyen sucesivamente a aquellos de categorías específicas (cumbre); así una especie concreta como el “garrobo” (*Ctenosaura similis*) pertenece igualmente a ocho *taxones* con diferente nivel de parentesco, compartiendo grupos con organismos cada vez más diversos genéticamente, como “iguanas”, “tenguereches”, “chiltotas”, “atunes” y “algas”.



LAS ESPECIES

En un sentido práctico se entiende por *especie* a un conjunto de organismos semejantes entre sí y distinguibles de los demás; por ejemplo, es fácil decir que un “zanate” (*Quiscalus mexicanus*) y un pollo (*Gallus gallus*) pertenecen a distintas especies; no obstante, en las ciencias biológicas se distinguen al menos tres usos diferenciados de la palabra *especie*, siendo estos:

- La especie como unidad evolutiva es: “un grupo de poblaciones naturales cuyos individuos se cruzan entre sí de manera real o potencial, y que están reproductivamente aislados de otros grupos”. También se le denomina **bioespecie**.

- La *especie* es también una categoría o rango taxonómico.
- La especie implica un taxón, es decir, es una *clase lógica formada por individuos agrupados en virtud de ciertos atributos comunes que un taxónomo ha definido con anterioridad*.

La especie como taxón y la especie biológica (o bioespecie) *no deberían representar entidades distintas*. Las primeras representan hipótesis que, por medio de definiciones ajustadas, intentan acercarse a las segundas. De este modo, *una especie es una categoría, una hipótesis perfectible y también un concepto biológico*. A continuación se estudiará a la especie como un taxón, considerándolo semejante a la bioespecie.

Los nombres científicos: El método binomial

Los *nombres científicos* son etiquetas únicas que se emplean para identificar y referirse a las especies. Surgen para evitar confusión entre tantos nombres comunes que pueden tener los organismos, por ello se acordó escribirlos en latín, una lengua muerta. De acuerdo con el *sistema binomial de nomenclatura*, ideado por *Linneo* en el siglo XVIII, el nombre científico debe cumplir con las siguientes características:

- Estar formado por dos taxones: el *género* (un sustantivo) y la *especie* (un adjetivo o modificador).
- El nombre genérico (género) siempre antecede al epíteto (especie).
- La primera letra del *género* es mayúscula y la *especie* se escribe en minúscula, ambos en letra cursiva o subrayados independientemente.

Ejemplo: El ave nacional (Fig. 7) es conocida como “torogoz”, “talapo”, “guardabarranco”, “momoto” o “momoto de ceja turquesa”, pero su nombre científico es:

Eumomota superciliosa (Sandbach, 1837)



Figura 7. Ave nacional: *Eumomota superciliosa*

Eumomota es el *género*, un sustantivo; *superciliosa* es la *especie*, un adjetivo que se refiere a la presencia de la franja turquesa sobre el ojo. Al estar formado por dos taxones de distinta categoría, el nombre científico moderno también obedece a la cladística, así dos especies que lucen similares pueden no ser iguales y tener nombres distintos.

Continuando el ejemplo: El “talapo”, “momoto” o “momoto de corona azul” (Fig. 8), es también llamado “torogoz” por su aspecto (*fenética*), pero solo están emparentados al nivel de familia, así que su nombre científico difiere a:

Momotus momota (Linneo, 1758)



Figura 8. *Momotus momota* o “talapo”. Por su *fenética* (características observables) es confundido con *Eumomota superciliosa* (torogoz). Nótese que difieren en la coloración rojiza del dorso y los remates turquesa de las plumas. La corona azul y el verde oscuro son propios del “talapo”.

En trabajos científicos usualmente se escribe la *autoridad* al final del nombre, o sea el apellido de la persona que describió la especie por primera vez, seguido del año en que lo hizo. En el caso de *Momotus momota* la autoridad es el mismo *Linneo*, quien diseñó el sistema y lo describió en 1758.

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... Lenguaje y Literatura

Parte 1: Introducción. Agrupe a sus estudiantes en tríos e inicie con una explicación similar a la siguiente:

Los *sustantivos* (o nombres) son una categoría gramatical de palabras con las que se denomina a entidades fijas, tales como objetos, especies o personas, *indicando que estas son unidades separadas de pensamiento que reciben la acción de los verbos*. Por ejemplo, decimos “*Los compuestos están reaccionando*”, donde “*compuestos*” es el sustantivo y “*estar reaccionando*” son los verbos conjugados. En español, los sustantivos son variables en género y número, así por ejemplo, algunos sustantivos son: *perro, atmósfera y Manuel*, pero su significado cambia al decir: *perra, atmósferas o Manuela*.

Los *adjetivos* son palabras que funcionan como *complemento de un sustantivo para calificarlo o determinarlo*. Expresan características o propiedades, por ejemplo decimos “*superficie rectangular*”, donde “*superficie*” es un sustantivo y “*rectangular*” es el adjetivo especificando que no es cualquier superficie sino una “*con forma de rectángulo*”. Además de *calificar al sustantivo*, los adjetivos pueden ser *determinativos*, añadiéndoles ciertas “*notas*” tales como pertenencia, interrogación, exclamación, entre otras. Por ejemplo decimos “*genética mendeliana*” para referirnos a la genética “*de Mendel*”, o bien “*¡cuál ecuación de segundo grado!*”, donde “*cuál*” es adjetivo de exclamación para “*ecuación*”, y “*segundo*” es el adjetivo numeral de “*grado*”.

En la *nomenclatura binomial* los nombres científicos se componen de un sustantivo (género) y un adjetivo (especie) en latín. Dado que el español es una *lengua romance* (idioma proveniente del latín), muchas de las palabras latinas se entienden fácilmente; asimismo, algunas palabras de lenguas originarias como el *nahuat* se han latinizado para su uso científico.

Parte 2: Instrucciones y trabajo grupal. Presente a los estudiantes los siguientes sustantivos y adjetivos que forman parte de nombres científicos (manténgalos visibles durante toda la actividad):

Annona, citrus, indica, puma, velox, purpurea, falco, sanguineus, salvadorensis, grandis.

Pídales que, haciendo uso de la información introductoria, completen la siguiente tabla de manera que:

- En la columna “Pistas”, anoten la palabra latina (del listado anterior) que corresponda al significado en español de la columna derecha.
- Indiquen con una X si la palabra faltante es adjetivo (Adj.) o sustantivo (Sust.).
- Ordenen las palabras latinas de una misma fila para formar un nombre científico correcto.

PISTAS		Significado de la palabra faltante	Sust.	Adj.	Nombre científico correcto	Nombre común
Anadara		grande				“casco de burro”
Tamarindus		de la India				“tamarindo”
Peregrinus		halcón				“halcón peregrino”
Geococcyx		rápido				“correcaminos tropical”
Annona		púrpura				“sincuya”
Sinensis		limonero				“limonero”
Concolor		puma				“puma”
Amaranthus		de color sangre				“amaranto”
Cherimola		anona				“chirimoya”
Cedrela		de El Salvador				“cedro”, “cedro rojo”

REINOS Y DOMINIOS BIOLÓGICOS

Como se observó en la historia de las clasificaciones científicas, la categoría de *reino* fue planteada hace más de 2 200 años y aún se utiliza para catalogar la diversidad biológica en extensos grupos.

Hasta hace unas décadas, se aceptaban cinco *reinos biológicos* dependiendo de la complejidad celular, anatomía y nutrición de los seres vivos (no filogenia); sin embargo, el reciente consenso en la agrupación cladística ha llevado a una

constante reevaluación del número y límites de los reinos a través del análisis molecular.

Diferentes investigadores han propuesto desde seis, hasta docenas de nuevos reinos sin llegar a un acuerdo; de esta forma, se ha optado por agrupar los organismos en categorías superiores y de mayor aceptación: los *dominios*.

LOS 3 DOMINIOS

De acuerdo con el *sistema de los tres dominios* (también llamados *imperios* o *super reinos* por su jerarquía) propuesto por *Woese et al.* en 1990, la vida puede agruparse en tres categorías básicas de acuerdo con su morfología celular y proximidad genética, siendo estas:

<p>1. Dominio <i>Bacteria</i></p>  <p>Está integrado por los procariotas llamados bacterias y <i>cianobacterias</i>. Puede dividirse en múltiples reinos.</p>	<p>3. Dominio <i>Eukarya</i> (Eucariotas)</p>  <p>Como su nombre lo indica, incluye todos los organismos eucariotas tanto unicelulares como pluricelulares. Está compuesto de diversos reinos entre los que se encuentran: <i>Animalia</i>, <i>Plantae</i>, <i>Fungi</i> y los nuevos reinos derivados de los protistas.</p>
<p>2. Dominio <i>Archaea</i></p>  <p>Se constituye por procariotas con bioquímica distinta de las bacterias: Las <i>arqueas</i>. Se proponen al menos dos reinos.</p>	 <p>En el dominio <i>Eukarya</i> se encuentra la mayoría de especies descritas por la ciencia. Los <i>artrópodos</i>, por ejemplo, poseen más de 1 000 000 de especies y las plantas terrestres unas 300 000.</p>

LOS REINOS BIOLÓGICOS

Mientras el estudio filogenético en las categorías superiores continúa, es necesario examinar también el esquema tradicional básico de los reinos. Actualmente es de amplio uso que los tres dominios originan al menos seis reinos morfológicamente distinguibles:

1. REINO BACTERIA (*Eubacteria*)

En un inicio, esta categoría taxonómica pertenecía al “reino *Mónera*” que englobaba a todos los organismos procariotas, actualmente se

encuentra dentro del *dominio Bacteria* y comprende a las bacterias verdaderas y afines; no obstante, algunos de estos subgrupos afines son tan disímiles que el uso preferible de agrupación es dominio.

Las bacterias son tan abundantes que normalmente hay unos 40 millones de células bacterianas en 1 g de suelo. Distintas especies de bacterias habitan en todos los ambientes capaces de sustentar la vida. Se distinguen los siguientes grupos:

- Las bacterias verdaderas o *eubacterias* (Fig. 9).
- Los *micoplasmas*: sin pared celular rígida (Fig. 10).
- Las *cianobacterias*: bacterias fotosintéticas (Fig. 11).

Las características comunes del grupo son:

- Célula procariota básica (sin organelos, sistemas membranosos ni citoesqueleto).
- A excepción de los *micoplasmas* todas poseen pared celular de *peptidoglucano*.
- ADN circular desnudo y un solo cromosoma.
- Reproducción asexual por gemación, conjugación o bipartición.

2. REINO ARCHAEA: las *arqueas* o “bacterias primitivas”

Dentro de la clasificación por dominios, estas pertenecen al dominio *Archaea* (del griego *arkhaios* = antiguo). Todos son procariotas morfológicamente semejantes a las bacterias, pero se diferencian de estas en su estructura molecular, fisiología y sobre todo, en la secuencia genética. Algunas de sus características distintivas son:

- Los lípidos de las membranas plasmáticas son únicos.
- Poseen paredes celulares de estructuras variadas, no de *peptidoglucano*.
- Muchas especies habitan solo en ambientes extremos (*extremófilas*).

Aunque en su momento se denominaron “bacterias primitivas” y *extremófilas*, evidencia reciente indica que su relación filogenética es más cercana al dominio *Eukarya* que al *Bacteria* y que habitan un sinnúmero de ambientes incluyendo el intestino humano; no obstante, el conocimiento actual sobre la diversidad de arqueas es fragmentario y no se puede estimar el número total de especies existentes.

3. REINO PROTISTA

Los protistas constituyen un grupo muy variado de organismos cuya categoría de reino está ampliamente desacreditada. Históricamente, las especies pertenecientes a esta categoría eran todos aquellos “*eucariotas unicelulares o pluricelulares que no formaban tejidos*”, muchos de los cuales tienen una nutrición variada y “*no cumplían con las características estructurales para agruparse en otro reino*”. Con el paso del tiempo, los análisis genéticos apuntan a la desaparición de este grupo como tal,

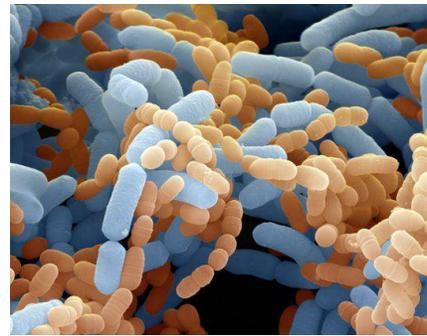


Figura 9. Colonia de *Lactobacillus*, bacterias comunes en la descomposición de leche.

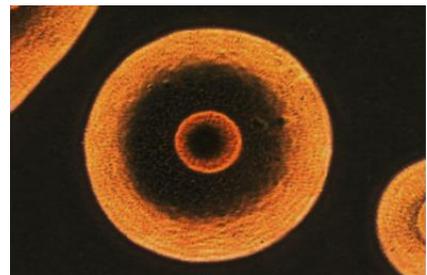


Figura 10. *Micoplasmas: Mycoplasma sp.*

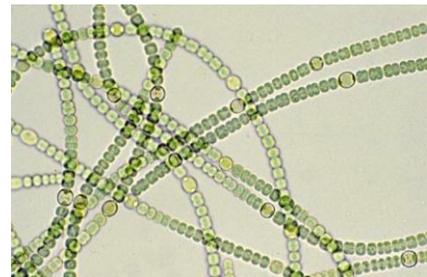


Figura 11. Colonia filamentosa de *Anabaena*, una *cianobacteria* común de aguas dulces y zona costera de El Salvador.

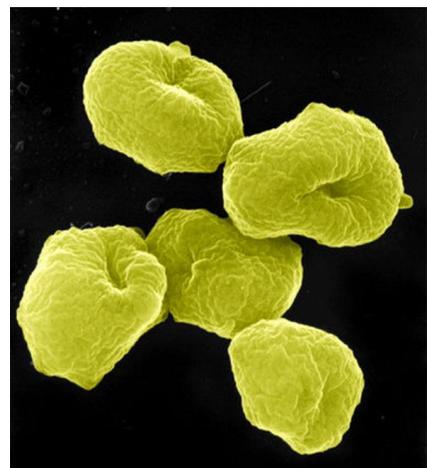


Figura 12. Micrografía de la *arquea* extrema *Sulfolobus*. Crece en ambientes ácidos a temperaturas entre 75 y 80° C.

redistribuyendo a sus representantes dentro de los reinos *Plantae*, *Fungi* y *Animalia*, así como en al menos cinco nuevas categorías dentro del dominio *Eukarya*.

Tomando en cuenta que la conformación del reino protista contradice la cladística, usualmente se refiere a estos organismos de manera informal (no taxonómica) en grupos convenientes para su estudio, siendo los más importantes:

Protistas animaloides (Protozoos): Son todos los protistas parecidos a animales (célula tipo animal). Incluye a todos los unicelulares *heterótrofos* (se alimentan de otros organismos), *ciliados*, *flagelados* y *rizópodos* (que se mueven proyectando su membrana celular). Este grupo es *polifilético* (proviene de distintos ancestros) teniendo una definición contradictoria puesto que existen organismos con paredes celulares, algunos con vacuolas (Fig. 13) y otros parecidos a hongos (*fungoides*).

Protistas vegetaloides (Algas): Son protistas unicelulares o pluricelulares parecidos a plantas (célula tipo vegetal). Incluye a los organismos autótrofos fotosintéticos; no obstante, muchas especies carecen de paredes celulares, varias poseen flagelos, otras han perdido sus plastidios o pueden actuar como heterótrofos (Fig. 14).

4. REINO FUNGI: los hongos

Dentro del dominio *Eukarya* se agrupa a los hongos, que comprenden a las setas, los mohos y las levaduras. Aunque se sabe que se encuentran más relacionados con los animales, en la antigüedad las formas macroscópicas sésiles (que no se mueven) fueron clasificadas dentro del reino *Vegetal* y aún se estudian en botánica. Las características que definen al reino son:

- Eucariotas de alimentación heterótrofa por absorción de nutrientes.
- Paredes celulares que contienen *quitina* (que también forma el exoesqueleto de los insectos).
- Reproducción por esporas.
- Sus formas multicelulares se constituyen en *hifas* (agrupación filamentosa de células que en conjunto se denomina micelio).

Se distinguen al menos siete filos dentro del reino *Fungi*; estos son llamados hongos verdaderos o *Eumycetes*, algunos de los cuales eran ubicados anteriormente con los protistas. No obstante existen varios grupos aún en discusión, los filos más importantes y fácilmente reconocibles de hongos son:

Endomicorrizas (Glomeromycota): hongos filamentosos que penetran las raíces de las plantas conformando una asociación mutualista llamada *micorriza* (hongo-raíz). En esta simbiosis el hongo y la planta intercambian nutrientes esenciales para sobrevivir, asimismo, las hifas incrementan la superficie radicular facilitando la absorción de sustancias. Aunque no son evidentes, estos hongos se encuentran en las raíces de casi el 90% de las especies vegetales (Fig. 15).

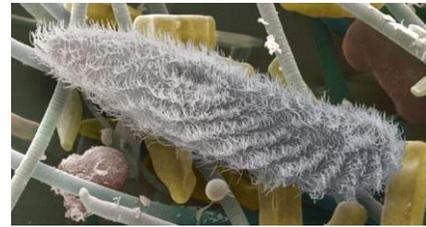


Figura 13. *Paramecium*, un protozoo ciliado con vacuolas. Es común en agua dulce y se alimenta de material vegetal.

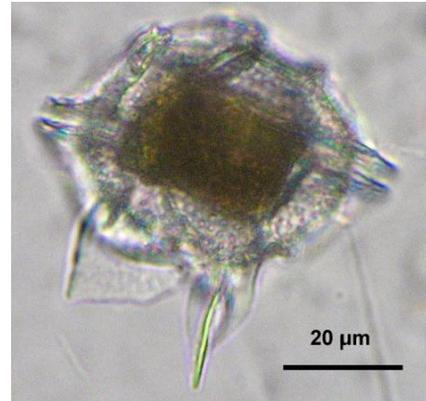


Figura 14. *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* un protista vegetaloides causante de floraciones algales nocivas o "mareas rojas". Fue identificado en muestras de 2005 por investigadores de la Universidad de El Salvador (UES).

Mohos y hongos inciertos (Zygomycota): los mohos son hongos filamentosos con esporas esféricas, como los que cubren tortillas y panes viejos (Fig. 16). Los *hongos inciertos* son una serie de grupos fúngicos cuya relación filogenética no es clara. Clasificaciones actuales incluyen a todos dentro del filo Glomeromycota.

Ascomicetos (Ascomycota): es el filo más grande del reino *Fungi* con más de 64 000 especies. Su característica principal es la generación de esporas en sacos llamados *ascas* (de ahí su nombre), aunque también incluye especies relacionadas en su filogenia. Los hay unicelulares como las levaduras o pluricelulares macroscópicos que forman setas como las de los géneros *Xylaria* o *Daldinia* (Fig. 17). Algunos forman micorrizas.

Algunos representantes son: *Penicillium*, de donde se obtuvo la penicilina; *Aspergillus*, un hongo patógeno que causa *aspergilosis*; las trufas (del género *Tuber*), que son comestibles; así como las levaduras, especialmente el género *Saccharomyces*.

Basidiomicetos (Basidiomycota): son los más conocidos entre los hongos pues muchas especies forman setas que asemejan sombrillas o repisas (Fig. 18). El grupo está formado en su mayoría por hongos filamentosos que producen esporas particulares: las *basidiosporas*, de donde deriva su nombre. No obstante, se incluyen por proximidad genética algunas levaduras y hongos que no producen basidiosporas.

Los basidiomicetos forman micorrizas y muchos son comestibles como los champiñones (*Agaricus sp.*), pero también hay tóxicos y alucinógenos. En El Salvador las especies comestibles incluyen al “hongo ostra” (género *Pleurotus*) y algunas especies de los géneros *Auricularia* y *Ramaria*.



Figura 15. Raíz micorrizada.



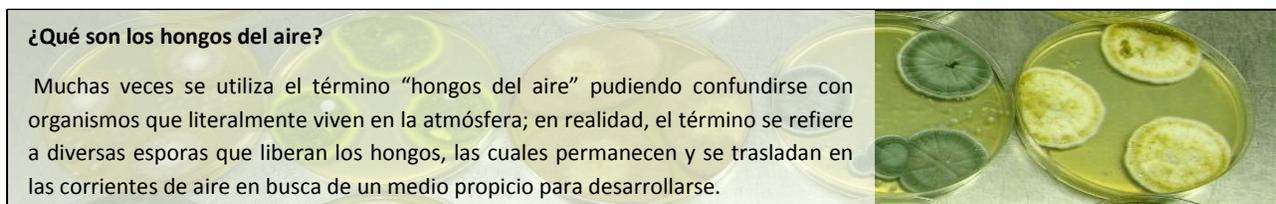
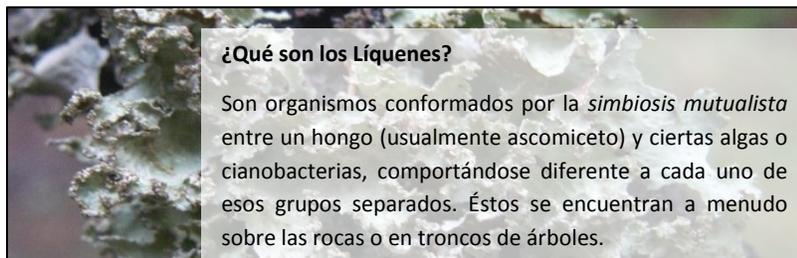
Figura 16. Tomate con mohos.



Figura 17. Ascomicetos del género *Xylaria*.



Figura 18. Hongos del género *Auricularia*.



REINO PLANTAE: Las Plantas

Los límites del reino *Plantae* o reino *Vegetal* no se encuentran claramente definidos y dependen del sistema de clasificación que se emplee. En la visión tradicional y más estricta, el reino *Plantae* incluye únicamente a los organismos llamados comúnmente “plantas terrestres”, que poseen las características siguientes:

- Célula tipo vegetal que forma tejidos.
- Sésiles en la etapa final de su desarrollo.
- Paredes celulares del polisacárido *celulosa*.

La clasificación de plantas terrestres se presenta en grupos no necesariamente *monofiléticos*, con criterios anatómicos, pero de amplio uso aún en la actualidad.

El énfasis cladístico de la taxonomía moderna indica que, si bien la visión estricta engloba organismos con un ancestro común, deja fuera ciertos grupos cercanamente emparentados; bajo este enfoque, se incluyen dentro del reino

Plantae a organismos antes considerados protistas: las algas verdes (división *Clorophyta*), las cuales se consideran precursoras de las plantas terrestres.

De acuerdo con esta postura, las características notables que definen filogenéticamente al reino *Plantae* se adecúan a su estructura celular y fisiología, siendo éstas:

- Eucariotas con paredes celulares de *celulosa*.
- Autótrofos fotosintéticos con plastidios de doble membrana (cloroplastos).
- Poseer clorofilas *a* y *b* como pigmentos fotosintéticos.
- Almacenar *almidón* como sustancia de reserva energética.

Independientemente del sistema de clasificación empleado para el reino *Plantae*, se distinguen adecuadamente once divisiones (filos) de plantas que pueden acoplarse con la clasificación tradicional de la siguiente manera:

I. PLANTAS NO VASCULARES (sin tejidos de conducción)

- *Musgos y relacionados (Antiguo grupo Briophyta)*. Plantas sin raíces ni tallo o *talofíticas*, incluye las divisiones:



▪ Musgos (*Bryophyta*). ▪ Hepáticas (*Hepatophyta*). ▪ Antoceros (*Anthocerotophyta*).

II. PLANTAS VASCULARES (con tejidos de conducción)

- Plantas con raíces verdaderas y tallos (Antiguo grupo *Tracheophyta*). Se dividen en:



A. Vasculares inferiores

▪ Equisetos (*Equisetophyta*). ▪ Licopodios (*Lycopodiophyta*). ▪ Helechos (*Pteridophyta*).

B. Vasculares superiores (Espermatofitas)

- Plantas con semillas que pueden o no estar contenidas en frutos. Las divisiones más importantes son:

Grupo gimnospermas			
	<ul style="list-style-type: none"> Pinos, cipreses, tujas y araucarias (<i>Coniferophyta</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> El ginkgo como especie única (<i>Ginkgophyta</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> Las cicas (<i>Cycadophyta</i>).
Grupo angiospermas			
	<i>Monocotiledóneas</i> , como el izote y maíz	<i>Dicotiledóneas</i> , como los jocotes y frijoles	

La evidencia fósil indica que las primeras algas relacionadas con el reino *Plantae* aparecieron sobre la tierra hace unos 1 200 M.A., pero las plantas terrestres no evolucionaron sino hasta el Periodo Ordovícico hace unos 450 M.A. Actualmente habitan todo tipo de ambientes donde exista luz, oxígeno y agua líquida. El número de especies del reino varía de acuerdo a la clasificación entre 250 000 y 300 000.

REINO ANIMALIA: Los animales.

Si bien se considera que todos los animales derivan de un ancestro común, la categoría de reino está definida con base en *criterios anatómicos y de nutrición* más que de filogenia. Habitualmente resulta fácil identificar a los animales comunes como las aves o mamíferos;

sin embargo, el reino *Animalia* es el más numeroso de todos, se encuentra constituido por más de 2 000 000 especies con formas y hábitos diversos, muchas son microscópicas, algunas son *sésiles* y otras se reproducen sólo en forma asexual.

La palabra *animal* deriva del latín *animalis* que quiere decir “tener que respirar”, en alusión a su metabolismo. Animales son todos los seres vivos del dominio *Eukarya* que cumplen con:

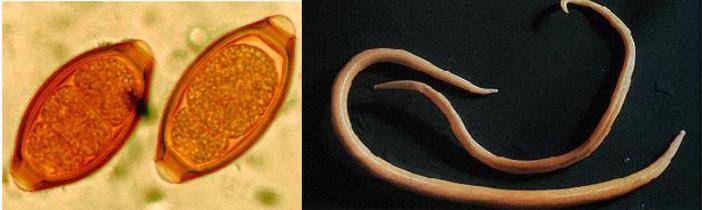
- Ser multicelulares con célula tipo animal.
- Tener funciones celulares diferenciadas.
- Ser heterótrofos de metabolismo aeróbico (requieren oxígeno para respirar).
- Ser *móviles* (moverse) en alguna etapa vital.

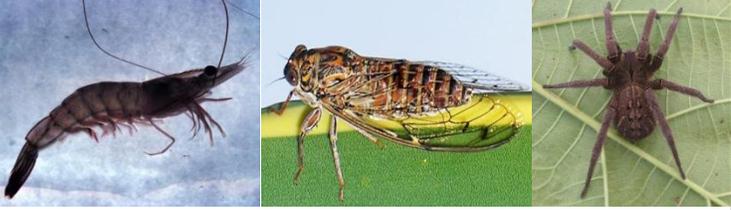
- No poseer paredes celulares.

La mayoría de los filos conocidos de animales aparecen en los registros fósiles del período cámbrico, en un evento conocido en biología evolutiva como “la explosión cámbrica”, hace unos 542 M.A. No obstante, se discute si esta repentina aparición de biodiversidad se debió a condiciones ambientales favorables para tal

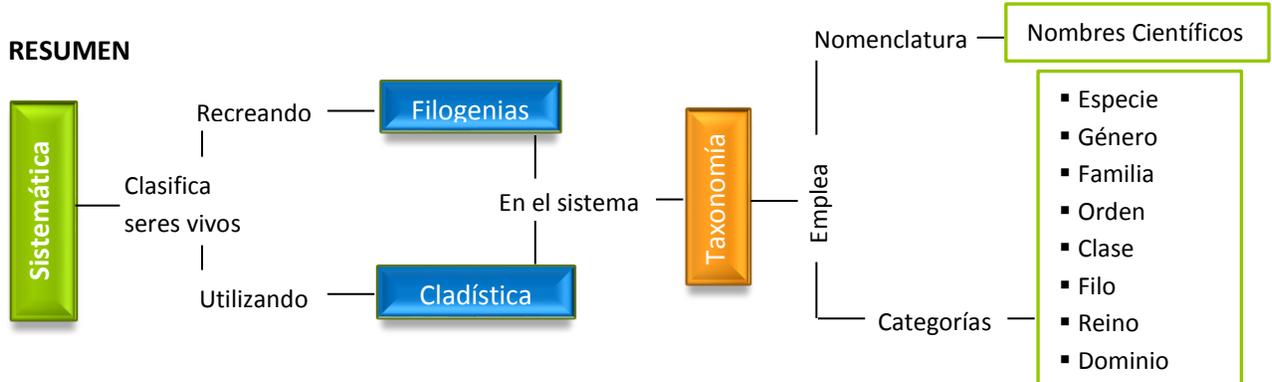
suceso o a la formación de materiales apropiados para la fosilización.

Actualmente existen unos 21 filos de animales que, dependiendo del enfoque, pueden ser agrupados bajo criterios cladísticos o anatómicos. Sin ánimo de ser exhaustiva, a continuación se presenta una agrupación de los filos animales, contemplando ambas perspectivas:

I. PARAZOA		
Animales asimétricos que no forman tejidos, el filo más representativo son las esponjas (porífera). Su desarrollo evolutivo no es claro, pero usualmente se separan de los eumatozoos. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Filo <i>Porifera</i> (Figura 19) 		
II. EUMETAZOA		
Animales que se diferencian en tejidos. En su estado embrionario forman una estructura de 3 capas llamada <i>gástrula</i> . Comprende casi todos los animales, los grupos más representativos son:		
RADIATA	Grupo no cladístico de animales con <i>simetría radial</i> que en el estado adulto poseen sólo dos capas de tejidos (Fig. 20). Los filos representativos son:	Figura 20. Representantes del filo <i>cnidaria</i> en El Salvador. A: Anémonas sobre arrecife de coral. B: Medusa bola de cañón (<i>Stomolophus meleagris</i>), a veces llamada “agua mala”.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Medusas, corales y anémonas (Cnidaria)</i>. ▪ <i>Medusas peine (Ctenophora)</i>. 	
BILATERIA (con simetría bilateral)	Animales que durante su desarrollo embrionario originan la boca como primera estructura gástrica. Los protostomados incluyen los siguientes taxones:	
	Taxón que engloba a diversos animales <i>vermiformes</i> . Los filos más representativos son:	
	Platyzoa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gusanos planos (Platyhelminthes). Pueden ser librenadadores o parásitos como las planarias (Fig. 21) y las tenias (solitarias). ▪ Rotíferos (Rotifera). Muy abundantes en agua dulce, son animales microscópicos con una corona de cilios.
Animales de formas y hábitos diversos, con una triple cutícula externa que mudan periódicamente; los filos más reconocidos son:		
Ecdysozoa	Nemátodos (Nematoda) Gusanos cilíndricos abundantes en agua y suelo. Aunque la mayoría son de vida libre, muchos son parásitos como la lombriz intestinal (Fig. 22).	
Figura 22. Nemátodos parásitos. A: <i>Trichuris trichura</i> . B: <i>Ascaris sp.</i>		

BILATERIA (con simetría bilateral)	PROTOSTOMIA (protóstomos)	<p>Ecdysozoa</p> <p>Artrópodos (Arthropoda). El filo con mayor cantidad de especies en la naturaleza, incluye a los animales con exoesqueleto firme y apéndices (extremidades) articulados (Fig. 23), entre ellos los crustáceos, insectos y arácnidos.</p>		<p>Figura 23. Artrópodos comunes. A: Crustáceos. B: Insectos. C: Arácnidos.</p>
	Lophotrochozoa	<p>El grupo con más filios entre los protostomados siendo animales muy diversos, en ocasiones con poco parentesco entre sí. Los filios más comunes son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anélidos (Annelida). Gusanos segmentados como la lombriz de tierra y sanguijuelas (Fig. 24). ▪ Moluscos (Mollusca). Invertebrados diversos, de cuerpo blando y musculoso (Fig. 24), frecuentemente presentan conchas o caparazones. Son ejemplos las babosas, caracoles, pulpos y ostras. 		<p>Figura 24. A: Lombriz de tierra, un anélido común. B: Caracol de jardín, un molusco pulmonado.</p>
	DEUTEROSTOMIA (deuteróstomos)	<p>Es un grupo de animales que durante su desarrollo embrionario originan el ano como primera estructura gástrica. Se consideran más complejos, siendo los filios más representativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equinodermos (Echinodermata). Animales estrictamente marinos de piel coriácea y con una especie de pseudo-esqueleto que pueden presentar simetría bilateral o pentaradiada. Son ejemplos las estrellas, erizos y pepinos de mar (Fig. 25). 		<p>Figura 25. Algunos equinodermos de El Salvador. A: Pepino de mar (<i>Holoturia</i>). B: Erizo de mar (<i>Astropyga</i>). C: Estrella marina (<i>Luidia</i>).</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cordados (Chordata). Animales que en alguna etapa de su vida presentan una espina dorsal o <i>notocordio</i> con un cordón nervioso central, y aberturas faríngeas. Dentro de este grupo se encuentran los vertebrados como los peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Fig. 26). 		<p>Figura 26. Los vertebrados pertenecen al filo chordata.</p>

RESUMEN



GLOSARIO

Árbol filogenético. Diagrama que representa hipótesis de relaciones evolutivas entre grupos de organismos.

Clado. Grupo que consiste de una especie (existente o extinta) y todos sus descendientes. En sistemática es cada rama de un árbol filogenético. Constituyen las únicas unidades válidas de clasificación cladística.

Cladograma. Árbol filogenético de estructura variable que muestra relaciones entre grupos de seres vivos, organizados en clados.

Edáfico. Relacionado o perteneciente al suelo.

Fijismo/Fijista. Antigua doctrina que sostenía que las especies biológicas han permanecen inmutables desde su creación y seguirán igualmente siendo invariables.

Genealógico. Relativo a la genealogía, el estudio y seguimiento de la ascendencia y descendencia de un individuo o grupo familiar.

Morfológico. Perteneciente o relativo a la estructura y reproducción de un organismo o sistema. El estudio de estas características se llama **morfología**.

Taxón. Grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre propio en latín, una descripción, y un tipo.

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Barraza, J. (2008). *Revisión sobre algunos taxa de macroinvertebrados acuáticos en El Salvador*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN). Extraído en julio de 2011, de www.marn.gob.sv/

Columbia University (2007). *The plant Kingdom*. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/GS5w2>

Contreras-Ramos, A. e I. Goyenechea (2007). *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/AFXeo>

Curtis, H., S. Barnes, A. Schnek y G. Flores (2006). *Invitación a la biología*. 6ª Edición en español. Buenos

Aires: Médica Panamericana. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/IGIGI>

Curtis, H., S. Barnes, A. Schnek y A. Massarini (2008). *Biología*. 7ª Edición en español. Buenos Aires: Médica panamericana. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/Gn8Ug>

De la Cruz, M. (s.f.). *La clasificación de los seres vivos – Sistemática*. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/ARZaa>

Kornfeld, A. (2007). *Natural perspective - The Plant Kingdom (Plantae)*. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/csRSO>

Liang, B. (s.f.). *The fungi kingdom: Common Characteristics of Fungi*. Extraído en agosto de 2011, de <http://goo.gl/h0rTx>

Museo de Paleontología de la Universidad de California (UCMP) y National Center for Science Education. (s.f.). *El árbol genealógico*. Extraído en agosto de 2011, de <http://goo.gl/H4bom>

Neil A. Campbell, Jane B. Reece. (2007). *Biología*. 7ª Edición en español. Madrid: Panamericana. Extraído en agosto de 2011, de <http://goo.gl/ZLdZi>

Piña, C. *Microbiología - diversidad microbiana: Tipos de microorganismos*. Extraído en agosto de 2011, de <http://goo.gl/FJ1Lr>

recursos.cnice.mec.es (s.f.) *Diccionario biológico*. Extraído en agosto de 2011 de <http://goo.gl/YeEQW>

Serrano, F. y M. Pozo. (s.f.). *Clase sauropsida*. Extraído en agosto de 2011, de <http://goo.gl/SOgyP>

Windows to universe (1998) *Kingdom animalia*. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/Sfeci>

Woese, C.; O. Kandler & M. Wheelis (1990). *Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya*. Proc. Nati. Acad. Sci. USA. Vol.87, p. 4576-4579. Extraído en julio de 2011, de <http://goo.gl/XyqIH>

ACTIVIDAD EVALUADORA

- ¿Cuál de estas ciencias biológicas NO se relaciona directamente con la sistemática?
 - Biología evolutiva
 - Genética
 - Zoología
 - Ecología
- ¿Qué ciencia se encarga de nombrar a las especies?
 - Taxonomía
 - Sistemática
 - Filogenia
 - Cladística
- ¿Cuál de las siguientes NO es una característica exclusiva de las especies biológicas?
 - Reproductivamente aisladas de otros grupos.
 - Presentar anatomía similar.
 - Estar compuesta por grupos de poblaciones.
 - Constituir una unidad evolutiva.
- ¿Qué categorías taxonómicas se emplean para formar un nombre científico?

- ¿Cuál de los siguientes nombres científicos está escrito correctamente?
 - basiliscus vittatus*
 - Mangifera indica
 - Solanum tuberosum*
 - iguana Iguana*
- Analice la siguiente representación de árbol filogenético y responda ¿cuál pareja de organismos se encuentra más distante evolutivamente?

		D	a) B y C
	B	E	b) F y G
A			c) A y D
	C	F	d) E y B
		G	
- ¿Cuáles son los tres dominios en que se divide la vida?

- Ordene las siguientes categorías taxonómicas de la más inclusiva a la más específica:
Reino, phylum, dominio, especie, orden, género, familia, clase _____
- ¿Qué tipo de organismos se incluyen en el tradicional reino protista?
 - Eucariotas unicelulares y multicelulares que no forman tejidos.
 - Eucariotas de nutrición variada que forman tejidos.
 - Procariotas parecidos a plantas y animales, pero que no tejidos.
 - Procariotas de nutrición variada que forman tejidos.
- ¿Cuáles de estos elementos se utilizan para definir estrictamente al reino Plantae?
 - Presencia de pared celular y almacenar glucógeno.
 - Autótrofos fotosintéticos y células con paredes de celulosa.
 - Organismos sésiles que forman hifas.
 - Heterótrofos con células de tipo vegetal.
- ¿Qué criterios anatómicos y fisiológicos se emplean para clasificar animales?
 - Simetría y desarrollo embrionario.
 - Capas de tejido y morfología celular.
 - Sustancia de reserva y paredes celulares.
 - Presencia de vertebras y células nerviosas.

Lección 4.

METABOLISMO CELULAR

CONTENIDOS

1. La Fotosíntesis
 - a) Reacciones lumínicas.
 - b) Ciclo de Calvin.
2. Plantas C_3 y C_4 .
3. Respiración Celular.
4. La Fermentación.
5. Respiración Anaeróbica.

INDICADORES DE LOGRO

- Comprende el proceso de la fotosíntesis.
- Analiza los ciclos de Calvin y Krebs de manera lógica.
- Describe correctamente la Respiración Aeróbica.
- Razona sobre la importancia de la fermentación.

PALABRAS CLAVE

Fotosíntesis, reacciones lumínicas, ciclo de Calvin, Cadena Transportadora de Electrones, fotosistemas, fotofosforilación, plantas C_3 y C_4 , Fotorrespiración, respiración aeróbica, glucólisis, ciclo de Krebs, fermentación, respiración anaeróbica.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

Conocer los procesos metabólicos significa adentrarse en el funcionamiento de los sistemas vivos; de esta forma, se adquieren elementos indispensables para la comprensión de diversos campos biológicos y de interés social, como genética, ecología, salud, medio ambiente y conservación biológica. Asimismo, los productos metabólicos no sólo son importantes para la circulación energética de los ecosistemas, sino que muchos son de amplia importancia industrial.

DESCRIPCIÓN

Se define en qué consiste el metabolismo y se muestran algunas de las vías metabólicas más importantes para los seres vivos. Se detalla el proceso fotosintético, tanto en su fase clara como oscura, así como la respiración celular aerobia y anaerobia. En todos los procesos se expone la importancia de los productos finales y de residuo, tanto para los ecosistemas como para las actividades humanas.

El **metabolismo** es el conjunto de procesos fisicoquímicos que ocurren dentro de los seres vivos, y que inevitablemente utilizan o producen energía. Estos procesos se agrupan en vías o rutas metabólicas, consistiendo de una serie de reacciones consecutivas, catalizadas por enzimas, que genera uno o varios productos finales, a través de metabolitos intermedios.

Las *rutas catabólicas* o *catabolismo* liberan energía al romper moléculas complejas y producir otras más simples (degradación). Un ejemplo es la *respiración celular*, en la cual, la *glucosa* ($C_6H_{12}O_6$) y otros compuestos orgánicos son degradados en la presencia de oxígeno, a dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Las *rutas anabólicas*, o *anabolismo*, por el contrario, consumen energía para sintetizar moléculas complejas de otras sencillas. Un ejemplo es la síntesis de proteínas. Estos procesos se conocen también como *rutas biosintéticas*.

Anabolismo y catabolismo se complementan: la energía liberada de las reacciones catabólicas es usada para almacenaje o suplir energía a las reacciones anabólicas. A continuación se explica un proceso anabólico, como es la fotosíntesis.



Figura 1. La fotosíntesis requiere de agua, CO_2 y luz solar.

LA FOTOSÍNTESIS

La captura de energía proveniente del exterior es un proceso fundamental para sustentar la vida en la Tierra, siendo la luz solar, la principal fuente energética que recibe el planeta. Es así como las

plantas, algas y ciertas bacterias desarrollaron un mecanismo que les permite utilizarla para sintetizar moléculas altamente energéticas, como el **Adenosín Trifosfato** (ATP) y glucosa (que sirve de alimento y estructura), a partir de CO_2 y H_2O . A este proceso de aprovechamiento de la energía solar se le llama *fotosíntesis* (Fig. 1); el cual, genera como subproductos oxígeno molecular (O_2) gaseoso y H_2O .

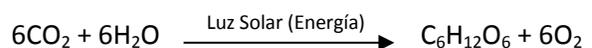
El rol que efectúan los organismos *fotosintéticos* es importante para sustentar todas las *redes tróficas* (circulación de energía) del planeta, en las cuales está incluido el ser humano.

Con la excepción de procariotas, la fotosíntesis se efectúa en los *cloroplastos*. Como su nombre lo indica, estos organelos contienen la *clorofila*, un pigmento color verde con la capacidad de captar energía lumínica, que es usada luego para la *biosíntesis*. El arreglo distintivo de la membrana interna del cloroplasto es necesario para captar la mayor cantidad de luz solar (Fig. 2).



Figura 2. Micrografía electrónica de cloroplastos; se observan sus tilacoides al interior de color café.

La ecuación química a continuación, muestra la entrada y salida neta de la fotosíntesis:



La fotosíntesis es un proceso *redox* (Lección 12, Química). Las moléculas de agua se rompen y los electrones, junto con los iones H^+ , se remueven (oxidación); el oxígeno restante, se libera luego

como gas. Los electrones son transferidos al CO_2 (reducción), produciendo carbohidratos.

El proceso completo de la fotosíntesis consiste en dos grupos de reacciones relacionadas: a) *reacciones lumínicas (foto)* y b) el *Ciclo de Calvin (síntesis)*. Las reacciones lumínicas se encargan de transformar la energía lumínica en energía química, produciendo O_2 . El ciclo de Calvin, consiste en la síntesis de moléculas de carbohidratos a partir de la molécula de CO_2 utilizando la energía producida en las reacciones lumínicas (Fig. 3).

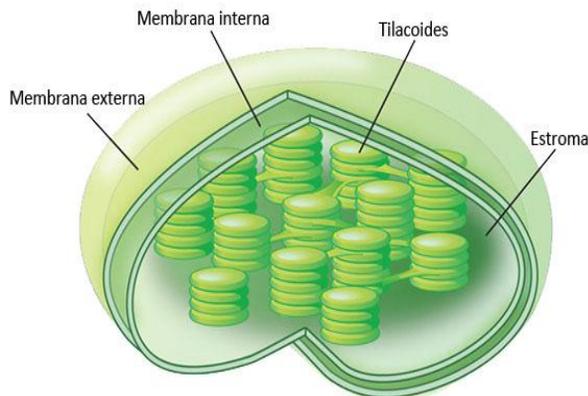


Figura 3. Esquema de un cloroplasto, donde se observa el estroma y los tilacoides, lugar de la membrana interna donde ocurren las reacciones lumínicas.

a) Reacciones lumínicas

Estas ocurren en la membrana de los *tilacoides* dentro de cada cloroplasto. Aquí se encuentran los *fotosistemas* que son como “antenas” de clorofila y otros pigmentos que absorben la luz y donde se ubica un aceptor primario que recibe los electrones excitados provenientes del centro de reacción de la clorofila.

Hay dos *fotosistemas*: I y II (Fig. 4), en ellos ocurre una serie de reacciones electroquímicas en donde el protagonista es el electrón excitado y los pigmentos sensibles a la luz. Dentro de los fotosistemas, los *fotones* (partículas energéticas de luz) captados recorren las moléculas de los pigmentos en una especie de “saltos”, transfiriendo energía a los electrones de clorofila.

Estos electrones pasan a las *cadenas transportadoras de electrones*, que consisten en una serie de moléculas transportadoras de electrones dispuestas en la membrana del tilacoide, haciendo una especie de caída en cascada energética de los electrones activados. Los electrones van desde el fotosistema II al fotosistema I en el caso del flujo de electrones es no cíclico y su energía culmina en la formación del ATP y NADP. El fotosistema II recupera electrones por ruptura del agua, eliminando O_2 gaseoso como un producto secundario.

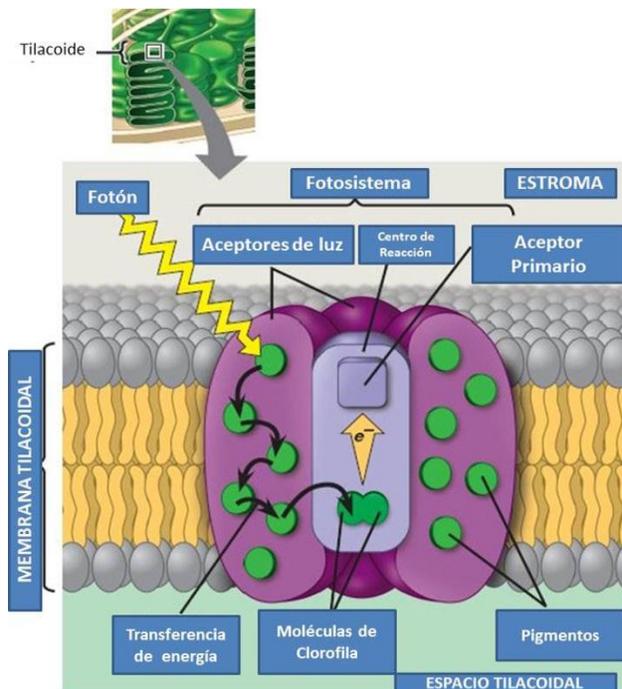


Figura 4. Modelo de un fotosistema, mostrando los componentes químicos que involucrados en las reacciones lumínicas.

¿Fotosistemas en onda?

Los Fotosistemas I y II son nombrados así por el orden en que fueron descubiertos. En el Fotosistema I, la molécula de *clorofila a* en el centro de reacción se denomina *P700* debido a que la luz que mejor absorbe es la de longitud de onda de 700 nanómetros (nm); a la clorofila del fotosistema II se le denomina *P680* porque la luz que mejor absorbe es la de longitud de onda de 680 nm. Varían en la absorción de luz por su asociación con diferentes proteínas en la membrana del tilacoide, ya que son moléculas prácticamente idénticas.



Los fotosistemas y las cadenas transportadoras se distribuyen en el espacio de la membrana del tilacoide y bombean H^+ desde la parte interna del tilacoide (estroma), esto genera un gradiente de concentración de H^+ mayor afuera del tilacoide, lo que crea un flujo y reflujo de iones por diferencia de cargas eléctricas entre los dos espacios. Este gradiente contiene energía, la cual se usa para impulsar la síntesis del ATP por medio de la enzima ATP sintetasa incrustada en la membrana tilacoidal (Fig. 5) y proporciona un canal para que los H^+ puedan pasar al estroma, al mismo tiempo, optimiza esa energía para fosforilar el *Adenosin Difosfato* (ADP), produciendo ATP. A esta producción de ATP por quimiósmosis se le llama *fotofosforilación* porque el ingreso inicial de energía es energía lumínica.

En el estroma, los iones H^+ y los electrones que viajan en la cadena transportadora se encuentran con el $NADP^+$, el cual, recibe dos electrones y un H^+ y forma el NADPH que, junto con el ATP, son utilizadas en la siguiente fase a saber: el ciclo de Calvin (Fig. 6).

Un “llorón” y una “menta” son la clave

En la Grecia antigua se creía que el suelo suplía todos los requerimientos de una planta y esta idea fue aceptada como un hecho por casi 2 000 años; pero los experimentos hechos por tres investigadores en diferentes tiempos mostraron lo errónea que era esa idea. El primer experimento realizado por el químico belga Jan Baptista van Helmont en el siglo XVII quien sembró en una maceta un “sauce llorón” (*Salix humboldtiana*) al que había pesado junto con la tierra de la maceta y al cabo de cinco años descubrió que el árbol había ganado 75 kilos, mientras que había perdido solamente 60 gramos de tierra. Más tarde en 1770 el químico inglés Joseph Priestley, usando una planta de menta (*Mentha piperita*), descubrió que reponía el aire u oxígeno que consumía una vela encerrada en un recipiente de vidrio, pero fue el médico holandés Jan Ingenhousz en esa misma década quien comprendió el rol de la luz en la producción de oxígeno en las plantas (Fig. i).



Figura i. Un sauce en maceta y una menta en una campana de vidrio con un ratón que sirve como indicador de la presencia de oxígeno.

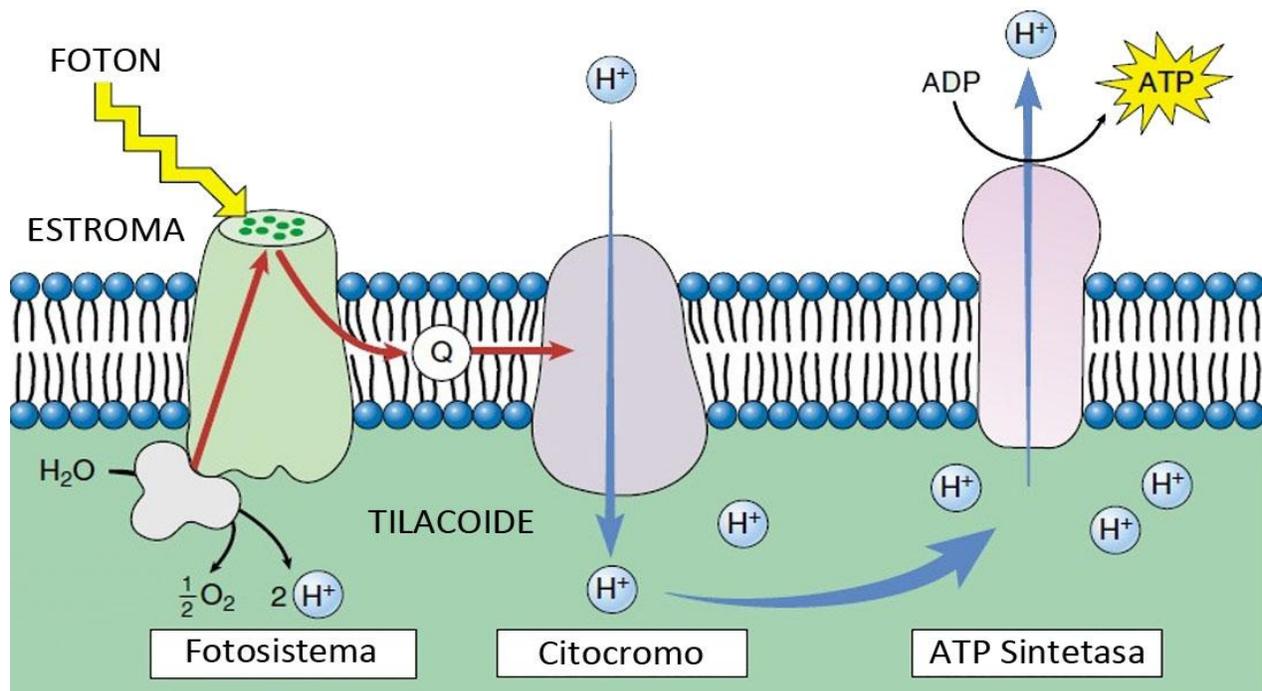


Figura 5. Esquema teórico mostrando la quimiósmosis que se produce por la interrelación entre el fotosistema, el complejo enzimático del Citocromo y el paso de los iones H^+ a través de la ATP sintetasa para realizar la fotofosforilación.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 1 hora)

ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA

Materiales: un vaso de precipitado o recipiente de vidrio, un embudo transparente, un tubo de ensayo, una ramita pequeña de planta, agua y una fuente de luz.

Indíqueles a sus estudiantes que:

1. Viertan agua dentro del vaso de precipitado o recipiente sin llenarlo.
2. Coloquen la ramita de la planta en el embudo y luego introduzcan la parte angosta del embudo en un tubo de ensayo lleno de agua.
3. Inviertan el tubo de ensayo junto con el embudo sumergiéndolo en el vaso de precipitado con cuidado que no quede aire atrapado en el embudo.
4. colocar el sistema en la fuente de luz, observar al cabo de un tiempo como burbujas de aire empiezan a desplazar el agua dentro del tubo de ensayo.

Se puede completar el experimento usando otras variables como: la intensidad de la luz, los colores de la luz o diversas especies de plantas.

Para analizar: ¿Qué tipo de gas se encuentra dentro del tubo? ¿Cómo se puede cuantificar el volumen de gas obtenido? ¿Cómo se puede saber el efecto de la luz en el fenómeno?



b) Ciclo de Calvin

Ocurre en el estroma, en el interior del cloroplasto. Este proceso permite la conversión del CO₂ en carbohidratos; en otras palabras, la fijación del carbono para producir el azúcar. Utilizando el CO₂ atmosférico, electrones de alta energía y H⁺ del NADPH, junto con la energía del ATP, las enzimas de este ciclo construyen *gliceraldehído 3-fosfato* (G3P) que es compuesto rico en energía química. A su vez el G3P es usado para construir glucosa y otras moléculas orgánicas (Fig. 6).

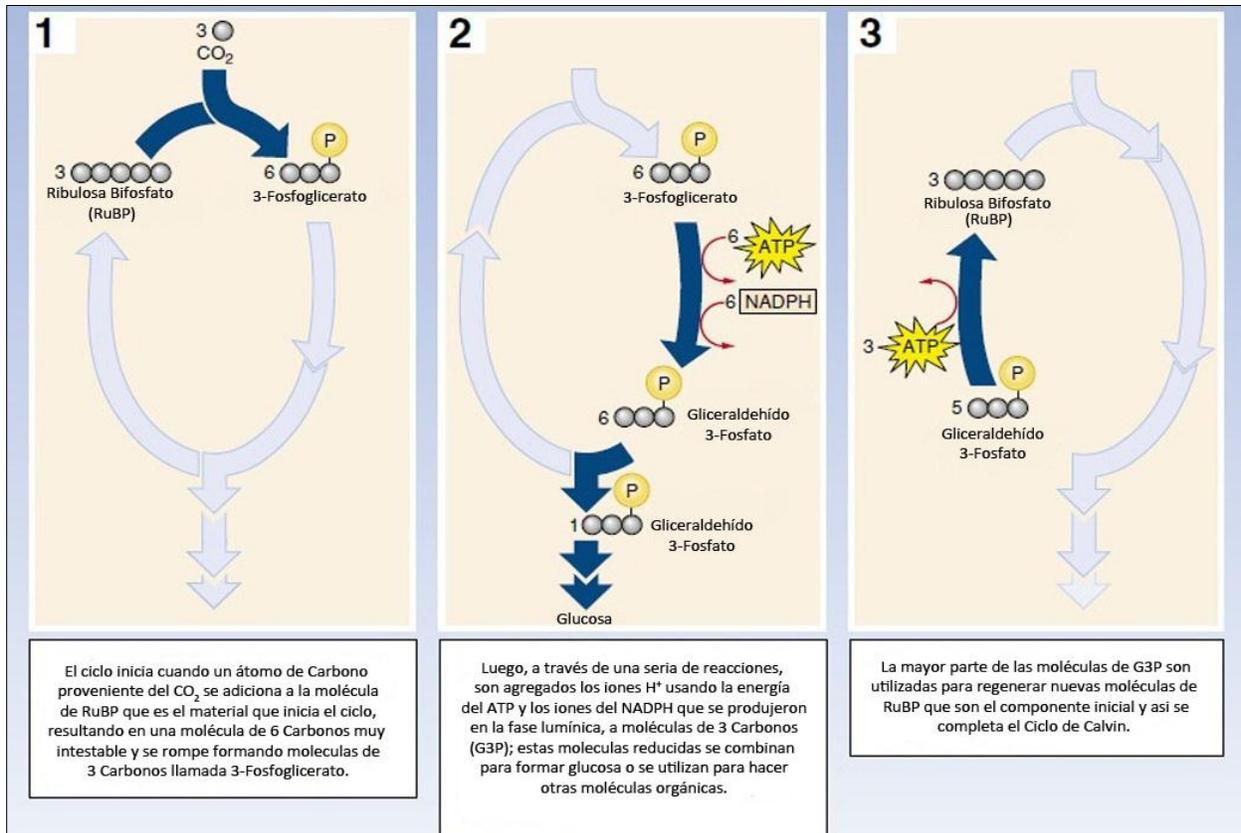


Figura 6. Esquema del ciclo de Calvin dividido en tres etapas. Las esferas grises representan los átomos de carbono de las moléculas que se forman en cada reacción, (número de moléculas a la izquierda). Las esferas amarillas representan al fósforo.

Plantas C₃, C₄ y CAM

Las plantas C₃, son llamadas así porque el primer compuesto orgánico producido en el ciclo de Calvin es el G3P; son las más comunes y las más distribuidas; por ejemplo, la soya (*Glycine max*), el arroz (*Oryza sativa*, Fig. 7) y el trigo (*Triticum sp.*) que son importantes en la agricultura.

La desventaja es que en climas cálidos y secos, cierran sus estomas impidiendo el paso de CO₂ al interior de los cloroplastos, acortando su actividad fotosintética y obligando a tomar O₂ para el ciclo de Calvin sin producir moléculas orgánicas; a esta fijación del O₂ en lugar del CO₂ se le llama *fotorrespiración*.



Figura 7. Granos de arroz (*Oryza sativa*), una planta C₃.

Las plantas C₄ son aquellas que poseen una enzima llamada *Fosfoenolpiruvato carboxilasa* (PEPC), la cual fija el carbono en un compuesto orgánico de 4 carbonos (oxaloacetato) en vez del G3P. Estas plantas cierran sus estomas en climas cálidos y secos para conservar el agua, no obstante sigue fabricando azúcares por medio de la fotosíntesis gracias a esta enzima que poseen; los compuestos de 4 carbonos donan CO₂ al ciclo de Calvin de las células vecinas para que continúe la producción de azúcares. Entre las plantas C₄ importantes están el maíz (*Zea mays*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Fig. 8).

Las plantas CAM toman su nombre de la abreviatura inglesa para "*Crassulacean Acid*

Metabolism", que significa *Metabolismo Ácido de las Crasuláceas*; esta adaptación fue descubierta en las plantas de la familia Crasulaceae y consiste en conservar el agua al abrir sus estomas para incorporar el CO₂ solo por la noche.



Figura 8. Flor del maíz, una típica planta del tipo C₄.

Este CO₂ al entrar, se fija como compuesto de cuatro carbonos de igual manera que las plantas C₄. Este compuesto conserva el CO₂ y lo libera al ciclo de Calvin durante el día, esto mantiene la fotosíntesis funcionando aun cuando los estomas estén cerrados.

La mayor parte de estas, están adaptadas a climas muy secos; son plantas suculentas, es decir, con tejidos muy jugosos como las cactáceas y bromelias. Ejemplos de estas se pueden mencionar la sábila (*Aloe vera*), maguey (*Agave americana*) y la piña (*Ananas comosus*) (Fig. 9).



Figura 9. Fruto de la planta de piña (*Ananas comosus*) con un corte transversal; esta planta de la familia de las bromelias, es un ejemplo de planta CAM importante en el campo de la industria.

ACTIVIDAD 2. (Tiempo: 30 minutos)

PLANTAS C₃, C₄ Y CAM

Materiales: cuaderno o libreta de apuntes, lápiz, lentes de aumento o lupa.

Indique a sus estudiantes que:

1. Traigan del jardín de su casa o de los alrededores de su comunidad algunas hojas de plantas presentes ahí, e investiguen a qué categoría pertenecen.
2. Hagan grupos de cuatro a cinco miembros y presenten las muestras entre ellos y discutan qué clase de plantas son las que han traído.
3. En asamblea, todos los grupos presentarán sus muestras y digan a qué clase de plantas pertenece cada una.

Puede considerar algunas preguntas indagatorias para el grupo de clase, tales como: *¿Qué importancia tienen las plantas C₄ y CAM para los países cálidos como El Salvador? ¿Qué sucederá con las plantas C₃ en un futuro, al aumentar cada vez más el calentamiento global? ¿Podría tener alguna utilidad el poseer plantas CAM dentro de nuestras casas?*

RESPIRACIÓN CELULAR

Es el proceso metabólico realizado por los seres vivos, en el cual, degradan moléculas orgánicas complejas transformándolas a moléculas orgánicas sencillas con el objetivo de liberar su energía química potencial (Fig. 10). Esta energía se almacena en moléculas de ATP como energía *biológicamente utilizable*. La respiración es un proceso *catabólico*, que puede considerarse opuesto a la fotosíntesis; pero sin esta última, no sería posible la respiración celular.

Ahora que se han descrito los pasos de la fotosíntesis, se describirán los pasos de la respiración celular.



Figura 10. Un halcón peregrino (*Falco peregrinus*), especie migratoria de El Salvador, junto a su presa, una paloma común (*Columba livia*). Los animales inician su respiración celular mediante obtención de energía del medio.

La molécula de ATP es de suma importancia, ya que por sus propiedades químicas posee energía

en su estado libre, de ahí que sea usada en los procesos metabólicos vitales para la célula, por esta razón se le conoce como la “moneda energética” de la célula (Fig. 11).

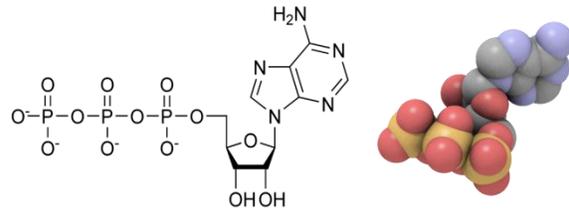


Figura 11. Modelos moleculares del compuesto adenosin-trifosfato (ATP). Los grupos fosfato de la molécula son los responsables del alto contenido energético de la molécula.

Dentro de las procariontas no hay estructuras especializadas para realizar la reacción catabólica de la respiración celular, así que esta sucede en el citoplasma; en cambio, en células eucariotas, existe el organelo especializado que es la *mitocondria* en donde ocurren estas complejas reacciones químicas (Fig. 12).

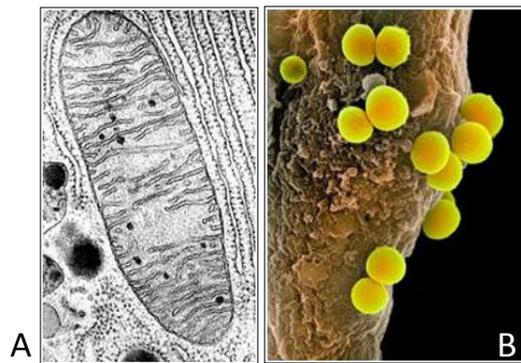


Figura 12. A: mitocondria, organelo donde los eucariotas realizan la respiración celular. B: bacterias *Staphylococcus aureus* causantes de infecciones graves como neumonía y meningitis, sus células respiran sin mitocondrias.

Las células utilizan varios tipos de moléculas orgánicas como combustible para su respiración, estos pueden ser lípidos, carbohidratos y proteínas; sin embargo, por ser una molécula simple y de alta disponibilidad, la glucosa es la molécula que se utiliza comúnmente.

Las reacciones de respiración son *redox*, es decir, mientras un compuesto químico gana electrones (oxidante) al mismo tiempo hay otro que los pierde (reductor), esto permite el flujo de energía intracelular que lo regulan una serie de complejos enzimáticos específicos.

Respiración Aeróbica

Es la que utiliza al oxígeno molecular (O₂) como el último aceptor de electrones desprendidos de los compuestos químicos oxidados. Es considerado el más complejo y el más eficiente sistema de producción de energía química; todos aquellos

organismos que emplean esta respiración celular como su principal método catabólico se les llaman *aerobios* (Fig. 13).

Toman el O₂ del ambiente y devuelven como subproductos el CO₂ y H₂O proceso donde están incluidos los seres humanos. Esta respiración se puede resumir en la siguiente ecuación general:



La respiración aeróbica se estudia en cuatro etapas principales, las cuales se dan en distintos sitios intracelulares: la *glucólisis* (producida en el Citoplasma); la *decarboxilación del piruvato* (en la matriz mitocondrial); el *ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs* (en la matriz mitocondrial) y *fosforilación oxidativa o cadena transportadora de electrones* (en la membrana interna de la mitocondria).

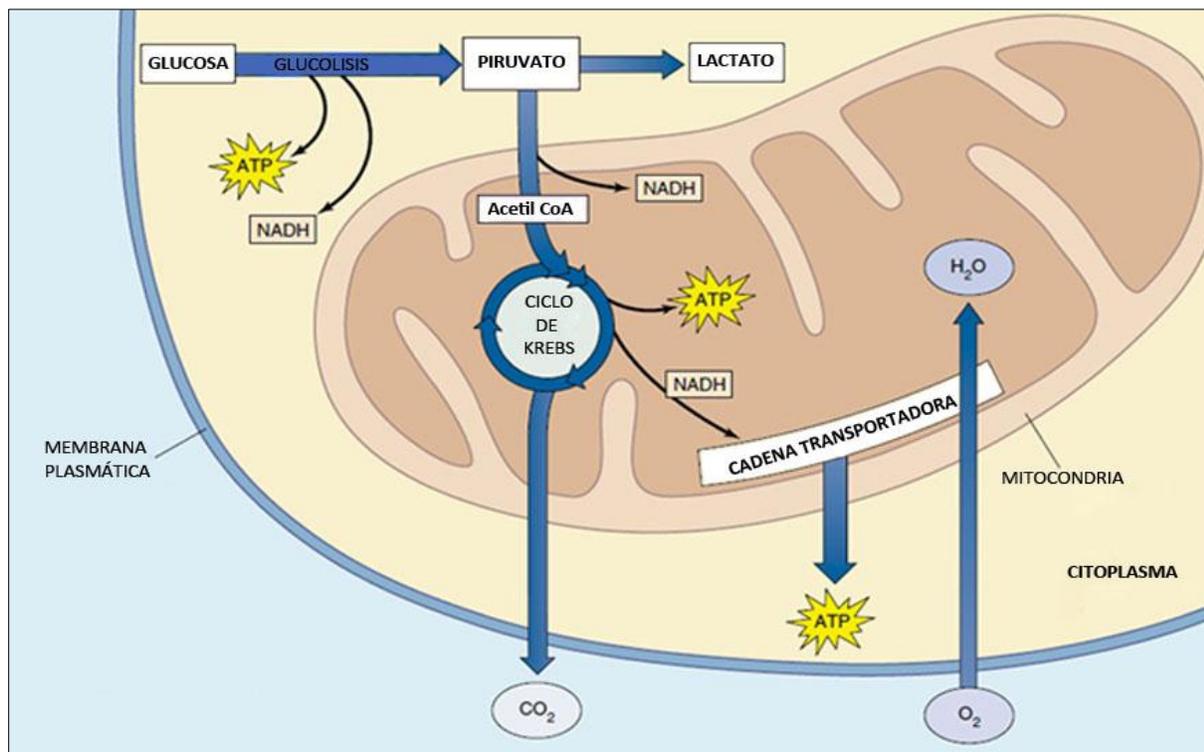


Figura 13. Esquema teórico representando las etapas principales de la respiración celular aerobia, así como los sitios de la célula y la mitocondria, donde se llevan a cabo cada uno de estos.

La *glucólisis* o “rompimiento de la glucosa” es la obtención de la energía a través de esta molécula. Se considera como un proceso universal, ya que está presente prácticamente en todas las células vivas desde las bacterias, levaduras, células animales y vegetales.

Debido a lo anterior, se piensa que la glucólisis es un proceso metabólico muy antiguo. En efecto, lo que hoy se denomina como glucólisis, puede ser muy similar al proceso que las primeras células sobre la Tierra usaron para extraer la energía de su ambiente (Fig. 14).

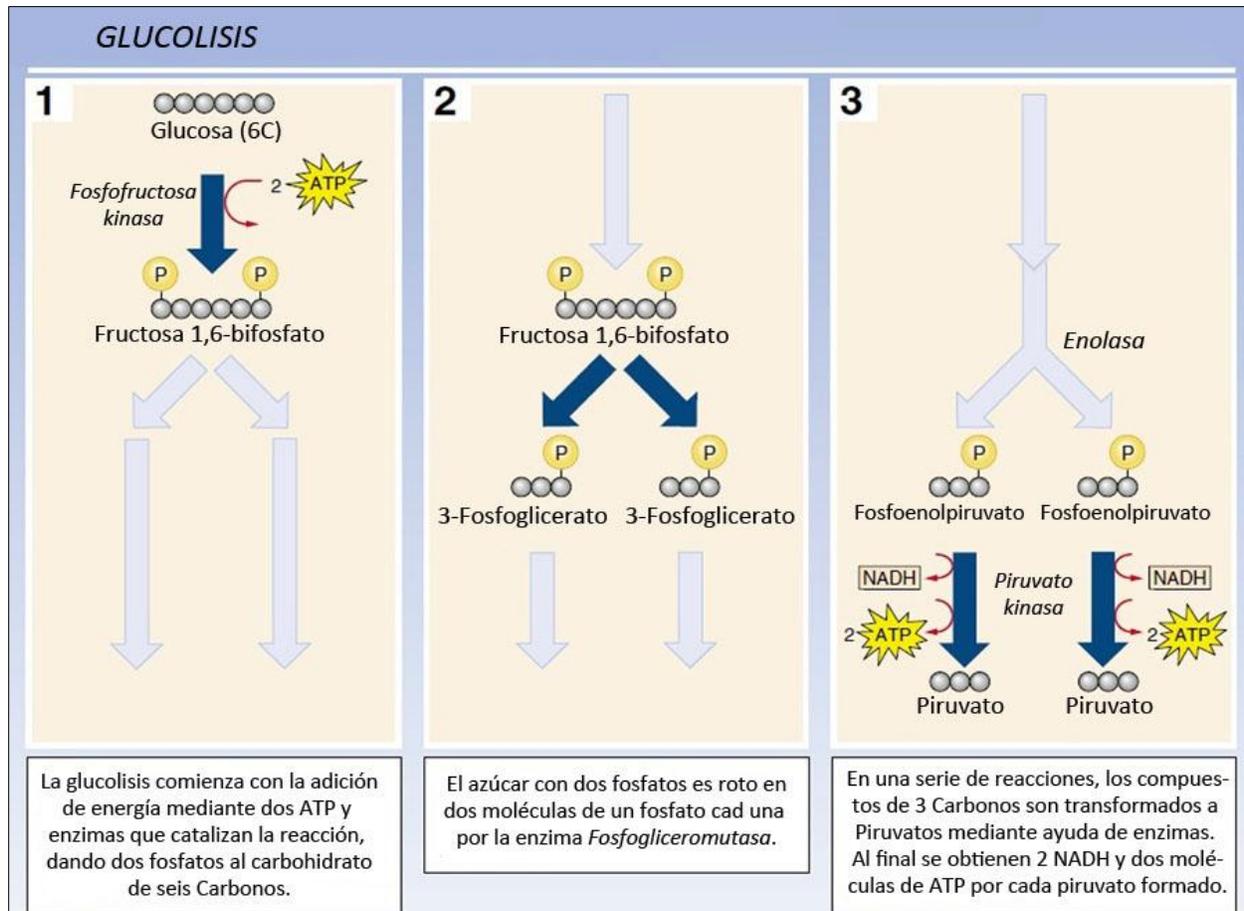


Figura 14. Esquema de la glucólisis mostrando los pasos más importantes para llegar al rompimiento de la glucosa catalizado por diversas enzimas en el citoplasma, y la cosecha de moléculas ricas en energía química: el NADH y el ATP.

Al final de la glucólisis se forma el ácido pirúvico, éste se difunde desde el citoplasma hasta la mitocondria. Éste *no entra como tal* al ciclo de *Krebs*, sino que primero lleva un “retoque” molecular. De manera simultánea el ácido pirúvico se oxida a la vez que una molécula de NAD^+ se reduce a NADH; se le quita un átomo de carbono y se libera CO_2 y un compuesto llamado *coenzima A*, derivado de la vitamina B, se une al fragmento de dos carbonos que queda del ácido pirúvico para formar una molécula llamada *Acetil coenzima A* (abreviada como *Acetil CoA*). Este “corte de cabello” y “acondicionado” del ácido

pirúvico crea una molécula combustible de alta energía que *sí* entra en el ciclo de *Krebs* (Fig. 15).

La *cadena transportadora de electrones* es la etapa final de la respiración aeróbica que consiste en una serie de reacciones *redox*, facilitada por diversos complejos de enzimas que forman una especie de flujo de electrones; están situadas en la membrana interior de la mitocondria, junto con ellas esta otra clase de enzima llamada *ATP sintetasa*.

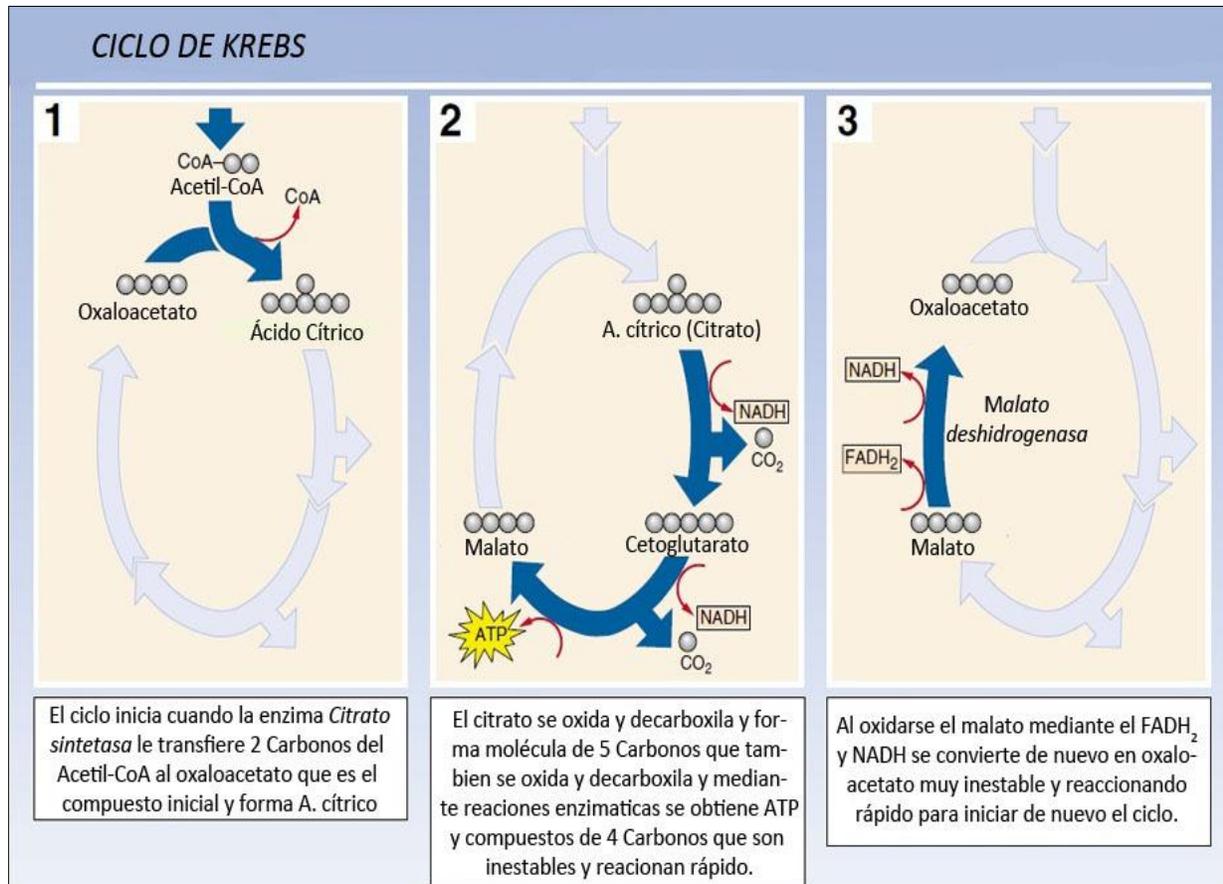


Figura 15. Esquema del *ciclo de Krebs*, mostrando los pasos principales desde la entrada del Acetil-CoA que viene del piruvato producido en la glucólisis y sus transformaciones por medio de reacciones enzimáticas, hasta volver al compuesto con el que se inició el ciclo, obteniendo 3 NADH y ATP en el interior de la mitocondria.

Por la ubicación espacial y de sus estructuras moleculares, producen un fenómeno que se conoce como *quimiósmosis* producido a partir de la llegada de la molécula de NADH proveniente del ciclo de Krebs, que se oxida a NAD^+ e inicia las reacciones redox en los complejos moleculares, dicho proceso es crucial en la formación de nuevos ATP.

Los complejos enzimáticos hacen circular electrones a través de ellos y al mismo tiempo transportan activamente iones H^+ de adentro hacia fuera de la matriz mitocondrial aprovechando la energía liberada por el paso de los electrones; esto crea una concentración más alta de H^+ afuera de la membrana que en su interior, creando energía potencial y un gradiente eléctrico por la diferencia de cargas de un

espacio al otro. Este gradiente de cargas eléctricas inicia el flujo al interior de la membrana, pasando únicamente por un canal; dicho canal de iones es la ATP sintetasa. La ATP sintetasa, da paso a los iones H^+ y los acopla a la molécula adenosin difosfato (ATP) junto con iones fosfato, creando así moléculas de ATP (Fig. 16)

Aunque la energía total que se produce en estas vías metabólicas se estima en 38 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa, este valor es imposible de alcanzar, debido a la energía requerida para transportar las sustancias utilizadas y también por los fallos eventuales que pudieran darse en los procesos; si bien es cierto no es un proceso perfecto, pero si es el más eficiente en la célula (Fig. 17).

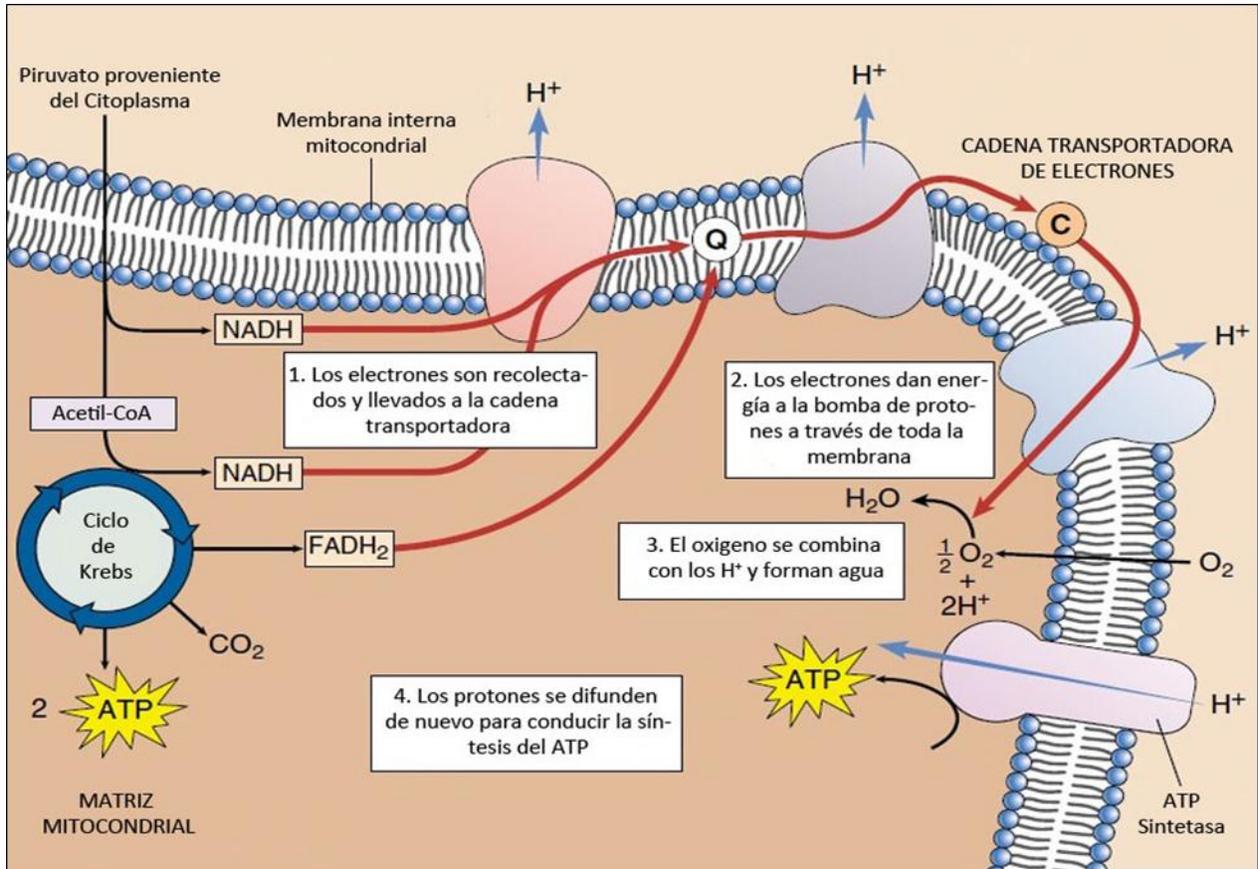


Figura 16. Esquema que explica la función de los complejos enzimáticos que intervienen en la cadena transportadora de electrones y el gradiente eléctrico provocado por las diferentes cargas generadas por el flujo de protones hacia fuera de la matriz mitocondrial.

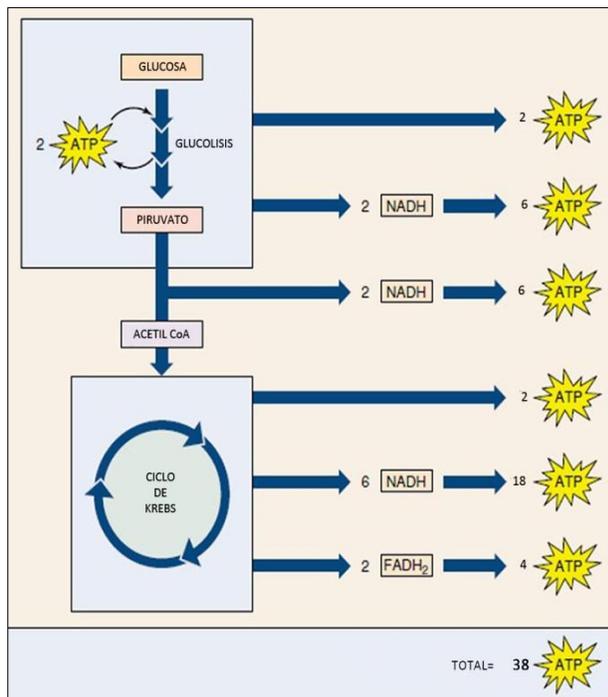


Figura 17. Esquema con la sumatoria total de los ATP producidos teóricamente en la respiración celular.

LA FERMENTACIÓN

Es el proceso mediante el cual se degrada la glucosa para obtener ATP en ausencia de O_2 como el aceptor final de electrones.

La célula utiliza el ácido pirúvico de la glucólisis para formar otras sustancias que si bien están parcialmente oxidadas, ya no son útiles para la célula y se consideran como productos de desecho

Las fermentaciones más comunes son la *alcohólica* y la *láctica*, llamadas así porque sus residuos son alcoholes (como etanol) y ácido láctico, respectivamente.

La fermentación alcohólica es hecha por las levaduras, tal es el caso de *Saccharomyces cerevisiae* (hongo microscópico); en donde una molécula de glucosa se convierte en dos

moléculas de alcohol etílico o etanol; este proceso es aprovechado en la industria para la fabricación de vinos, cerveza y pan (Fig. 18).

La fermentación láctica ocurre en diversas células como los **miocitos** o células musculares en mamíferos incluido el hombre, en donde se puede usar la glucosa o la lactosa (azúcar de la leche) que se transforma a ácido pirúvico y luego se reduce a ácido láctico. En humanos cuando se realiza ejercicio extenuante y las células musculares quedan sin oxígeno, se inicia la fermentación liberando ácido láctico que es lo que produce la fatiga y el dolor muscular. Este tipo de fermentación es utilizado para la fabricación de yogurt y quesos, producidos por *Lactobacillus* o *Streptococcus* (bacterias que viven en la leche).

RESPIRACIÓN ANAERÓBICA.

No debe confundirse con la fermentación. Este tipo de respiración lo realizan sobre todo las *Archeas*, bacterias que viven en ambientes donde no hay oxígeno como en sedimentos, pantanos, subsuelo o fosas volcánicas y utilizan otros compuestos como aceptor de electrones, que son casi siempre minerales o residuos de metabolismo de otros organismos. Es mucho menos eficiente que la respiración aeróbica y

aquellos organismos que la realizan se les denominan *Anaerobios*.

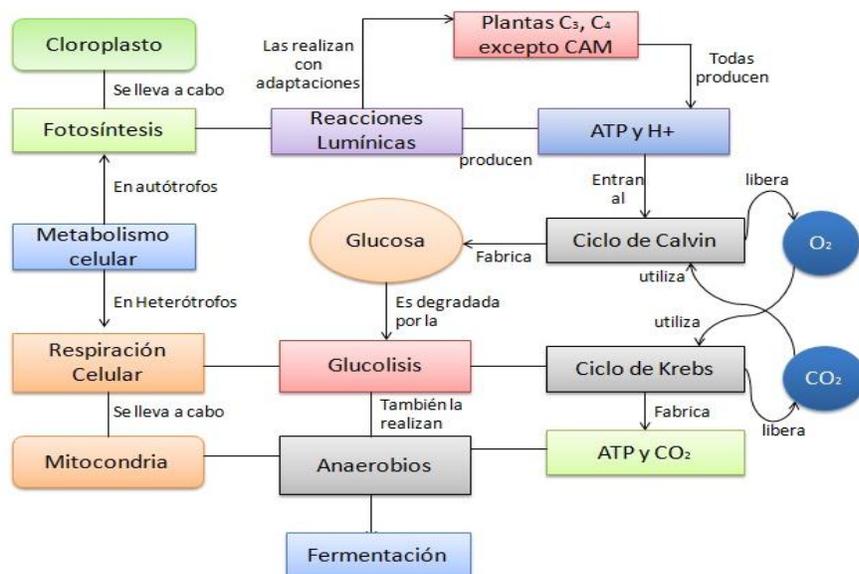


Figura 18. A Y B: Productos básicos y también populares como el pan y la cerveza son elaborados a partir de la fermentación de la glucosa realizada por el hongo *Saccharomyces cerevisiae* (C), conocido como levadura.

Para estas bacterias anaerobias, el oxígeno les resulta tóxico y morirían en presencia de éste. A estos organismos se les conoce también como *anaerobios estrictos* a diferencia de las levaduras que fermentan se les conoce como *anaerobios facultativos*.

A menudo los compuestos que utilizan como aceptores finales de electrones son sulfatos, $(SO_4)^{-2}$, nitratos, NO_3^- y sulfuros, S^{2-} .

RESUMEN



GLOSARIO

Fotosíntesis: Mecanismo de aprovechamiento de la energía solar por parte de las plantas, algas y algunas bacterias para fabricar moléculas que almacenan energía química como el ATP y azúcares como la glucosa, que sirven de alimento y estructura, a partir del dióxido de carbono y agua; como resultado de esta reacción se libera oxígeno molecular gaseoso al ambiente.

Clorofila: Pigmento de color verde presente en los cloroplastos, con la capacidad de captar la energía lumínica para usarla en la transformación a energía química.

Reacciones Lumínicas: Se encargan de transformar la energía lumínica en energía química y producen el O₂. Se llevan a cabo en la membrana interior del cloroplasto llamada tilacoide.

El Ciclo de Calvin: Consiste en el ensamblaje de moléculas de carbohidratos a partir de la molécula de CO₂ utilizando la energía producida y transportada de las reacciones lumínicas.

Cadena Transportadora de Electrones: Consiste en una serie de moléculas transportadoras de electrones dispuestas en la membrana del tilacoide, haciendo una especie de caída en cascada de los electrones activados.

Plantas C₃: Se les llama así porque el primer compuesto orgánico producido en el Ciclo de Calvin es el G3P o Gliceraldehído 3-fosfato, son las plantas más comunes y las más distribuidas.

Plantas C₄: Se les llama así porque poseen una enzima llamada *Fosfoenolpiruvato carboxilasa* (PEPC) que fija el carbono en un compuesto orgánico de cuatro carbonos (oxaloacetato) en lugar del G3P.

Plantas CAM: Sus siglas significan Metabolismo Ácido de las Crasuláceas; la adaptación consiste en conservar el agua al abrir sus estomas e incorporar el CO₂ solo por la noche. Al entrar el CO₂, se fija como compuesto de cuatro carbonos de igual manera que las plantas C₄.

Respiración Celular: Proceso metabólico realizado por los seres vivos en el cual degradan moléculas

orgánicas complejas a moléculas orgánicas sencillas con el objetivo de liberar su energía química potencial, almacenándola en las moléculas de ATP.

Respiración Aeróbica: Es la que utiliza al oxígeno molecular (O₂) como el último receptor de electrones desprendidos de los compuestos químicos oxidados. Es considerado el más complejo y eficiente sistema de producción; los organismos que emplean esta respiración celular como su principal método catabólico se denominan *Aerobios*.

Glucólisis: Es la obtención de la energía a través del rompimiento de la molécula de glucosa. Se considera como un proceso universal, ya que está presente prácticamente en todas las células vivas desde las bacterias, levaduras, células animales y vegetales.

Quimiósmosis: Es una serie de reacciones redox, promovida por diversos complejos de enzimas que forman una especie de flujo de electrones; están situadas en la membrana interior de la mitocondria, junto con ellas ésta otra clase de enzima llamada *ATP sintetasa*.

Fermentación: Proceso mediante el cual se degrada la glucosa para obtener ATP en ausencia de O₂ como el receptor final de electrones.

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte: Campbell, N; L. Mitchell, y J. Reece. (2001). *Biología, conceptos y relaciones*, 3a ed. México: Pearson Educación.

Campbell & Reece. (2005). *Biology*. 7ª Edición. USA: Pearson / Benjamin Cummings.

Experimentos varios: Fotosíntesis. (s.f.). Extraído en septiembre de 2011.de <http://goo.gl/HBJnk>

Open Curricula Community, Curriki. *Teachers Resources*. Extraído en septiembre de 2011. www.curriki.org/

Photosynthesis for kids. (s.f.) Artículos educativos. Extraído en septiembre de 2011. <http://goo.gl/XEd9g>

Raven & Johnson. (2004). *Biology*. 6ª Edición. USA:Pearson Educación.

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. El proceso de la fotosíntesis consume _____ y produce _____.
 - a. Clorofila, H₂O
 - b. H₂O, CO₂
 - c. CO₂, Clorofila
 - d. H₂O, O₂

2. Cuando la luz incide en las moléculas de clorofila, estas pierden electrones, que son finalmente reemplazados por:
 - a. Ruptura del agua
 - b. Degradación de ATP
 - c. Su remoción del NADPH
 - d. Oxidación de la glucosa

3. Elabora un diagrama identificando las dos etapas principales de la fotosíntesis. Señale las principales entradas y salidas en cada proceso, incluyendo los productos de un proceso que sean consumidos por el otro.

4. ¿Cuál de los procesos siguientes produce la mayor cantidad de ATP por molécula de glucosa consumida?
 - a. La fermentación de ácido láctico.
 - b. El ciclo de Krebs.
 - c. El transporte de electrones y quimiosmosis.
 - d. La fermentación alcohólica.

5. Unos fisiólogos del deporte monitorearon a varios atletas para competir en las Olimpiadas ya que querían determinar en qué momento sus músculos funcionaban anaeróbicamente. Esta investigación se pudo llevar a cabo por medio del registro de la acumulación de:
 - a. ATP
 - b. Ácido láctico
 - c. Dióxido de carbono
 - d. Oxígeno

6. Explique en términos utilizados en el proceso de la respiración celular, por qué necesitamos oxígeno y por qué exhalamos dióxido de carbono.

Lección 5. PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA VEGETAL

CONTENIDOS

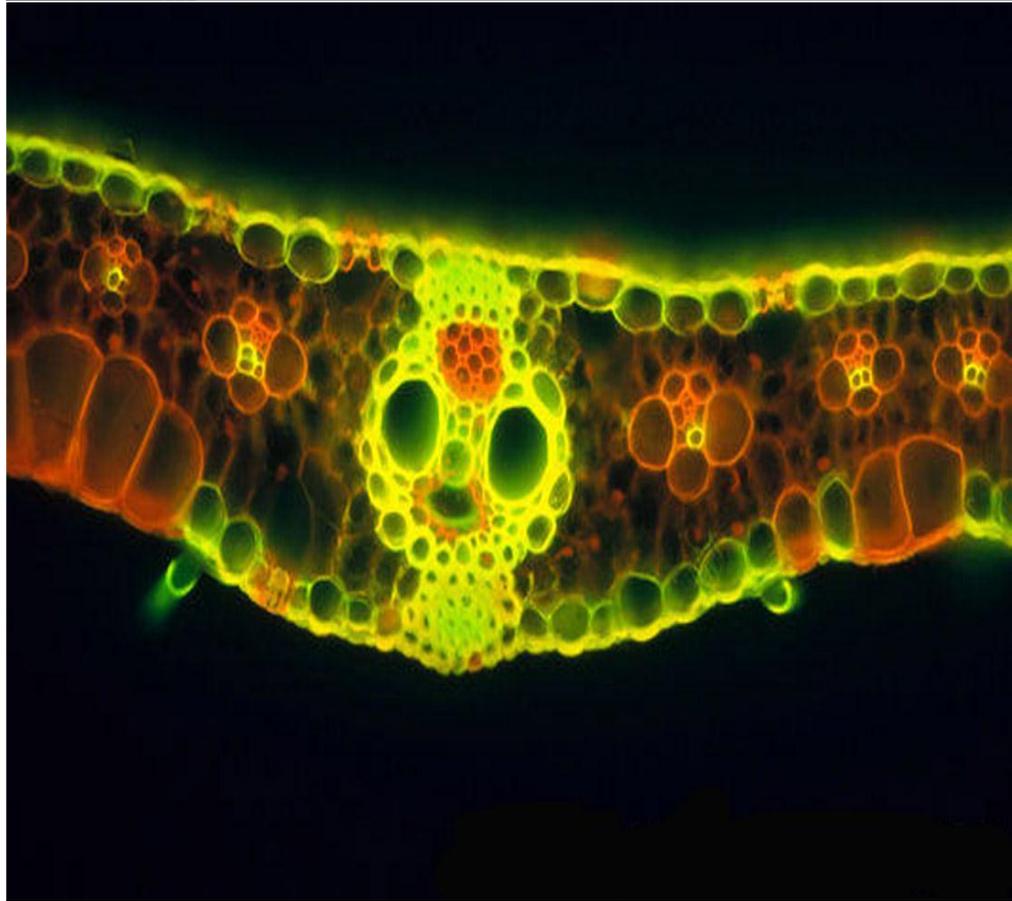
1. Órganos de las Plantas:
 - Raíz.
 - Tallo.
 - Flor.
 - Fruto.

INDICADORES DE LOGRO

1. Identifica las principales partes de una planta.
2. Analiza la relación anatómica y fisiológica de cada órgano vegetal.
3. Comprende la importancia de las plantas en los procesos naturales del planeta.

PALABRAS CLAVE:

Raíz, tallo, hoja, flor, fruto, xilema, floema, estomas, turgencia, traqueidas, tubos cribosos, colénquima, parénquima, esclerenquima, clorénquima, mesófilo, antófilo, etileno.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La anatomía y fisiología vegetal permite entender no sólo cómo se comportan estos organismos, sino que además brinda una percepción más integral sobre la ecología y la conservación biológica, siendo las plantas la base de subsistencia de toda la demás vida terrestre. Asimismo, la integralidad de los contenidos, con una fuerte base química y física, fomenta habilidades para conectar y analizar principios científicos.

DESCRIPCIÓN

Se describen los principales órganos vegetales y los tejidos que los constituyen, haciendo énfasis en las variaciones adaptativas que presentan especialmente las plantas de los climas tropicales, brindando ejemplos de El Salvador. Así también se describe brevemente el papel fisiológico de estos componentes.

Las plantas son organismos que poseen múltiples adaptaciones, fruto de diversas modificaciones en sus estructuras básicas; dichas características las han llevado a ser organismos cosmopolitas, con representantes de sus muchos ordenes y divisiones (phyla) en prácticamente todos los ecosistemas de la Tierra, a excepción de los polos y las cimas de las montañas más altas del mundo.

ÓRGANOS DE LAS PLANTAS

Anteriormente se consideró la clasificación taxonómica del reino vegetal, además de analizar las funciones metabólicas vitales para estos organismos. Ahora se estudiará las estructuras básicas en las plantas las cuales son: *raíz, tallo, hoja, flor y fruto*, los cuales le dan a las plantas su estructura típica que las distingue de los demás seres vivos (Fig. 1).

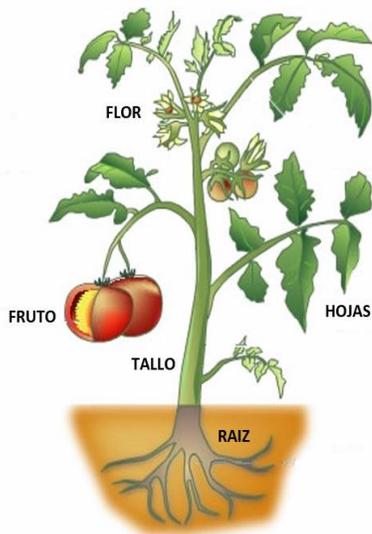


Figura 1. Partes principales de una planta típica.

RAÍZ

Es el órgano encargado de absorber los nutrientes minerales y agua del suelo para que sean transportados hacia las partes superiores de la planta; además brindan fijación a los distintos tipos de suelos. Su crecimiento es en dirección opuesta al tallo y carece de hojas; está presente en todas las plantas vasculares, exceptuando los helechos y otras plantas que presentan *rizomas* que son una modificación del tallo (Fig. 2).

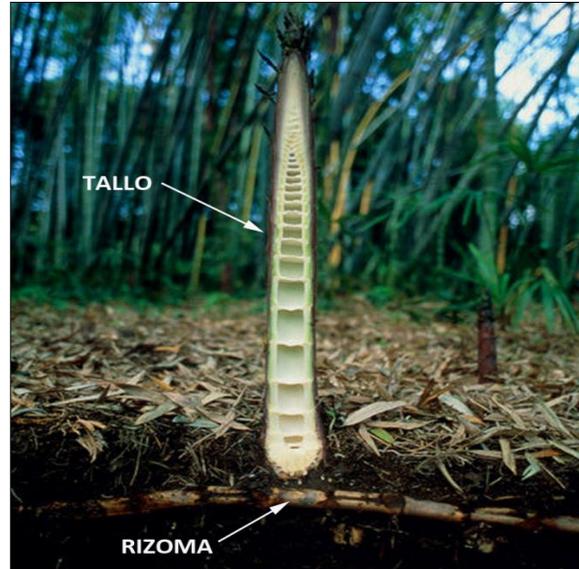


Figura 2. Un corte longitudinal al tallo de un bambú, junto al rizoma de donde ha surgido.

Por la forma de crecimiento de la raíz, esta se clasifica básicamente en *raíz primaria o pivotante* y *raíz fibrosa o fasciculada*; se sabe que las plantas monocotiledóneas presentan raíz fibrosa y que las dicotiledóneas poseen raíz primaria, de hecho esta característica es tomada como una clave de clasificación que tipifica estas dos clases (Fig. 3).

Existen otros tipos secundarios de raíz, los cuales también se clasifican de acuerdo al crecimiento que tiene este órgano. Los principales son: raíz aérea, raíz adventicia, raíz tuberosa.



Figura 3. Raíz primaria de dicotiledónea (derecha) y raíz fibrosa de monocotiledónea (izquierda).

La raíz posee tejidos que son especializados para realizar el transporte de sustancias. El **Xilema** es un tejido complejo formado por varios tipos de células, relacionado con la conducción del agua y almacenamiento de sustancias que se extiende formando tubos continuos por todos los órganos de la planta (Fig. 4).

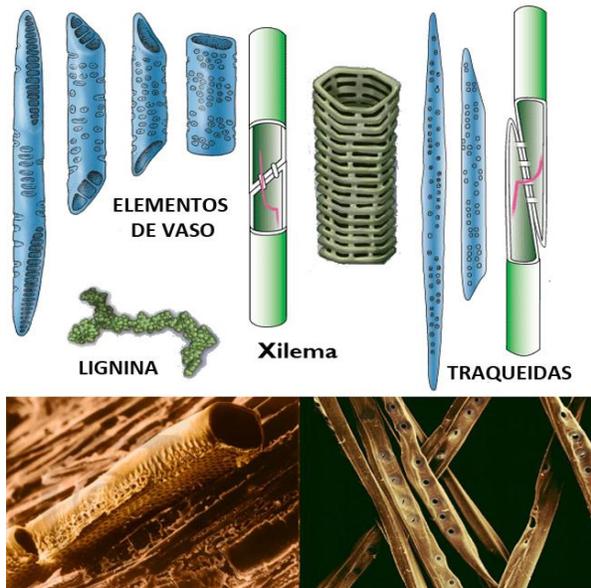


Figura 4. Esquemas de las células que componen el Xilema; la lignina es el polímero que les da la rigidez. Abajo, dos micrografías de los elementos de vaso y traqueidas.

El xilema posee dos tipos de célula: las *traqueidas* (forman anillos parecidos a la tráquea), que constituyen tubos continuos y los *elementos de vaso*, los cuales poseen pared celular con poros y se unen a las traqueidas formando espirales. Cuando las células del xilema alcanzan su máximo desarrollo mueren, dejando su pared celular como un anillo más para el tejido (Fig. 5).

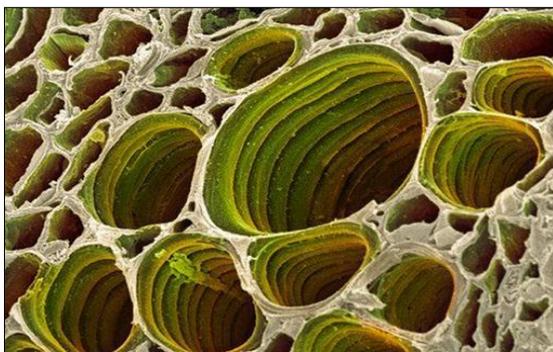


Figura 5. Micrografía electrónica de un haz vascular de xilema; nótese los anillos acumulados de células muertas formando los conductos.

El agua ingresa a la raíz a través de los filamentos microscópicos que posee con apariencia de vellos o tricomas (Fig. 6). Junto con el agua van los minerales tomados del suelo (Lección 9, Química) para llegar al interior de la raíz mediante *ósmosis*, gracias a las diferencias de concentración y cargas eléctricas entre las moléculas del exterior y las del interior de las células.

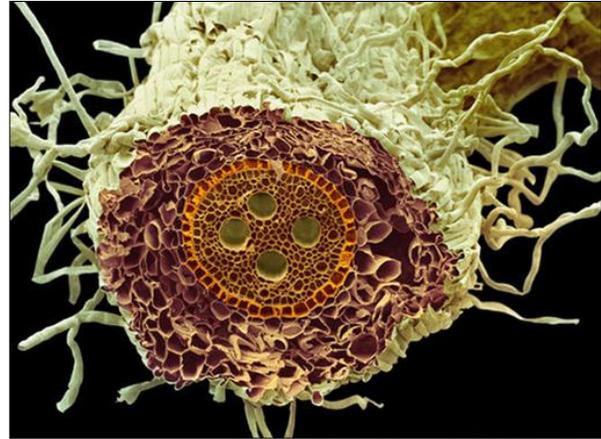


Fig. 6. Corte transversal de una raíz de dicotiledónea. Puede observarse los tricomas en la superficie y al centro el xilema.

La raíz posee una capa de células protectoras en su ápice; esta capa superficial se le llama **cofia** y es la responsable de abrir espacio al resto de la raíz para encontrar los nutrientes del suelo y fijarse en él (Fig. 7).

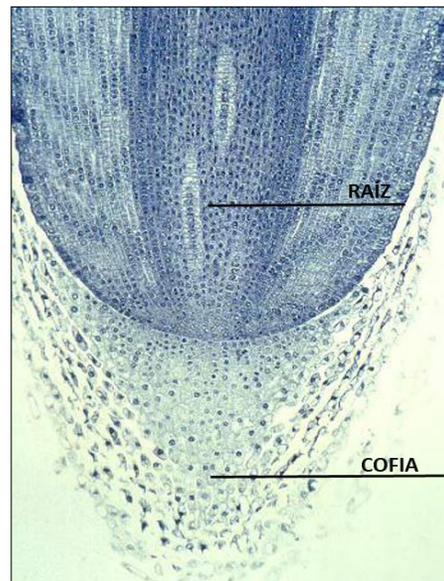


Figura 7. Fotografía de microscopio óptico mostrando una raíz de dicotiledónea con su cofia bien definida protegiendo la raíz que crece.

El **Floema** es otro tipo de tejido de transporte. Conduce azúcares y otros nutrientes desde los órganos donde se producen hacia los que los consumen y almacenan, de forma ascendente y descendente. Está organizado en haces vasculares como filamentos longitudinales asociados con el xilema.

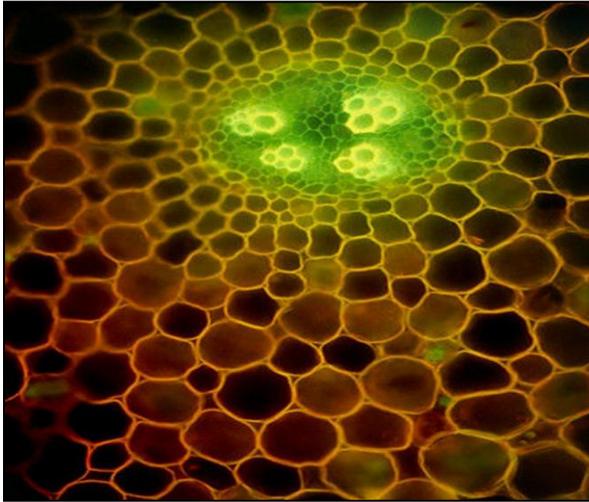


Figura 8. Micrografía fluorescente mostrando cuatro haces de xilema brillando y el floema alrededor de ellos con un color verde en una raíz de dicotiledónea.

Estos haces constituyen tejidos importantes en raíz, así como en tallos herbáceos y nervaduras de las hojas. De manera típica, el xilema está más cerca de la médula de la planta. Un anillo de células llamadas **cambium** son las que separan al xilema del floema. Las células blandas del floema son empujadas hacia el exterior de la planta a medida que el xilema nuevo aparece y la zona del cambium se ensancha (Fig. 8).

El floema posee dos tipos de células: los **Tubos Cribosos** que son las más características y las **células anexas**. Los tubos cribosos son células alargadas con sus paredes de los extremos perforadas por diminutos poros por los cuales pasan las sustancias disueltas.

Estos elementos están conectados en series verticales; las células están vivas al llegar a la madurez, pero su núcleo se desintegra antes de iniciar su función conductora.



Las primeras Cribas

Los tubos cribosos fueron llamados así, porque recuerdan a la forma de las cribas o zarandas que se usaban para trillar y separar los granos de trigo en el continente europeo de la Edad Media.

Las células anexas son más pequeñas, conservan sus núcleos durante la madurez y también están vivas. Se forman junto a los tubos cribosos y se considera que controlan el proceso de conducción (Fig. 9).

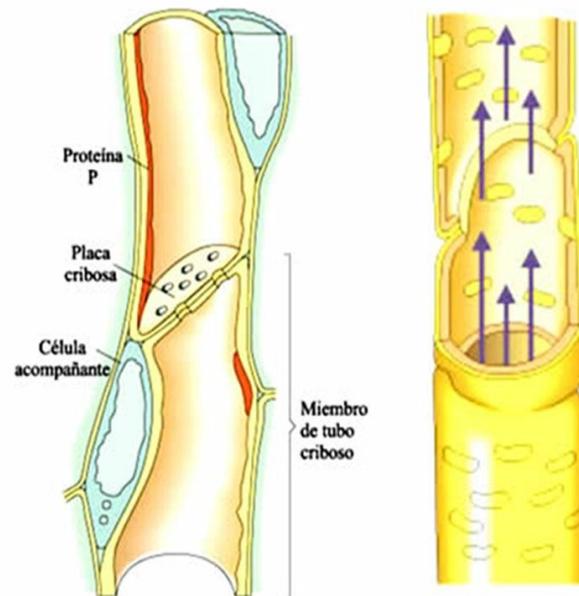


Figura 9. Esquemas de los tubos cribosos y las células acompañantes. Vista de corte longitudinal (izquierda), el flujo ascendente del agua y los demás nutrientes (derecha).

TALLO

Es el órgano de la planta que crece en dirección contraria a la raíz, es decir, posee **geotropismo negativo**. Es el órgano dominante cuya función primordial es la de sostener estructuras como hojas, flores y fruto. Otros se modifican para transformarse en estructuras de almacenamiento de sustancias de reserva, o como estructuras para la propagación de la planta.

En general, el tallo posee una forma cilíndrica con puntos engrosados llamados *nudos*, sobre los que se desarrollan las hojas. A la porción de tallo situada entre dos nudos consecutivos se llama *entrenudo*. Los tipos de tallo son:

Por su hábito (su forma de crecimiento)

1. *Epígeos o aéreos*: Son los tallos típicos que crecen por encima de la tierra. De acuerdo con la dirección de su crecimiento, pueden ser ascendentes si es vertical, o rastrero si es de forma horizontal sobre la tierra (Fig. 10)



Figura 10. Tallo aéreo en un ficus o laurel de la india.

2. *Hipogeos o subterráneos*: Crecen bajo la superficie del suelo. Entre estos están: los *rizomas* que son tallos subterráneos con un grosor que varía en cada especie. Producen raíces verdaderas y tallos aéreos de vida corta o solamente un grupo de hojas. Son ejemplos de plantas con tallo hipogeo los helechos, diversas especies de lirios, bambú, entre otros.

Los *tubérculos*, almacenan sustancias nutritivas, su crecimiento es limitado en altura y crecen junto con las raíces. También presentan yemas u “ojos”, como en la “papa”. Los *bulbos*, son tallos muy cortos y erectos, con forma de disco, con una yema terminal rodeada de hojas carnosas, superpuestas, convertidas en órganos de reserva

llamadas *catafilos* que guardan agua y sustancias con fuerte olor; por ejemplo, la cebolla (Fig. 11).



Figura 11. Ejemplos de tallos hipogeos. A: cebolla (*Allium cepa*). B: papa (*Solanum tuberosum*).

Por su consistencia

1. *Herbáceos*: Tallos que nunca desarrollan tejidos adultos o secundarios, por lo que tienen consistencia suave y frágil. Posee estolones para extenderse y propagarse por el sustrato en el que crece (Fig. 12).



Figura 12. Un buen ejemplo de tallo herbáceo es una gramínea o césped, con sus estolones que le ayudan a propagarse por el suelo.

2. *Caña*: Tallo herbáceo, macizo o hueco y con su interior muy fibroso debido a la gran cantidad de tubos cribosos y traqueidas que posee, no se ramifica. Se presenta en gramíneas (Fig. 13)



Figura 13. El maíz (*Zea mays*), posee un tallo del tipo caña, de consistencia muy fibrosa en su interior.

3. *Volubles*: El tallo es flexible y enrollable, por lo general son tallos fotosintéticos, muy delgados. Por ejemplo el tallo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Fig. 14). Esta característica les da la ventaja de poder asirse de cualquier superficie, incluso de troncos o tallos de otras plantas vecinas.



Figura 14. El frijol con su tallo flexible creciendo enrollado.

4. *Trepadores*: Tallos que se fijan a un soporte mediante *zarcillos* (Fig. 15); por ejemplo el tallo del ayote, el pepino, la granadilla o pasiflora, etc.



Figura 15. El “paste” o “pashte” (*Luffa cylindrica*) es un ejemplo de planta con tallo trepador y zarcillos. En la esquina inferior izquierda un zarcillo en detalle.

5. *Leñosos*: Tallos duros y rígidos, sin color verde ya que no tienen clorofila (Fig. 16), poseen mucha *lignina* y *celulosa* (ambos polisacáridos de soporte que forman la madera).



Figura 16. Detalle de un tronco. No hay tejido fotosintético.

6. *Arbustivos*: Tallos con cierto crecimiento secundario pero limitado a la base de la planta dejando las ramificaciones superiores con tallos jóvenes (Fig. 17).



Figura 17. Un ejemplo de arbusto es el Izcanal (*Acacia cornígera*) que solo alcanza unos pocos metros de altura durante su vida.

7. **Arbóreos:** Tallos con crecimiento secundario completo, de consistencia dura ricos en lignina y celulosa, explotados para extracción de madera (Fig. 18).



Figura 18. Un árbol de conacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum*) de gran altura.

8. **Estípites:** Tallos *monopódicos* (sin bifurcaciones) cuya única yema que se desarrolla es la apical, es decir, la del extremo superior de la planta. Aunque puede tener ramificaciones secundarias, el tallo principal será uno solo. Este es el caso de la mayoría de las palmeras (Fig. 19).



Figura 19. Un ejemplo típico de tallo monopódico es el cocotero (*Cocos nucifera*), no posee ramificaciones.

Por sus Modificaciones Estructurales

1. **Zarcillo caulinar:** Tallo muy delgado que ha perdido capacidad de formar hojas o flores. Su función es permitirle a la planta trepar o arrastrarse por diversas superficies.

2. **Espina caulinar:** Es una rama modificada, muy lignificada; sirve como defensa contra los depredadores (Fig. 20).



Figura 20. Fotografía del tronco de Ceiba (*Ceiba pentandra*) característico por poseer sus espinas caulinares de gran tamaño.

3. Estolón: Tallo con capacidad de formar raíces adventicias, lo que le permite formar una nueva planta (Fig. 21).



Figura 21. Estolones en una muestra de césped o grama, puede notarse las raíces que produce así como nuevos vástagos.

4. Fotosintéticos

Tallos que han asumido la función de las hojas. Propios de plantas que por razones de eficiencia, han dejado de formar hojas o las han reducido hasta volverlas inconspicuas, perdiendo su capacidad fotosintética. Estos tallos pueden ser de forma aplanada como hoja con ramificaciones; además, pueden ser planos y suculentos, como ocurre en las cactáceas (cactus), y tener la función de almacenar agua (Fig. 22).



Figura 22. Una cactácea del género *Opuntia* ("nopales" y "tunas"), con su tallo fotosintético y aplanado. Sus hojas están reducidas a espinas.

HOJA

Palabra proveniente del latín *Folium*. Es el órgano más versátil presente en las plantas,

generalmente con forma laminar y estructura dorso ventral; se origina de los extremos apicales del brote y de yemas presentes en ramas y tallo. Su función principal es fotosintética al igual que realizar la respiración celular. Su forma y crecimiento está determinado genéticamente; sin embargo, su forma y estructura final está influenciada por el medio ambiente (Fig. 23).

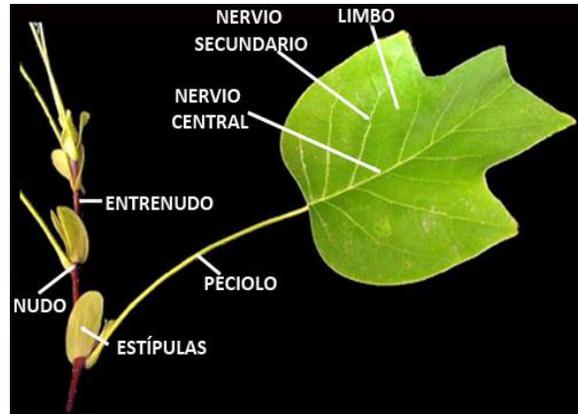


Figura 23. Partes principales de una hoja.

La primera capa de la hoja se llama *cutícula*; es cerosa y la protege de la desecación, además de funcionar como barrera contra bacterias y hongos. La *epidermis* está justo bajo la cutícula; es la primera capa de células que de igual manera protegen la hoja, esta puede variar de grosor de acuerdo con las condiciones ambientales donde viva la planta (Fig. 24).

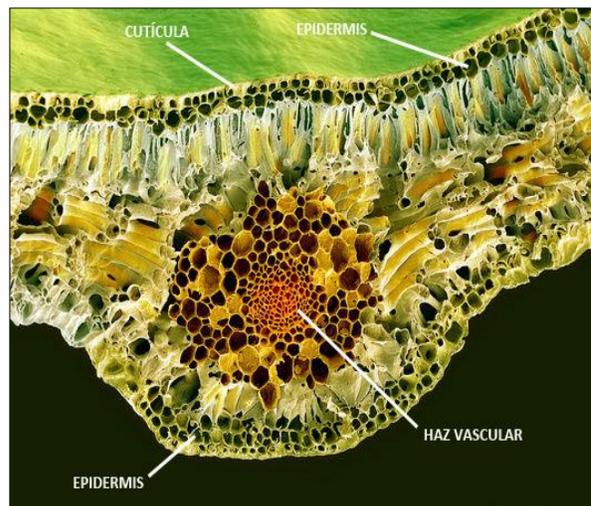


Figura 24. Micrografía electrónica de un corte transversal de hoja de cotiledónea, mostrando las distintas capas en ella.

Los *estomas* son grupos de dos o más células ubicadas en la epidermis de la hoja, comúnmente en el envés o la parte inferior; su forma recuerda la silueta de un riñón o de un frijol; su función fisiológica es regular el intercambio gaseoso y la transpiración de la planta (Fig. 25).

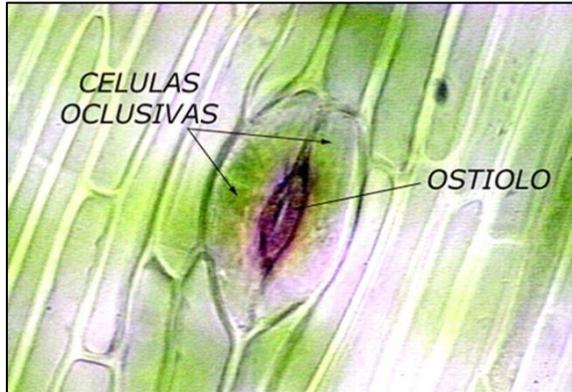


Figura 25. Esquema de una sección de hoja, mostrando el estoma, con sus dos células oclusivas y el ostiolo o poro que forman.

Los estomas están formados por dos células especializadas, llamadas células oclusivas, que forman una abertura llamada *ostiolo* o poro; por debajo del ostiolo hay un espacio intercelular llamado cámara subestomática que comunica con el aire exterior.

La actividad fisiológica de los estomas, se realiza por la acción de cambiar de forma y volumen para controlar el tamaño del ostiolo. Esta capacidad conferida gracias a la *turgencia* (propiedad de las células para absorber agua e hincharse, lo que pone tensa su membrana), que les da la rigidez a las células oclusivas. Este fenómeno es causado por diferencias en el potencial osmótico.

La anatomía y morfología de las hojas está estrechamente relacionada con el tallo. Hay distintos tipos de hojas desde la germinación de la planta hasta que la planta es adulta. Estas son:

Hojas cotiledonales o embrionales: Las primeras que se observan luego de la germinación de la semilla. Las plantas *monocotiledóneas* presentan

un solo cotiledón; las *dicotiledóneas* tienen dos; las gimnospermas (coníferas y afines) pueden tener dos o más cotiledones (Fig. 26).



Figura 26. Arriba una planta de frijol con sus cotiledones y hojas primordiales. Abajo, una planta de maíz con su cotiledón único subterráneo y su hoja primordial.

Hojas primordiales: Son las primeras hojas que nacen por encima de los cotiledones de la planta joven, varían de acuerdo a la especie de planta. En algunas las hojas primordiales son simples, mientras que las hojas adultas son compuestas.

Hojas vegetativas: Son las que aparecen luego de las primordiales, son las que se forman durante toda la vida de la planta. Morfológicamente más complejas y son las que caracterizan cada especie.

Hojas *preflorales*: Son hojas que se modifican en su forma, su coloración o su posición en la planta cuando esta entra en etapa de floración. Su función es proteger a la flor o inflorescencia. Se les llama *brácteas* y ejemplos de ellas son las hojas de la “pascua” (*Euphorbia pulcherrima*) y de “veranera” (*Bougainvillea glabra*) (Fig. 27).



Figura 27. Una “pascua” coloreando sus brácteas para atraer a los polinizadores. Nótese el cambio de verde a rojo.

Al interior de la hoja, entre la epidermis superior y la inferior, hay una capa de células vivas capaces de crecer y dividirse. En general poseen pared celular primaria solamente, pero no es una característica universal. Este tejido está relacionado con varias funciones de la planta: reserva de sustancias, formación de estructuras adventicias (ocasionales), cicatrización de heridas y sobre todo, la fotosíntesis (Fig. 28).

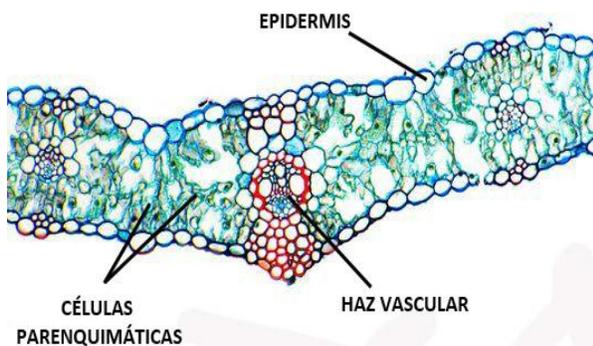


Figura 28. Micrografía óptica de un corte transversal de una hoja de gramínea, donde se observa el parénquima al interior cumpliendo diversas funciones.

Los tejidos de la hoja donde se da la fotosíntesis son siempre parenquimáticos (tejido conformado por células fotosintéticas y de almacenaje), el cual recibe el nombre de *clorénquima*. A la capa en donde se concentran los distintos tejidos parenquimáticos se llama *mesófilo*.

El parénquima clorofiliano en empalizada está formado por células cilíndricas, alargadas que logran más superficie y menos volumen. El otro tipo de parénquima clorofiliano esponjoso, lo forman células cortas, redondeadas, con menos cloroplastos y con espacios intercelulares grandes, llamados lagunas, por donde circula el aire para el intercambio gaseoso (Fig. 29.)



Figura 29. Micrografía óptica de una hoja de monocotiledonea. Se aprecia claramente los tejidos parenquimáticos de color verde al interior de la hoja.

El *colénquima* es una modificación del tejido parenquimático especializado para sostén en plantas jóvenes, apareciendo en tallos, *pecíolos* (tallos modificados que sostienen las hojas) y nervios de las hojas formando capas largas de células alrededor de la base de la hoja. La característica más notable de este tejido es el engrosamiento irregular de la pared celular, sobre todo en las zonas que necesitan soportar más esfuerzo (Fig. 30).

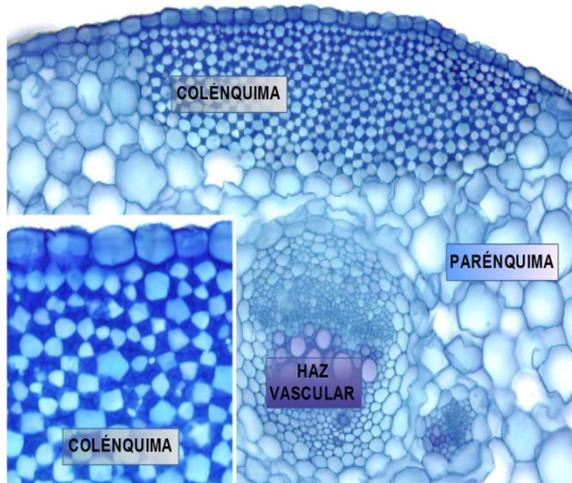


Figura 31. Micrografía donde se aprecia el colénquima con sus células de pared lignificada y muy gruesa, en donde la planta necesita mayor soporte.

El *esclerénquima* es un tejido de sostén formado por células muertas a la madurez, cuyas paredes son engrosadas, comúnmente con lignina (polímero estructural) por lo que se llaman *lignificadas*. Estas células se diferencian del colénquima por poseer paredes secundarias lignificadas y cuando son adultas carecen de protoplasto. Su nombre proviene del griego *escleros* “duro” y *enchyma* “sustancia” (Fig. 31)

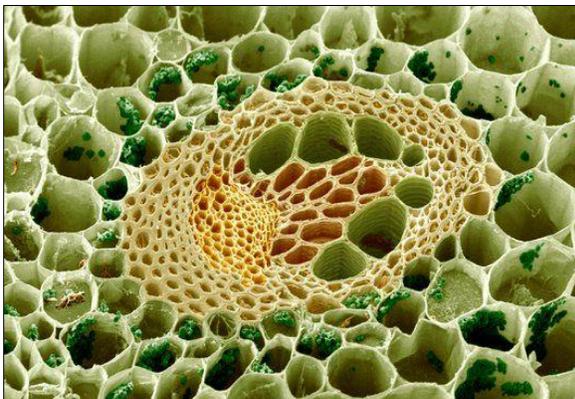


Figura 31. Micrografía electrónica de un haz vascular, donde se observa el esclerénquima junto a las células de color amarillo. Se puede observar sus gruesas paredes secundarias.

La anatomía y forma de la hoja es característica de cada especie; existe una muy extensa variedad de formas de la lamina foliar, de sus bordes y de sus nervaduras y todas estas adaptaciones

responden a los hábitos de vida, las condiciones ambientales y su filogenia (Fig.32).

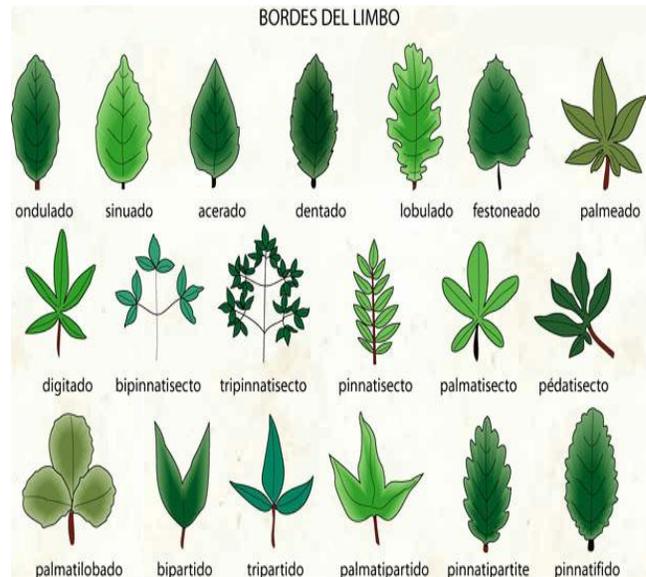


Figura 32. Distintos tipos de hojas de acuerdo a su forma y a su limbo.

FLOR

Es la estructura reproductiva típica de las plantas *espermatofitas* (Lección 3). Es un tallo corto de crecimiento determinado que lleva hojas modificadas estructural y funcionalmente para producir los gametos y protegerlos; a los que se les denomina *antófilos* (Fig. 33).

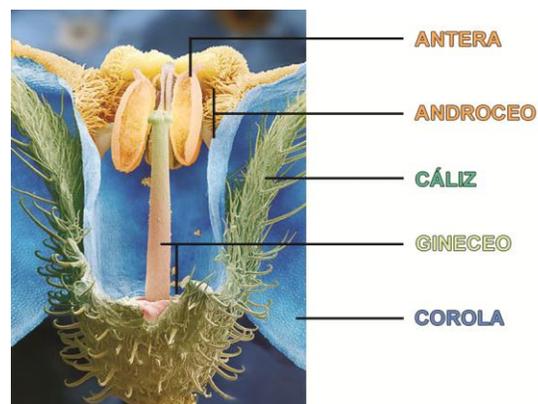


Figura 33. Micrografía señalando las partes principales que componen a una flor típica de las angiospermas.

Todas las *espermatofitas* poseen flores que producen semillas, sin embargo, la organización interna de la flor es diferente entre los dos grupos principales: las *gimnospermas* vivientes y las *angiospermas* (Lección 3).

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 50 minutos)**OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EN LAS PLANTAS**

Con esta actividad se podrán examinar detenidamente los distintos órganos de las plantas como sus adaptaciones y modificaciones macroscópicas.

Materiales: pida a sus alumnos que consigan muestras de tallo de rosa, maíz, guineo, papa, jengibre, grama común y lirio de agua, también que traigan las hojas de estas plantas o de otras que puedan conseguir. Estas muestras puede pedir las uno o dos días antes de realizar la actividad.

Indíqueles que:

Esquematizan y nombran sus estructuras en sus cuadernos y todos los órganos que puedan ver; puede preguntarles: *¿Qué tallos modificados logran identificar?, ¿Qué tipo de ramificación conocen? Con las hojas puede preguntar ¿según la forma, que tipo de hoja es? ¿Cuáles son las partes que logra identificar? ¿A cuál clase de plantas pertenece cada hoja y tallo?*

Las *gimnospermas* poseen flor en forma de cono o *estróbilo* con hojas modificadas y fértiles ya que en su interior se crea el gametofito femenino, los óvulos. Estos crecen comúnmente en forma helicoidal y despliegan sus hojas fértiles en ese mismo eje. Existen escamas que cubren el cono y en cada escama hay uno o más óvulos que al ser fecundados por brácteas seminíferas, quedan alojados para transformarse en semillas que no están encerradas en ovarios; de ahí su etimología del griego *gimnos* (desnudo) y *sperma* (semilla) (Fig. 34).



Figura 34. Un cono o piña de pino, cada “escama” es una bráctea y al interior de ella está una o más semillas desnudas.

Los conos se conocen como piñas en los pinos y otras especies de la familia de las pináceas. Sin embargo, su nombre varía en otras especies, por ejemplo en los cipreses, se le llama *gálbulas*.

En las *angiospermas* la flor tiene cuatro tipos de hojas modificadas que son los *sépalos*, *pétalos*, *estambres* y *carpelos*. La flor da origen al fruto que contiene las semillas luego de la fecundación. Este grupo de plantas tiene un linaje evolutivamente exitoso que conforma la mayor parte de la flora terrestre existente.

Los sépalos son las piezas florales que envuelven a las demás durante las primeras fases del desarrollo, cuando la flor es solo un capullo o “pimpollo”. También evita que los insectos accedan al néctar sin pasar por los estambres y estigmas. El número de sépalos en una flor, es un carácter importante de identificación de una especie (Fig. 35).

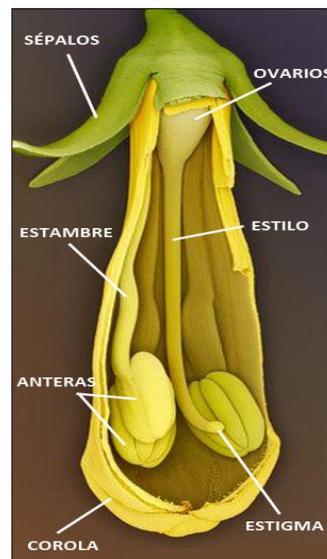


Figura 35. Un capullo cortado para observar su interior. Los sépalos es la capa protectora de las demás piezas florales.

Los pétalos son antófilos que comprenden las partes estériles de la flor; comúnmente son llamativos por su coloración y rodean las partes reproductivas. La función principal es atraer a los polinizadores (Fig. 36).



Figura 36. Los pétalos de *Impatiens balsamina* "chula" son irresistibles para la avispa en la fotografía.

Las plantas dicotiledóneas poseen cuatro o cinco pétalos en sus flores; las monocotiledóneas tienen tres pétalos o algún múltiplo de tres. Hay una gran variación de la forma y estructura de los pétalos. Están los fusionados por la base del cáliz formando flores en forma de tubo, o anchos con las demás partes de la flor fusionados y al borde del cáliz. En el caso de las gramíneas han reducido mucho sus pétalos debido a que estas especies son polinizadas en su mayor parte por el viento y no necesitan atraer a polinizadores (Fig. 37)

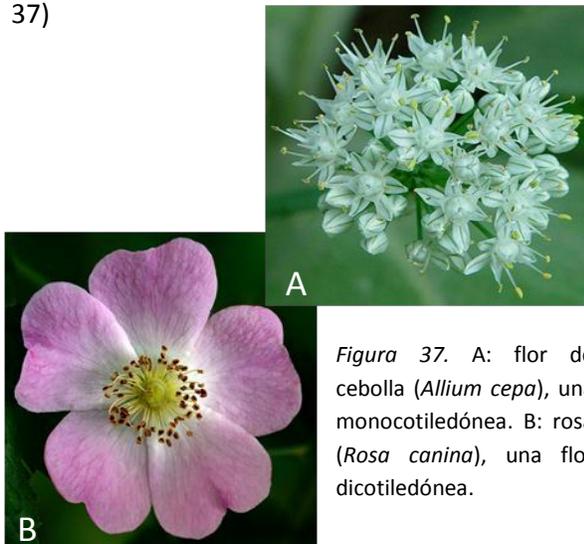


Figura 37. A: flor de cebolla (*Allium cepa*), una monocotiledónea. B: rosa (*Rosa canina*), una flor dicotiledónea.

Los pétalos de muchas especies son llamados *osmóforos* ya que en su parénquima contienen aceites esenciales que liberan el aroma característico de las flores.

El color de los pétalos es debido a que sus células presentan pigmentos como los carotenoides (rojos, anaranjados, amarillos); los pigmentos *antocianinas*, pigmentos de origen polisacárido que están disueltos en el jugo celular, entre otros (Fig. 38)



Figura 38. Los pigmentos carotenoides y antocianinas le dan esa intensa coloración a la flor de fuego (*Delonix regia*).

FRUTO

Es un órgano procedente de la flor o de partes de ella; contiene las semillas hasta que maduran y posteriormente ayuda a dispersarlas. Se puede decir que es un ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor. Es otra de las adaptaciones, conjuntamente con las flores, que ha contribuido al éxito evolutivo de las angiospermas. En gimnospermas no hay frutos verdaderos.

Los frutos pueden tomar formas muy diversas según las especies: globosos, cilíndricos, espiralados, lenticulares, alados y otras más. En general cada especie se caracteriza por cada forma particular de su fruto.

La superficie puede ser lisa, rugosa, espinosa, pubescente, etc. Su tamaño es otro aspecto sumamente variable; los hay de menores de un milímetro como el caso de algunas gramíneas;

hasta muy grandes como la sandía, el melón, zapote, y leguminosas como el tamarindo y copinol (Fig. 39)



Figura 39. Una gran variedad de frutas tropicales, con forma, textura y colores propios de cada especie.

Estructura. El *pericarpo* es la pared del ovario que queda tras la fecundación y también puede abarcar otros tejidos involucrados. La pared del fruto puede comprenderse en tres capas: *exocarpo*, *mesocarpo* y *endocarpo* (Fig. 40)

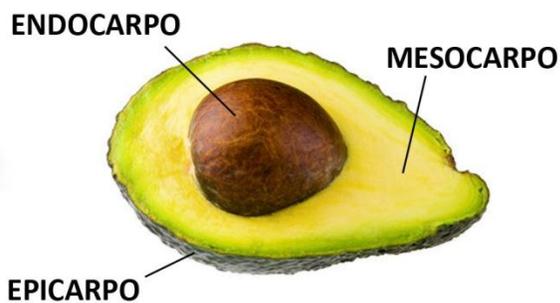


Figura 40. Las tres capas principales de un fruto común, como en este caso es el aguacate (*Persea americana*).

El *exocarpo* o *epicarpo* es la capa más externa del fruto, comprende la epidermis solamente o también los tejidos subyacentes a esta. La superficie puede ser lisa como en las uvas, las cerezas y los chiles, puede ser pubescente como el caso del durazno.

El *mesocarpo* es la capa media del fruto y corresponde al parénquima del carpelo (la parte

central de la flor). Puede ser delgado y seco, como en el maíz o abundante y carnoso como el durazno y la berenjena; en este caso, el desarrollo del mesocarpo se debe a la multiplicación de las células del parénquima donde la clorofila y ácidos orgánicos, van siendo reemplazados a medida que crece el fruto por azúcares, vitaminas, antocianinas, almidón, etc.; tales cambios le dan colores vistosos al fruto y sabor agradable (Fig. 41).



Figura 41. El mango es un ejemplo de fruto con mesocarpo grueso y carnoso.

El endocarpo es la capa interna del fruto, está rodeando la semilla para protegerla. Su consistencia puede ser muy dura, casi pétrea (suele llamarse "hueso" como en la aceituna), carnoso como en la uva o con pelos jugosos en el caso de los cítricos (Fig. 42)

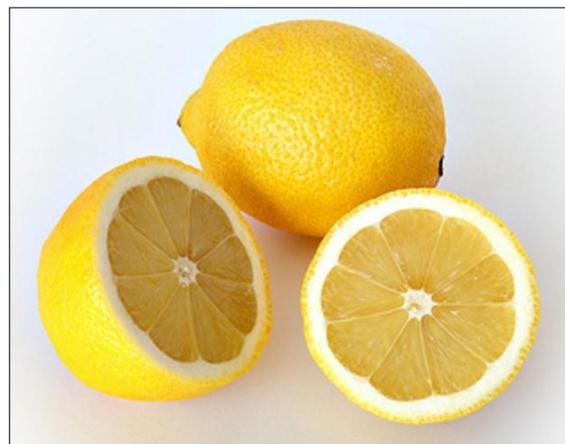


Figura 42. En el caso de los cítricos su endocarpo está dividido en secciones con glándulas jugosas concentradas sobre un eje central.

Por la consistencia de su pared, los frutos pueden ser secos o carnosos; los secos tienen un pericarpo de células muertas cuando alcanzan la madurez. En el caso de los carnosos se mantienen succulentos hasta la madurez gracias a varias capas del pericarpo y sus células se mantienen vivas.

Sea cual sea el origen del fruto, este cumple con tres funciones específicas: contener y proteger las semillas durante su desarrollo; contribuir a la dispersión de las mismas una vez maduras y, la última, atraer animales para su posterior dispersión (Fig. 43).



Figura 43. Una especie de loro comiendo frutas cuyas semillas luego serán esparcidas.

En el desarrollo y maduración del fruto, las fitohormonas (hormonas de origen vegetal) juegan un papel esencial. Entre éstas se encuentran las *auxinas*, *giberelinas*, *citoquininas*, el *ácido abscísico* y el *etileno*. Las *auxinas* son un grupo de compuestos que promueven el crecimiento y la diferenciación celular y por lo tanto, el crecimiento en longitud de la planta. Las *giberelinas* estimulan la germinación de las semillas en numerosas especies e inducen la floración en plantas en diferentes fotoperíodos.

Las *citoquininas* estimulan la división celular y la diferenciación en tejidos vegetales y demoran la senescencia de las hojas. El *ácido abscísico* estimula el cierre de los estomas en situaciones de estrés hídrico, induce y mantiene la latencia de semillas e induce la senescencia en hojas.

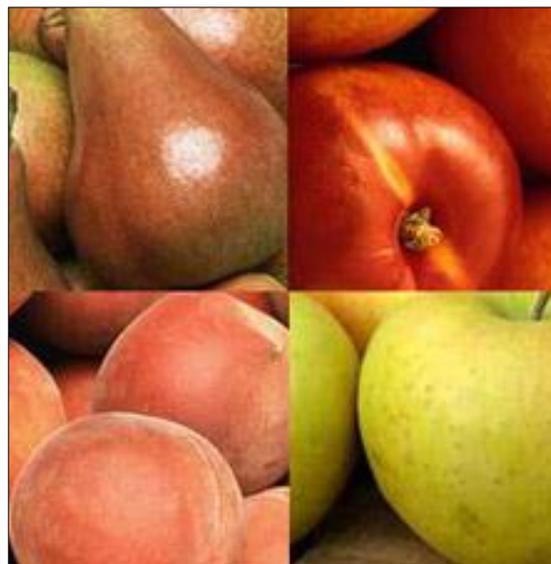


Figura 44. El etileno causa el efecto de cambio de coloración en los frutos y promueve cambios fisiológicos al interior de estos.

El *etileno* es un gas con acción hormonal en las plantas acelerando la maduración en los frutos de ciertas especies tales como el guineo, chirimoya, ciruela, manzana, mango, papaya, tomate, etc. Sin embargo, en frutos cítricos el etileno no regula la maduración aunque si es capaz de degradar la clorofila en ellos, pero la coloración no indica necesariamente el grado de madurez (Fig. 44). En las naranjas y mandarinas comercialmente se exige cierto grado de coloración, por tal motivo se le aplica etileno para lograr esta coloración, siendo al final solo para usos cosméticos.

Tabla 1. Resumen de los tipos de células en los distintos tejidos vegetales.

Tipo de célula	Lugar	Caracteres	Función
Parénquima	Por toda la planta.	Forma: poliédrica Pared celular: primaria y secundaria Puede ser: lignificada, suberificada	Procesos metabólicos generales: respiración, fotosíntesis, almacenamiento y conducción; cicatriza heridas y regeneración.

Tipo de célula	Lugar	Caracteres	Función
Colénquima	Periferia (por debajo de la epidermis) en los tallos jóvenes	<u>Forma</u> : alargada <u>Pared celular</u> : sólo primaria (no se lignifica). Vivas en la madurez	Forma tejido de soporte del vegetal.
Esclereidas	Por toda la planta	<u>Forma</u> : variable, algo alargadas <u>Pared celular</u> : primaria y secundaria (tiende a lignificar) Puede estar viva o muerta a la madurez.	Mecánica y protectora.
Traqueidas	Xilema	<u>Forma</u> : alargada y termina en punta <u>Pared celular</u> : primaria y secundaria (lignificada), presenta punteaduras. Muertas a la madurez	Elemento conductor de agua, iones y nutrientes. Presente en todas las plantas vasculares.
Tráqueas o Vasos	Xilema	<u>Forma</u> : alargada <u>Pared celular</u> : primaria y secundaria (lignificada), presenta punteaduras y perforaciones. Unen sus extremos y forman vasos.	Elemento conductor de agua, iones y nutrientes. Presente en las angiospermas
Célula cribosa	Floema	<u>Forma</u> : alargada y termina en punta. <u>Pared celular</u> : primaria. Presenta cribas Vivas en la madurez, no tiene núcleo	Conductor de sustancias producidas por la planta. (glucosa, sacarosa, aminoácidos, etc.). En plantas vasculares sin semilla y gimnospermas.

ACTIVIDAD 2. (Tiempo: 50 minutos)

Observación y análisis de la flor, fruto y semilla

Con esta actividad se identificarán las estructuras características de cada flor, fruto y semilla que los estudiantes traigan para ser analizados y socializados.

Materiales:

Pedirles que traigan flor de “clavel”, “flor barbona”, “llama del bosque”, “dormilona”, “frijol”, “orquídea”, “rosa”, “veranera”, “pacaya”. (Se pueden usar las flores que sean de temporada).

- Frutos diversos (guineo, ejote, marañón, pera, manzana, pepino, piña, fresa, aguacate, maíz, maicillo, carao)
- una hoja para afeitar o bisturí.
- cuaderno para esquematizar y hacer apuntes.
- conos o piñas de pino, o gálbulas de ciprés (si es factible).

Indíqueles que: Observen cuidadosamente cada flor, esquematizen y encuentren las diferencias que hay entre sus piezas, anotarlas en sus cuadernos. Que identifiquen las partes principales que componen a la flor.

Con la hoja de afeitar que haga un corte transversal a la flor de clavel y frijol para ver los ovarios y óvulos.

Que observen y esquematizen los diversos frutos, que anoten sus diferencias en sus cuadernos que digan si son angiospermas o gimnospermas.

Con las semillas de frijol y maíz puede partirlas para observar el embrión, esquematice y anote las características en su cuaderno.

GLOSARIO

Cofia: Es un capa de células protectoras del meristemo apical de la raíz. Son las que abren camino al resto de la raíz a través del suelo.

Estomas: Son grupos de dos o más células ubicadas en la epidermis de la hoja, comúnmente en el envés o la parte inferior; su función fisiológica es regular el intercambio gaseoso y la transpiración de la planta.

Floema: Es un tejido de transporte. Conduce azúcares y otros nutrientes desde los órganos donde se producen hacia los que los consumen y almacenan, de forma ascendente y descendente. Esta organizado en haces vasculares como filamentos longitudinales asociados con el xilema.

Flor: Es la estructura reproductiva típica de las plantas espermatofitas. Es un tallo corto de crecimiento determinado que lleva hojas modificadas estructural y

funcionalmente para producir los gametos y protegerlos.

Fruto: Es el órgano procedente de la flor o de partes de ella, contienen las semillas hasta que maduran y posteriormente ayudan a dispersarlas. Se puede decir que es un ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor.

Hoja: Es el órgano más versátil presente en las plantas, generalmente con forma laminar y estructura dorso ventral; se origina de los extremos apicales del brote, de yemas presentes en ramas y tallo. Su función principal es fotosintética al igual que realizar la respiración celular.

Raíz: Es el órgano encargado de absorber los nutrientes minerales y agua del suelo para transportarlos hacia las partes superiores de la planta; además de darle fijación a los distintos tipos de suelos.

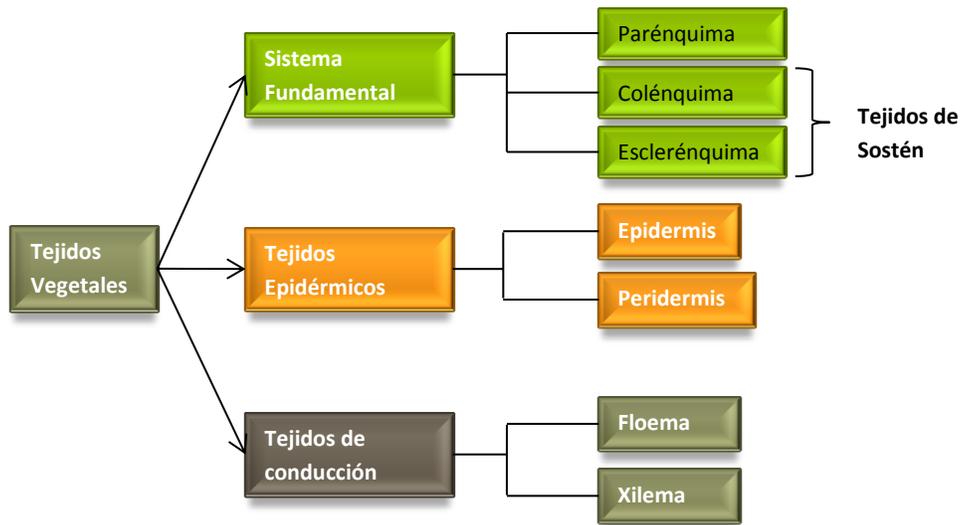
Tallo: Es el órgano dominante cuya función primordial es la de sostener estructuras como hojas, flores y fruto. Otros se modifican para transformarse en estructuras para el almacenamiento de sustancias de reserva o como estructura de propagación de la planta.

Traqueidas: Son células alargadas en forma de anillos concéntricos apilados uno sobre otro, para formar conductos o vasos que transportan agua y nutrientes a toda la planta.

Turgencia: Es la propiedad de las células para absorber agua e hincharse lo que pone tensa su membrana.

Xilema: Es un tejido complejo formado por varios tipos de células; relacionado con la conducción del agua y almacenamiento de sustancias que se extiende formando tubos continuos por todos los órganos de la planta.

RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Campbell, N; L. Mitchell, y J. Reece. (2001). *Biología, conceptos y relaciones*, 3a ed. México: Pearson Educación.

Endress PK. (2001). *Orígenes de la morfología vegetal*. Academic Press San Diego, CA: Wagner GP.

Experimentos caseros y sencillos de Biología. (s.f.) Extraído en noviembre de 2011 de <http://goo.gl/OZBOM>

Frutos colectivos y politalámicos. (s.f.). Morfología de plantas vasculares. Extraído en noviembre de 2011 de <http://goo.gl/aoTDD>

Fundacion Ciente. (s.f.). *Experimentos de biología online*. Extraído en noviembre de 2011 de <http://goo.gl/Yrc8Z>

Schooley J. (2000). *Introducción a la Botánica*. New York, USA: Delmar Publishers.

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. ¿Cuál de las siguientes características es de planta Dicotiledónea?

- a. La raíz se origina de la radícula
- b. No hay crecimiento secundario (leñoso)
- c. las flores son múltiplos de tres.
- d. Posee venas paralelas en las hojas.

2. Las Traqueidas son:

- a. el tipo de célula dominante en el Xilema de las angiospermas.
- b. se encuentran principalmente en musgos y hepáticas.
- c. son responsables de la conducción y soporte en muchas plantas terrestres.
- d. son características de las plantas no vasculares.

3. De los siguientes tejidos, ¿cuáles pertenecen a las hojas? Subraye.

- a. Clorenquima.
- b. Xilema.
- c. Traqueidas
- d. Brácteas
- e. Zarcillos

4. ¿Qué es una flor?

5. ¿Cuáles son las tres capas principales del fruto? Realice un esquema y señale las capas.

6. Al tener una flor en nuestras manos, ¿de qué manera podríamos saber si esa pertenece a las monocotiledoneas o a las dicotiledóneas?

7. ¿Qué son los tallos fotosintéticos? Explique y de dos ejemplos.

Lección 6. PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA ANIMAL

CONTENIDOS

- A. Los tejidos fundamentales.
 - 1. Epitelial.
 - 2. Conectivo.
 - 3. Nervioso.
 - 4. Muscular.
- B. Sistemas de comunicación del organismo.
 - 1. Sistema cardiorrespiratorio.
 - 2. Sistema inmunológico y linfático.
 - 3. Sistema endócrino.
- C. Sistema digestivo.
- D. Sistema excretor.

INDICADORES DE LOGRO

- 1. Caracteriza anatómicamente y ejemplifica estructuras formadas por los tejidos fundamentales.
- 2. Comprende las funciones que cumplen los distintos tejidos.
- 3. Describe la fisiología de los impulsos nerviosos y musculares.
- 4. Analiza las relaciones entre los distintos sistemas de órganos.
- 5. Utiliza adecuadamente conceptos de anatomía y fisiología.
- 6. Relaciona estructuras anatómicas entre distintos grupos animales.

PALABRAS CLAVE

Estructura, célula, tejido, matriz extracelular, sistema, fisiología, impulso, especialización.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

Estudiar la estructura y el funcionamiento básico de los seres vivos es fundamental para comprender diversos aspectos biológicos como: metabolismo, adaptaciones, relaciones evolutivas, analizar enfermedades, patrones de conducta, entre otros; permitiendo asimismo, extrapolar estas condiciones al cuerpo humano.

DESCRIPCIÓN

Se presentan los tejidos fundamentales que forman los animales, relacionándolos con los órganos y sistemas donde se encuentran, así como las funciones específicas de cada uno. Se aborda la fisiología de comunicación interna del organismo animal, así como los sistemas que permiten metabolizar nutrientes y excretar residuos. Se utilizan ejemplos del cuerpo humano y se contrasta entre distintos grupos animales.

Los animales conforman el grupo más diverso de seres vivos conocido, incluyendo cerca de 2 000 000 de especies vivas. Como *eucariotas* (dominio *Eukarya*), la asociatividad y grado de especialización celular en los animales puede llegar a ser muy complejo (Figs. 1 y 2).

Como se observó en la lección de *taxonomía y sistemática*, la estructura, forma y organización interna varía considerablemente entre los grupos animales. Los *parazoos*, por ejemplo, tienen un nivel de organización celular que no conforma tejidos; por tanto, su estudio se vuelve focalizado y no se abordará en la presente temática.

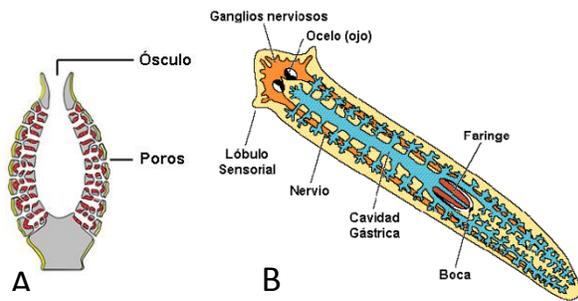


Figura 1. Diferencias anatómicas entre animales simples. A: Esponja (phylum porifera). B: *Planaria* (plathelminthes).

Es en el grupo *Eumetazoa* donde se presenta la mayor diversidad y complejidad del reino animal, frecuentemente minimizada en la tradicional diferenciación morfológica entre *vertebrados* (una clase) e *invertebrados* (organismos de todos los filos animales). No obstante, estos organismos conservan similitudes anatómicas y fisiológicas que serán el objeto de estudio a continuación, con un énfasis sobre los animales más familiares: Los *vertebrados* (Fig. 2).



Figura 2: Los vertebrados, animales con esqueleto interno, poseen una anatomía básica similar.

A. LOS TEJIDOS FUNDAMENTALES

En los *eumetazoos*, la estructura anatómica básica comienza a nivel tisular (tejidos), siendo éstos *unidades funcionales continuas formadas por agregaciones de células similares, más la "sustancia intercelular"* (solución o material donde se encuentran inmersas las células y que es secretado por ellas).

De acuerdo a su función principal, existen cuatro tipos de tejidos fundamentales animales; a partir de ellos, se constituyen los órganos y sistemas:

1. *Tejido epitelial.*
2. *Tejido conectivo o conjuntivo.*
3. *Tejido nervioso.*
4. *Tejido muscular.*

1. TEJIDO EPITELIAL

El tejido epitelial (*epitelio*) está formado por una *serie de células muy compactas, casi sin espacio intercelular, dispuestas en una o varias capas sucesivas que se encuentran en la superficie externa e interna del organismo animal, así como en las glándulas*, realizando una función de protección y secreción, respectivamente.

Dependiendo de la ubicación corporal, el epitelio puede dividirse en *externo* e *interno*. En ambos casos, un tejido epitelial usualmente presenta una capa inferior de tejido conectivo llamada *membrana basal*, que le delimita y proporciona soporte estructural y nutrientes (Fig. 3).

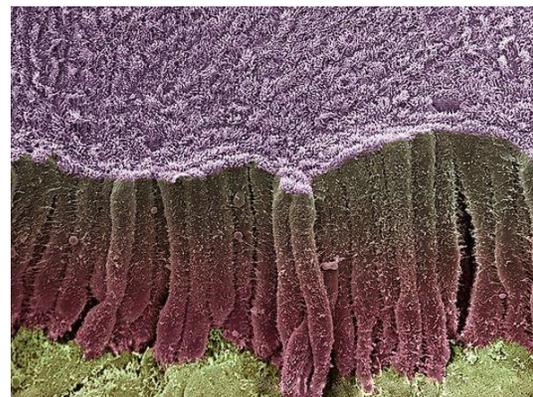


Figura 3. Corte de un epitelio. Células epiteliales (violeta) muy juntas y *membrana basal* (verde) subyacente.

Para clasificar los epitelios (ya sea externos o internos) se utilizan dos criterios básicos: La forma y número de las células en contacto con la membrana basal y, la geometría de estas células. Bajo dichas reglas, los epitelios pueden ser:

- *Simples*, si presentan una sola capa celular o *estratificados*, cuando tienen más de una.
- *Planos*, *cilíndricos* o *cúbicos*, dependiendo de la forma de sus células (Fig. 4).

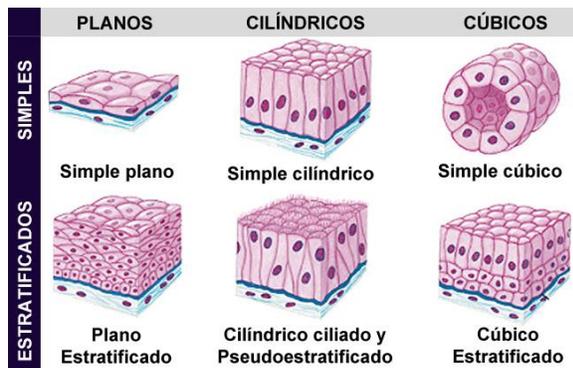
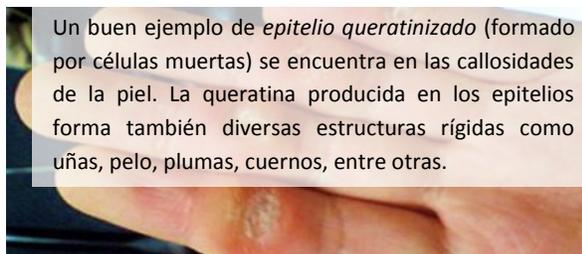


Figura 4. Tipos de epitelio de acuerdo con su anatomía.

En el epitelio plano estratificado la capa superficial se encuentra en constante renovación; o bien, al destruirse, las células producen la proteína *queratina*, que le brinda mayor firmeza. En tal caso se denomina epitelio *queratinizado*.



Algunos epitelios poseen modificaciones en su superficie para cumplir funciones específicas; por ejemplo, pueden presentar *cilios* para impulsar partículas, como ocurre en el *tracto respiratorio*; otros poseen *prolongaciones celulares* que incrementan su superficie de contacto, como en el intestino delgado.

1.1. Epitelio externo: La piel

El epitelio externo se encuentra distribuido casi exclusivamente en las capas de la *epidermis* de la piel, recubriendo ininterrumpidamente toda la

superficie externa en los mamíferos. Representa el órgano más grande en éstos y se constituye de tres capas sucesivas:

La epidermis, conformada por células epiteliales de tres estratos sucesivos: *córneo*, el más externo que se compone de células muertas; *espinoso*, donde se encuentra el pigmento de coloración *melanina*; y *germinativo*, una sola capa de células internas que reponen a las anteriores.

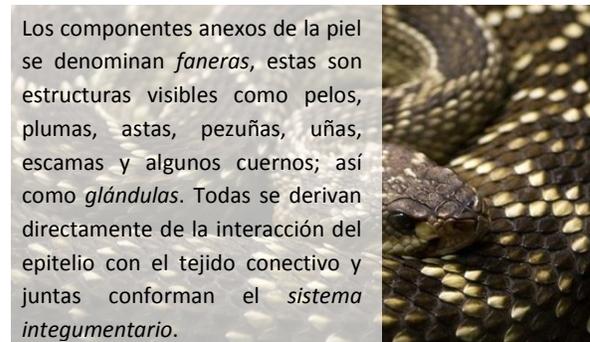


Figura 5. Células epiteliales planas de la epidermis.

La dermis, está compuesta por células de tejido conectivo que nutren a las epiteliales (Fig. 6).

El tejido subcutáneo. Es la capa más interna y su función es la reserva de sustancias grasas que da protección a vasos sanguíneos y nervios.

La piel presenta además fibras musculares que le confieren movimientos como el erizamiento, los reflejos y la orientación del pelo (Fig. 6).



Glándulas. Son formaciones de células epiteliales especializadas en la secreción o excreción. *Secretar*, es la liberación celular de una sustancia sintetizada por ella, la cual normalmente afecta a otras células en distintas partes del cuerpo (Figs.

7 y 8). La *excreción*, es la expulsión de sustancias de desecho inútiles al organismo.

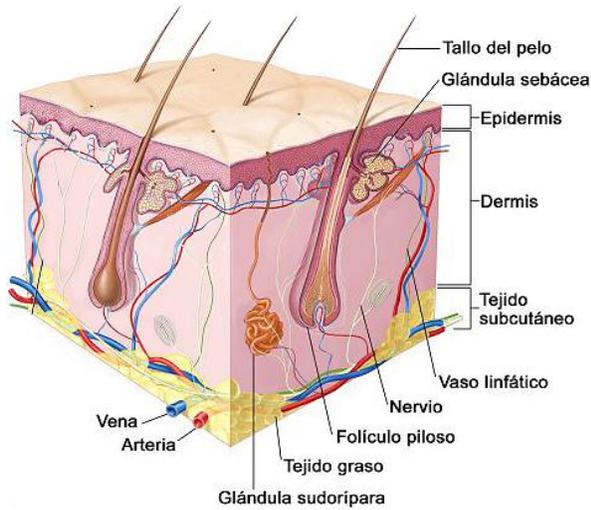


Figura 6. Esquema de las capas en la piel humana y ubicación de las glándulas en el tejido conectivo de la dermis.

Cuando las glándulas vierten su contenido al torrente sanguíneo se denominan *endocrinas*, mientras que si lo hacen hacia la superficie epitelial se llaman *exocrinas*. En la piel, las *glándulas exocrinas* más representativas son:

- *Folículos pilosos* (Fig. 9). Dan origen a los pelos, secretando queratina.
- *Glándulas sebáceas*. Secretan sustancias grasas para la lubricación de la piel.
- *Glándulas mucosas*. Excretan sustancias mucilaginosas (como baba) que humectan.
- *Glándulas sudoríparas*. En humanos secretan sudor y grasas sobrantes líquidas.
- *Glándulas ceruminosas*. Producen la cera en el canal auditivo.
- *Glándulas mamarias*. Una especialización de las glándulas sudoríparas para la producción de leche en los mamíferos.

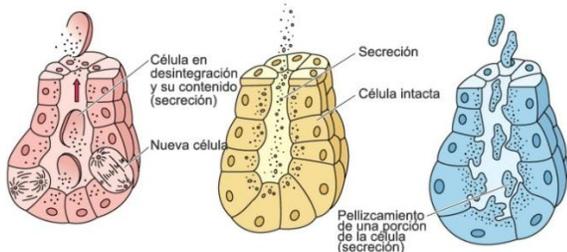


Figura 7. Diferentes tipos de secreción en las glándulas.

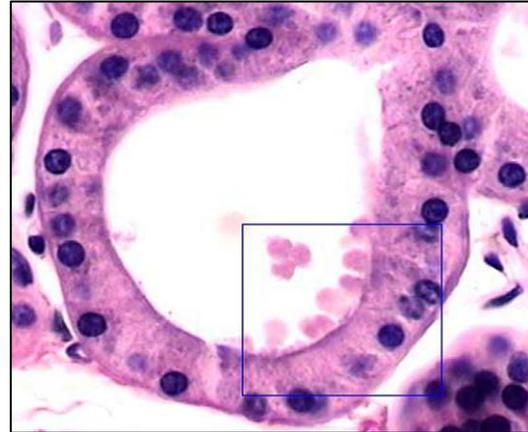


Figura 8. Corte de una glándula. Obsérvese la compactación de las células epiteliales: Núcleos en violeta y citoplasma en rosa. El recuadro marca la secreción glandular.

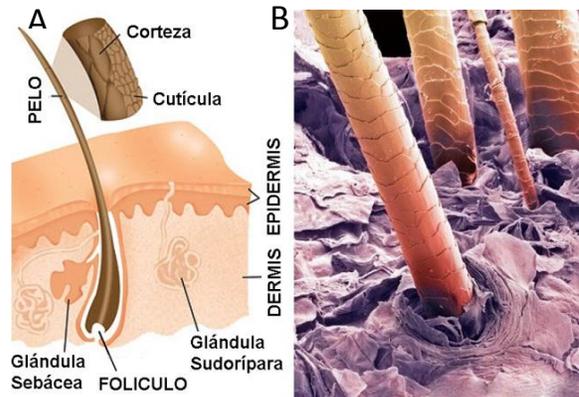


Figura 9. Cabello humano. A: folículo piloso. B: Micrografía.

1.2. Epitelio interno

Como su nombre lo indica, el epitelio interno se encuentra tapizando diversas cámaras internas del organismo, especialmente el tracto digestivo (Figs. 10 y 11) y el sistema respiratorio (en la mucosa), donde las células se especializan también en secreción de sustancias como las *enzimas*. El tejido epitelial recubre asimismo los vasos capilares en el sistema circulatorio y las vías urinarias.

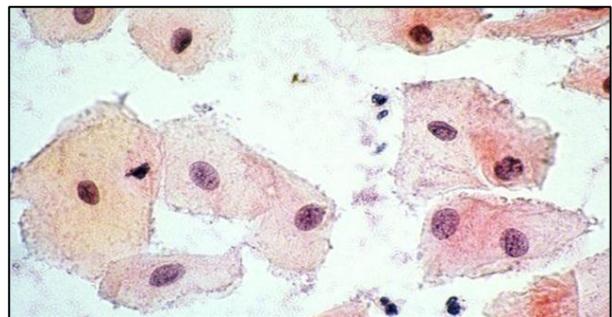


Figura 10. Células epiteliales que recubren la boca.

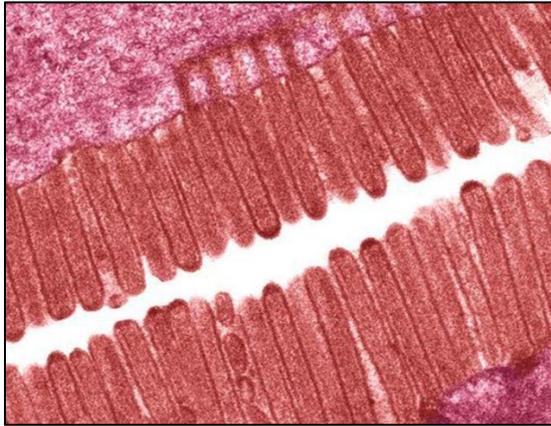


Figura 11. Epitelio que recubre el intestino delgado (células marrones). Estas proyecciones columnares incrementan la superficie de contacto para la absorber nutrientes.

1.3. Funciones de los epitelios

De acuerdo con su ubicación y especialización, los epitelios cumplen diversas funciones como:

Protección: Protegen las superficies libres contra daño mecánico, previenen la entrada de patógenos y regulan la pérdida de agua.

Secreción y excreción: Ocurre en las glándulas. Además, la vejiga urinaria está hecha de epitelio elástico para favorecer la expulsión de orina.

Absorción de sustancias: En el epitelio intestinal y estomacal (Fig. 11).

Recepción sensorial: Los epitelios albergan terminaciones nerviosas indispensables para los sentidos y forman los receptores de algunos órganos sensoriales.

Transporte: En el epitelio respiratorio, las células movilizan el moco al exterior mediante el movimiento de cilios. En las *trompas de Falopio*, transportan el cigoto al útero.

2. TEJIDOS CONECTIVOS

Son tejidos fibrosos distribuidos por todas partes del cuerpo; se componen de tres elementos básicos: las células especializadas, una *matriz extracelular* (sustancia fundamental) y las fibras (Fig. 12). A diferencia de los epitelios, las células se encuentran rodeadas por esta matriz.

Los tejidos conectivos reciben su nombre debido a que generalmente sirven de enlace entre diversas estructuras corporales, proveyendo de forma, resistencia, nutrientes y protección a otros tejidos.

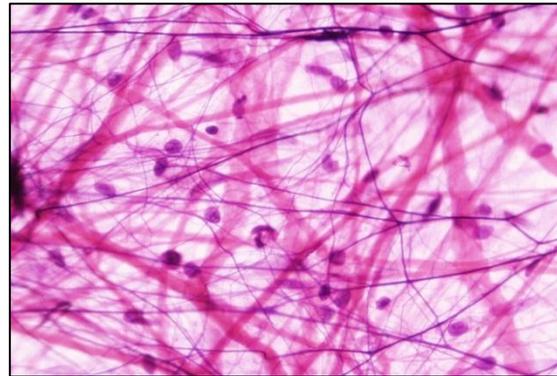


Figura 12. Corte de un tejido conectivo. Se observan las células muy separadas (gránulos violeta) y muchas fibras (líneas violeta y rosa), todas inmersas en la matriz (espacio blanco).

En los vertebrados, los tejidos conectivos son muy diversos y muchos de ellos se encuentran altamente especializados formando una gran variedad de estructuras físicas y de comunicación incluyendo tendones, huesos, cartílagos y sangre; de esta manera, aportan hasta el 70% del peso corporal de los animales.

Existen distintas clasificaciones para los tejidos conectivos. El criterio más básico prioriza su estructura fibrosa (Fig. 13), distinguiéndose dos tipos de tejidos conectivos: *laxos* y *densos*. Asimismo, los tejidos pueden clasificarse más específicamente de acuerdo a su especialización.



Figura 13. Micrografía electrónica de la estructura fibrosa.

2.1. Tejidos conectivos laxos

Son aquellos que poseen relativamente pocas fibras y mayor cantidad de células. Consta de dos porciones: una *proteica*, formada por las fibras de proteínas *elastina* y *colágeno*; y otra llamada *sustancia fundamental*, que en estos tejidos es un material translúcido de consistencia acuosa o gelatinosa donde se encuentran las células, fibras y otros componentes en solución (Fig. 14).

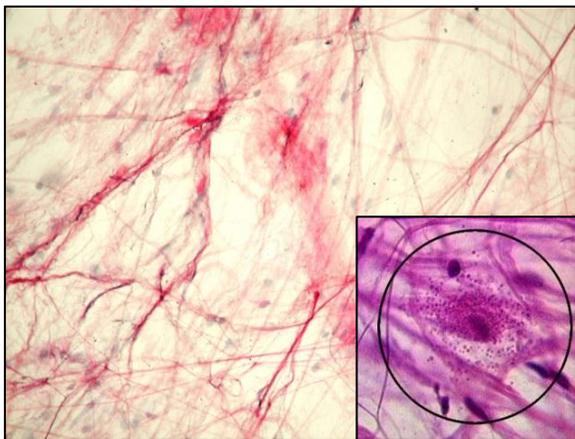


Figura 14. Corte de tejido conectivo laxo. No existe patrón en la distribución de fibras y células, que se encuentran muy separadas. En el recuadro, un acercamiento al fibroblasto.

Las células más importantes en el tejido laxo son:

- **Fibroblastos.** Son células que producen las fibras y la sustancia fundamental.
- **Fibroцитos** (Fig. 15). Son fibroblastos que han disminuido su actividad.
- **Células adiposas.** Son aquellas especializadas en generar y almacenar lípidos.
- **Macrófagos.** Son células encargadas de la defensa al digerir partículas extrañas.
- **Leucocitos** o glóbulos blancos. Son células encargadas de alertar ante cuerpos extraños e infecciones, pudiendo destruirlos.
- **Melanocitos.** Son células precursoras de la *melanina* que da color a piel y pelos.

2.2. Tejidos conectivos densos.

También llamados *densos ordinarios* cuando no están especializados, son los que presentan abundantes fibras dispuestas en forma compacta.

Los tejidos conectivos densos son de dos tipos:

Regulares, cuando las fibras colágenas se encuentran ordenadas, paralelas una de la otra, lo que les brinda fortaleza, pero a la vez flexibilidad y tracción en dirección a su posición. Este tejido conforma los tendones y ligamentos.

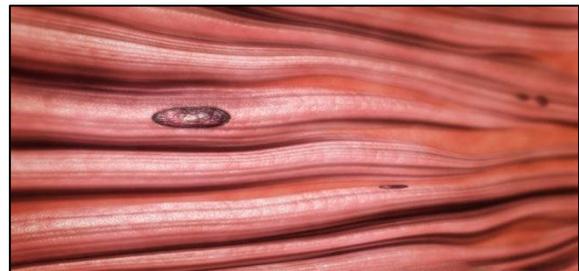


Figura 15. Tejido conectivo regular. Se observan fibras y fibroцитos (elipses oscuras), éstos se encuentran inactivos.

Irregulares, cuando las fibras de colágeno se disponen en forma aleatoria y con muy poca sustancia fundamental (Fig. 16). Se encuentra en cápsulas de algunos órganos como hígado y riñones, así como en la dermis, proporcionando protección contra el estiramiento excesivo.

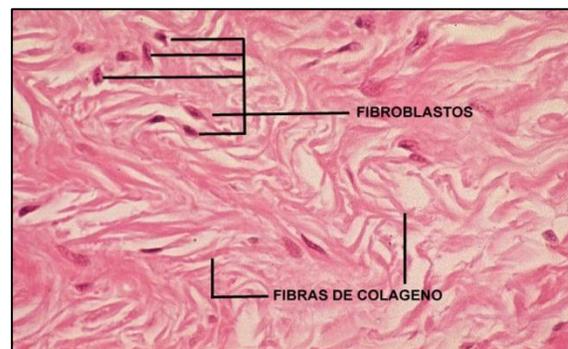


Figura 16. Tejido conectivo irregular. Las fibras presentan disposición aleatoria (rosa) y abundante matriz (blanco).

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... QUÍMICA

PROTEÍNAS TISULARES (de los tejidos)

Materiales. Un juego los siguientes utensilios por grupo:

- Vaso o taza.
- Cuchara.
- Cortaúñas.
- Gelatina incolora.

Más: Pañuelo, fósforos (encendedor), papel periódico, tijera, pinza para depilar, gotero, agua y una pluma.

Procedimiento

Divida al salón de clases en grupos de trabajo. Indíqueles cubrir el lugar de trabajo con papel.

Colágeno y cartílago

Pida que viertan el contenido del sobre de gelatina en medio vaso de agua (aproximadamente 350 g. de gelatina en 175 mL de agua). Se formará una pasta que deben homogenizar con la cuchara, de tal manera que la puedan sacar fácilmente con los dedos. Indíqueles que amasen esta pasta humedeciéndola con sus manos, hasta formar una bola que dejarán reposar 3-4 minutos.

Solicite que manipulen la bola de gelatina para sentir su textura y luego que la presionen levemente para observar como recupera su forma.

Explique que en el rostro existen estructuras que se comportan de manera similar y pregúnteles cuáles son (orejas y punta de la nariz). Cuando respondan interrogue *¿qué hay dentro de las orejas y punta de la nariz? ¿Es un tejido? Y, si lo es ¿qué tipo de tejido?*

Al llegar a la respuesta lance preguntas como: *¿qué tipo de proteína es abundante en el tejido cartilaginoso? de acuerdo con lo que han visto ¿qué propiedades tiene? ¿En qué otras estructuras se encuentra? entonces ¿De qué estructuras animales está hecha la gelatina?*

Queratina y faneras

Pase un voluntario al frente y véndele los ojos con el pañuelo. Luego córtele un par de cabellos con la tijera y muéstreselos al resto de estudiantes. Finalmente, extraiga otro cabello utilizando la pinza y espere la reacción de la persona. Pregunte a la clase *¿a qué se debió la reacción del sujeto? ¿Cuál es la diferencia entre cortar y tirar de un cabello? ¿Dónde se originan estas estructuras?*

Encienda un fósforo e introduzca en la llama los cabellos cortados. Luego interrogue *¿qué tipo de reacción ha ocurrido? ¿Qué tipo de compuesto orgánico forma los cabellos? ¿Qué otras estructuras animales contienen queratina? Y ¿cómo creen que podemos saberlo?*

Solicite que por grupo repitan el ejercicio de quemar un cabello y cuando lo hagan pregunte: *¿Notan el olor característico? Ahora invite a que corten un fragmento de uña de un compañero de equipo (con el cortaúñas) y lo quemen. Luego pregunte: ¿perciben el mismo olor? ¿Qué significa esto?*

Explique que la queratina es una proteína azufrada que al combustionar, el compuesto volátil resultante se percibe con ese olor comúnmente llamado “cacho quemado” porque así huelen los cuernos de res al quemarlos.

Esta proteína es también impermeable. Para probarlo tome un poco de agua con el gotero y vierta unas gotas sobre la pluma inclinada a unos 30° (no se mojará). Luego quemé la pluma y pregunte *¿de qué está hecha?*

2.3. Tejidos conectivos especializados.

Como se mencionó antes, dependiendo de las modificaciones que presenten para cumplir con una función determinada, los tejidos conectivos toman distintos nombres; así por ejemplo, a los tejidos de función no específica se les denomina generalizando “tejidos conjuntivos”. Por otra parte, los tejidos especializados adquieren nombres propios, siendo los más importantes:

Adiposo o graso. Es el tejido especializado en la acumulación de lípidos para reserva energética del organismo. Sus células, los *adipocitos*, relegan su protoplasma y núcleo para contener una gota de grasa. Otras funciones del tejido incluyen la protección mecánica de órganos, aislante térmico y la ejecución de ciertas reacciones metabólicas.



Figura 17. Micrografía electrónica del tejido adiposo. Los adipocitos (naranja) se distribuyen entre las fibras (gris).

Óseo. Es un tejido denso especializado en la formación de huesos. Está formado por células llamadas *osteocitos*, las cuales secretan una sustancia *osteóidea* que se endurece (o calcifica), dándole la estructura sólida a los huesos.

Las células productoras *osteoblastos* forman fibras y enzimas que permiten la deposición de minerales, especialmente calcio, en un patrón laminar concéntrico que les brinda mayor resistencia ante la torsión, tracción y presión. Cuando los osteoblastos quedan incluidos dentro de la trama de fibras, estos se transforman en osteocitos o células óseas (Fig. 18).

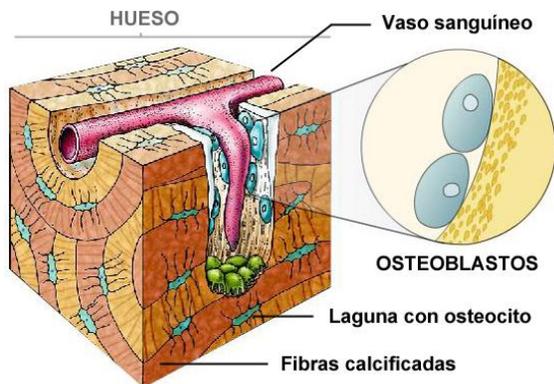


Figura 18. Esquema de tejido óseo mostrando osteocitos. Los osteoblastos se localizan en lagunas.

A partir de los osteocitos se forman dos tipos de hueso: *esponjoso* y *compacto*, ambos contiguos. En el hueso esponjoso las fibras se disponen en forma de *espículas* (aguja) y placas que conforman una red porosa (Fig. 19), así como en conductos por donde se nutre el hueso (*conductos de Harvers*).

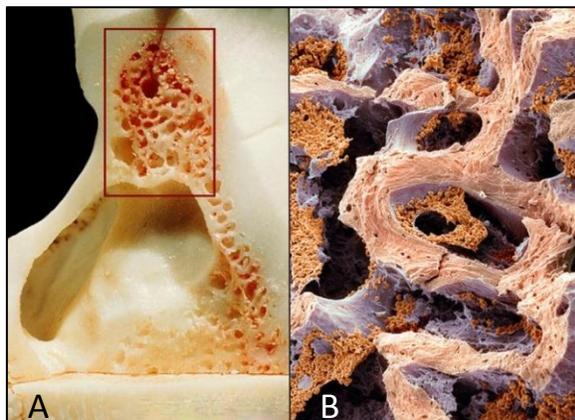


Figura 19. Ubicación y estructura del tejido óseo esponjoso. A: Localización en un hueso humano. B: Micrografía de la red porosa, en ella se encuentra inmersa la médula ósea, donde se producen células sanguíneas (gránulos naranja).

El hueso compacto se dispone en estructuras laminares bien definidas que forman *osteones* o *sistemas de Havers* (Figs. 20 y 21). Los osteocitos se colocan en zonas llamadas *lagunas*. Este tejido recubre la parte externa de los huesos en individuos adultos.

Los huesos maduros (Fig. 22) constituyen órganos altamente vascularizados con una estructura bien definida que, junto a tendones, ligamentos y

cartílagos, forman el *sistema esquelético*. Las funciones de los huesos incluyen el sostén, almacenamiento de minerales, protección y *hematopoyesis* (formación de elementos de la sangre).

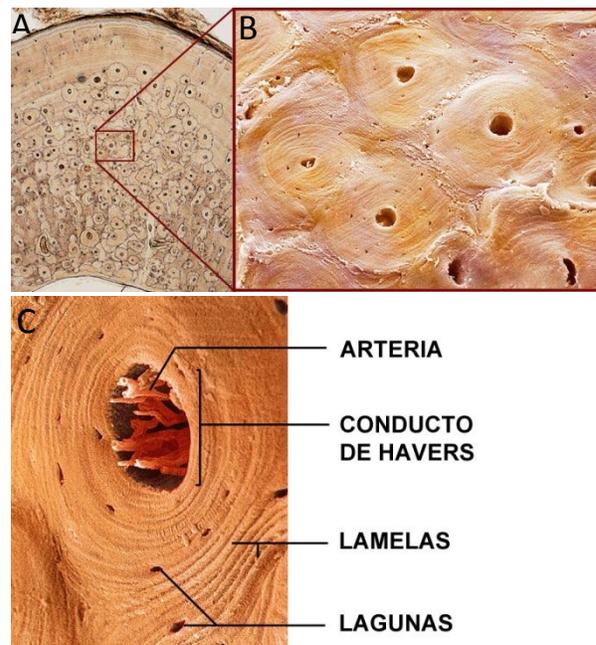


Figura 20. Estructura del hueso compacto. A: Corte de tejido óseo. B: Detalle de la estructura. C: Partes del osteón.

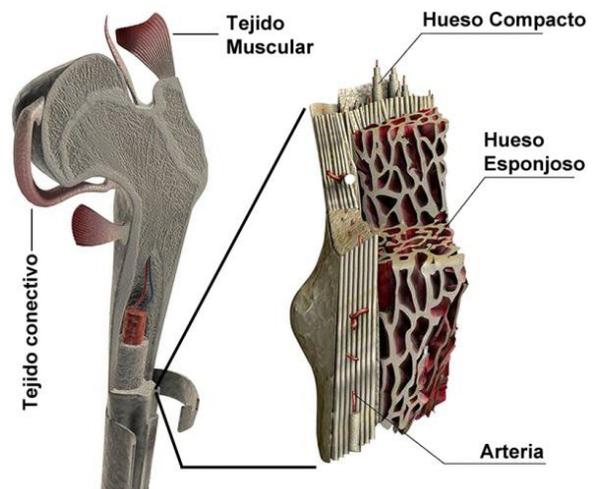


Figura 21. Anatomía del hueso humano.

Cartilaginoso. Es una variedad especial del tejido conectivo que no alcanza la dureza del óseo. El cartílago está formado por células llamadas *condrocitos*, fibras colágenas y elásticas, más la matriz extracelular (Fig. 22). Existen tres tipos básicos de cartílago:

- *Cartílago hialino*: De aspecto cristalino, está formado por condrocitos, fibras colágenas y elásticas que le confieren una elasticidad característica. Recubre huesos y articulaciones reduciendo la fricción entre ellos.
- *Cartílago elástico*: Es una combinación de sustancia cartilaginosa con fibras elásticas.
- *Cartílago fibroso*: Se compone de fibras colágenas y condrocitos. Se encuentra especializado en resistir la presión.

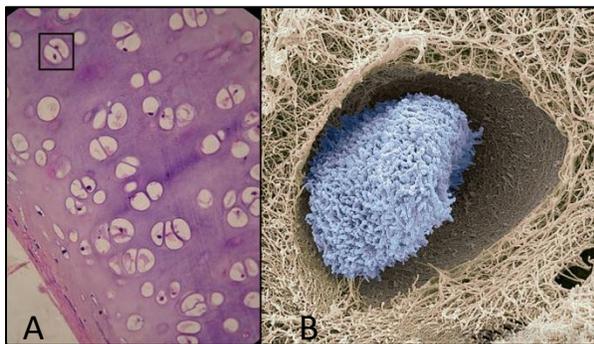


Figura 22. Cartílago hialino. A: Corte al microscopio óptico. El recuadro muestra los condrocitos. B: Micrografía electrónica de un condrocito anidado entre las fibras.

¿Es la sangre un tejido?

La sangre es el único tejido fluido en los vertebrados. Se considera una especialización de tejido conectivo debido a su origen común, donde las células que lo conforman (principalmente eritrocitos o glóbulos rojos) se encuentran inmersas en una matriz coloidal.



2.4. Funciones de los tejidos conectivos.

Dadas su diversidad y abundancia, los tejidos conectivos poseen múltiples funciones como:

Sostén y relleno: Los tejidos epitelial y muscular están asociados al tejido conectivo que les sirve de soporte y rellena los espacios entre las células.

Protección de órganos: Los tejidos conectivos envuelven a los órganos y forman los huesos que protegen estructuras internas; asimismo, las fibras colágenas constituyen tabiques en el

interior de distintos órganos, constituyendo el *estroma*.

Almacenamiento: el tejido adiposo representa la mayor reserva nutritiva. La matriz extracelular también almacena agua, electrolitos y proteínas. Se calcula que un tercio de las proteínas plasmáticas se encuentra en ella.

Defensa: Los tejidos conectivos contienen células fagocitarias y células productoras de anticuerpos.

Reparación: Las áreas de tejido conectivo destruidas por inflamación o lesiones traumáticas son reconstruidas por la proliferación del conectivo adyacente.

Transporte: El tejido conectivo transporta sustancias nutritivas de los capilares sanguíneos a los diversos tejidos. Transporta también productos de desecho del metabolismo en el sentido inverso.

Conexión y nutrición: Muchos tejidos conectivos forman una interfaz entre distintos tejidos, órganos y sistemas, proveyéndolos además con nutrientes.

3. TEJIDO NERVIOSO

Se compone de células nerviosas o *neuronas* y por *células de la glía*. (Fig. 23). Aún sin formar tejidos, las neuronas se encuentran presentes en todos los eumetazoos y su función principal es la percepción y coordinación corporal.

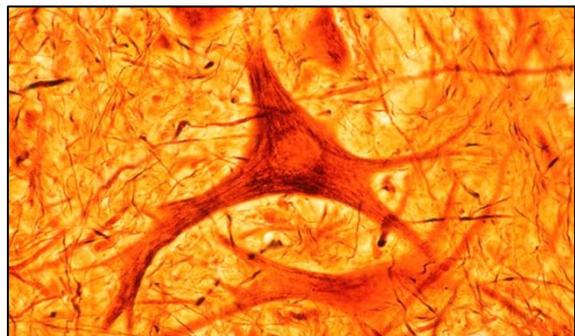


Figura 23. Micrografía del tejido nervioso. Se encuentra formado por células de la glía o neuroglia (naranja oscuro) y neuronas (naranja claro).

En los vertebrados, el tejido nervioso es el principal componente del *Sistema Nervioso* (SN), una red de conexiones especializada en la conducción de *impulsos bioeléctricos* integrada por el cerebro, espina dorsal y nervios.

Las células que componen el SN se dividen en dos categorías:

Células de la neuroglia: Son células variadas que integran el armazón de tejido conectivo del SN y tienen diversas funciones; entre ellas, brindar sostén, nutrición, defensa y aislamiento recíproco de las neuronas (Fig. 24).

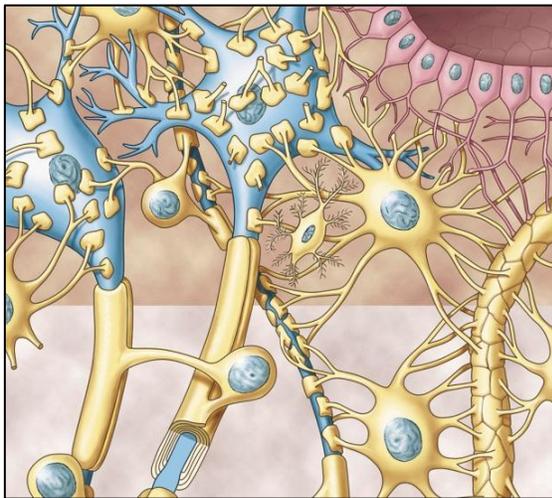


Figura 24. Esquema de las células nerviosas. Las neuroglías (amarillo), sostienen y aíslan a las neuronas (azules). Las células epiteliales (rosa) brindan protección.

Neuronas: Son células grandes, cuyo *soma* (cuerpo) puede alcanzar un diámetro de hasta 0.1 mm. Están altamente especializadas en la percepción y conducción rápida de estímulos, relegando otro tipo de funciones metabólicas. Una neurona consta de las siguientes partes:

- **Cuerpo celular.** Es el protoplasma de la célula con sus distintivas prolongaciones.
- **Prolongaciones del cuerpo.** Son de distintos tipos (Fig. 25):
 - **Dendritas.** Son filamentos cortos que permiten el contacto entre neuronas, a estos contactos se les denomina *sinapsis*.

- **Axones.** Son largas prolongaciones que sirven como transmisores de las excitaciones procedentes de su propia neurona hacia los órganos efectores.

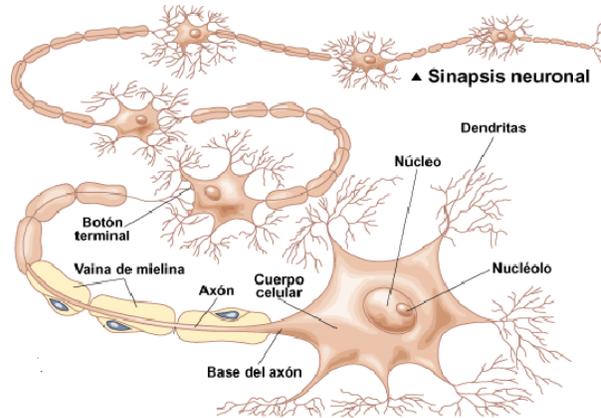


Figura 25. Esquema de una neurona mostrando sus partes.

Para su estudio, el SN se divide en 2 partes: *Central* y *Periférico*.

3.1. Sistema Nervioso Central (SNC)

Comprende la mayoría del sistema nervioso. En los vertebrados está formado por el *encéfalo*, que se subdivide en *cerebro*, *cerebelo* y *tallo cerebral*, constituyendo los centros nerviosos del cráneo; así como la *médula espinal*, que incluye los centros nerviosos contenidos en la columna vertebral (Fig. 26).

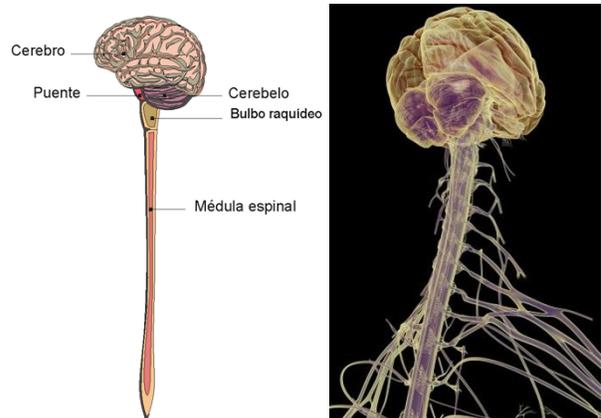


Figura 26. Sistema nervioso central. A: Partes principales. B: Vista dorsal del SNC y acoplamiento de los nervios (violeta).

El SNC integra la información que recibe del medio y coordina la actividad de todas las partes del cuerpo en los animales del grupo *Bilateria* a través del *sistema nervioso periférico*.

En los vertebrados, los órganos del SNC se encuentran recubiertos por membranas llamadas *Meninges*; distinguiéndose en el interior, dos estratificaciones aparentes: La *sustancia blanca*, compuesta en gran parte por fibras nerviosas medulares, y la *sustancia gris*, más blanda, muy vascularizada y compuesta en su mayoría por cuerpos celulares.

3.2. Sistema Nervioso Periférico (SNP)

Consiste de los nervios y *ganglios nerviosos* externos al encéfalo y médula espinal (Fig. 27). Se divide de dos partes: *somático* y *autónomo*.

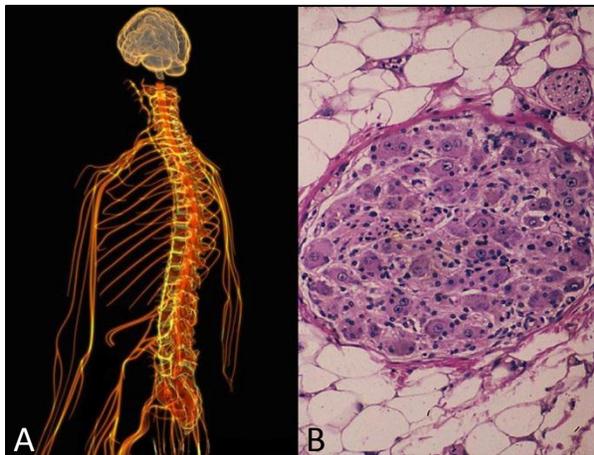


Figura 27. Sistema nervioso periférico humano. A: Nervios (líneas naranjas). B: Corte transverso de un *Ganglio Nervioso*. Consisten en aglomeraciones de células nerviosas.

Sistema Nervioso Somático (SNS). Es la parte del SNP asociado al control voluntario del cuerpo a través de los músculos esqueléticos. Consiste de nervios eferentes capaces de estimular la contracción muscular, incluyendo las neuronas no sensoriales conectadas a la piel.

Sistema Nervioso Autónomo. Es la parte del SNP que controla el movimiento visceral involuntario. Entre sus funciones más importantes está la tasa de respiración, latidos del corazón, digestión, entre otras; no obstante, algunas de estas acciones trabajan en conjunto con la mente consciente como el respirar o excretar.

3.3. Los sistemas sensoriales.

Son las partes del sistema nervioso responsables de recibir y procesar información sensitiva procedente del medio externo, tales como luz, ondas sonoras, temperatura, presión, químicos, entre otros. Cada sistema sensorial consta de *receptores*, órganos especializados en captar estímulos; *rutas neurales*, nervios que comunican los receptores con el SNC; y un área del cerebro involucrada en la percepción sensorial, donde se analiza la información captada por los receptores.

Los sistemas sensoriales más comunes en los vertebrados son: la vista, el olfato (Fig. 28), el gusto, el tacto y el auditivo; no obstante, ciertos grupos poseen sentidos extra o bien carecen de alguno de los anteriores.

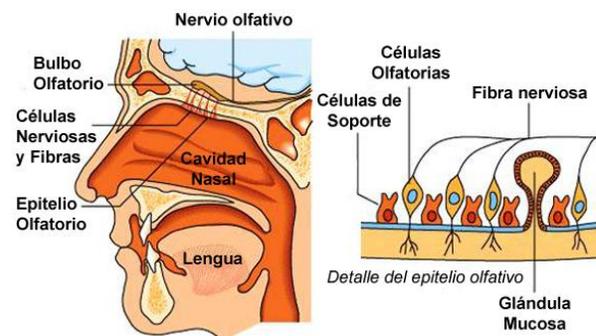


Figura 28. Estructuras del sistema olfativo humano. Nótese cómo intervienen diversos órganos y tejidos además del sistema nervioso.

En los invertebrados, los receptores y las rutas de los sentidos son muy diversos, dependiendo en gran medida de la complejidad del animal y de las adaptaciones de éste; sin embargo, el principio funcional de percepción es el mismo.

3.4. Fisiología del impulso nervioso.

Una de las características más importantes de los animales es su capacidad de percibir estímulos del ambiente y responder ante ellos a través de impulsos nerviosos. Estos son mensajes electroquímicos originados en el SNC o en los órganos de los sentidos que se transmiten por los nervios (axones de las neuronas) y a través de conexiones celulares llamadas *sinapsis*.

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... FÍSICA

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Puede realizar esta actividad como introducción a la fisiología del impulso nervioso, para establecer los principios básicos de potencial bioeléctrico y transporte a través de la membrana plasmática.

Materiales: Por grupo, un juego de los utensilios para el circuito, y por salón los materiales de la demostración.

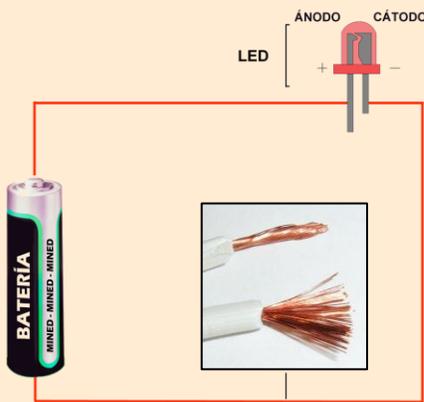
Circuito

- Batería de 1.5 voltios.
- Alambre delgado de cobre esmaltado.
- Cinta aislante.
- LED (bombillo tipo foco).
- Navaja.

Demostración

- Bolsa plástica transparente (1 Lb).
- Sal de mesa (NaCl).
- Agua.
- Cuchara.
- Aguja.
- Recipiente pequeño.
- Vaso (250-350 mL.).

Procedimiento: divida a sus estudiantes en grupos y pídale que elaboren un circuito utilizando los materiales listados para tal fin, de acuerdo a la figura siguiente:



Indique hacer todas las conexiones del alambre, quitándole con la navaja la protección plástica de las puntas y fijándolo con cinta aislante, en primer lugar al LED y luego a la batería; para esto último, deben fijar un alambre en la parte superior y otro en la parte inferior debido a que en esos puntos se generan la diferencia de potencial eléctrico.

El LED debe encender una vez armado el circuito (si es necesario apagar luces del salón, o usar dos baterías). Cuestione al grupo: *¿por qué se enciende el LED? ¿Cuál es la fuente de energía que alimenta el LED? ¿Qué sucediera si interrumpimos el circuito cortando uno de los alambres?*

Pida a sus estudiantes que corten uno de los alambres para interrumpir el circuito y que le quiten la protección plástica a ambos extremos. Ahora indique que junten ambos extremos en la lengua de un voluntario.

Solicite a la persona voluntaria que explique lo sucedido (no es necesario que el LED encienda). Repita el procedimiento juntando ambas puntas del alambre con una moneda. *¿Qué ocurre?* (el LED debe encender) Interrogue a la clase *¿por qué el cuerpo humano conduce la electricidad al igual que el metal?*

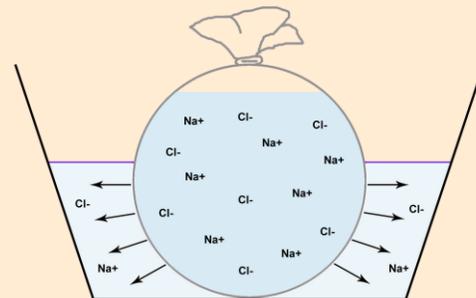
Explique que el fenómeno se debe a que las células y la matriz celular poseen iones que permiten el flujo de electrones. El cambio en las cargas (cambio de potencial eléctrico) genera un impulso bioeléctrico por el cual las neuronas transmiten señales. Para comprobarlo realice la siguiente prueba:

Vierta agua en el vaso hasta la mitad y sumerja ambos extremos del alambre en ella ¿qué ocurre? El LED no debe encender. Ahora elabore una solución salina diluyendo dos cucharadas de sal de mesa (NaCl) en el mismo vaso y sumerja nuevamente el alambre (el LED debe encender). Pregunte *¿qué propiedades tiene la sal para que ocurra este fenómeno?*

Trasiegue la solución a la bolsa plástica y amárrela para luego colocarla dentro del huacal. Adicione agua al huacal de manera que rodee la bolsa con solución hasta la mitad. Compruebe que el circuito se mantiene interrumpido sumergiendo los extremos cortados del cable en el agua. Ahora, mientras se mantiene sumergida, abra varios hoyos en la bolsa utilizando la aguja.

La solución interna comenzará a mezclarse con el agua como se aprecia en el diagrama superior. Luego de 5 min. compruebe que el circuito conduce la electricidad si sumerge los extremos del cable en el líquido del huacal.

Explique que la bolsa simula el protoplasma de una célula y su membrana, mientras que el huacal supone la matriz extracelular. Al abrir agujeros se forman canales que dejan pasar los iones en solución de un medio a otro, como lo hace la membrana plasmática para distribuir cargas; sin embargo, debe recalcar que el proceso celular es selectivo (en este caso fue general), por lo que supone un enorme gasto de energía.



Los receptores sensitivos (internos o externos), como los oídos, transforman los estímulos en impulsos nerviosos; en este caso, ondas sonoras en mensajes codificados que, a través de las fibras sensoriales, llegan al cerebro donde son interpretadas. En sentido inverso, el SNC envía impulsos nerviosos a los músculos o vísceras para efectuar el movimiento.

El proceso de transmisión de señales ocurre alterando la concentración de cargas iónicas en el interior de las neuronas, lo que cambia la polaridad de la membrana (*depolarización*). Normalmente, el medio interno de la membrana es negativo con respecto de la matriz debido a la abundancia de iones orgánicos con esta carga; asimismo, el medio externo es rico en iones positivos sodio (Na^+) y potasio (K^+) (Fig. 29). Cuando un estímulo alcanza el *umbral* (límite inferior de sensación) de la neurona (Fig. 30), ésta bombea Na^+ hacia su interior, cambiando la polaridad interna a positiva. Este cambio se propaga rápidamente a través del axón (Fig. 31). Inmediatamente después, la membrana expulsa cargas positivas K^+ para recuperar la polaridad negativa (*repolarización*), preparándose para transmitir un nuevo impulso.

3.5. Funciones del sistema nervioso

La diversidad de funciones del sistema nerviosos pueden resumirse de la siguiente manera:

- Percepción de sensaciones.
- Integración corporal.
- Control de músculos y glándulas.
- Actividad mental.

4. TEJIDO MUSCULAR

Es el tejido fundamental formado por células alargadas con alto contenido proteico, altamente especializadas en la contractibilidad y conducción de estímulos. Típicamente se disponen en fibras, teniendo como función principal el movimiento corporal, tanto externo como interno.

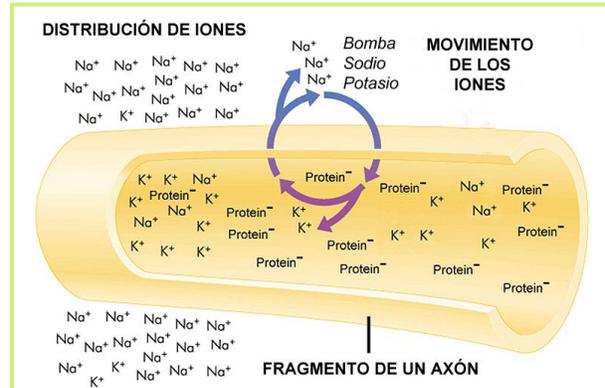


Figura 29. Distribución y movimiento de cargas alrededor del axón. Los iones orgánicos están representados por proteínas.

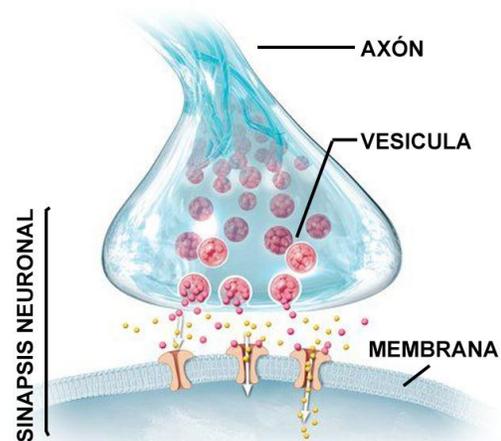


Figura 30. La sinapsis neuronal es el espacio de interacción entre dos neuronas. Al ser estimuladas, las células sensitivas liberan a estos espacios sustancias llamadas *neurotransmisores* (rosa); los cuales, promueven el paso de iones (amarillos) para la depolarización.

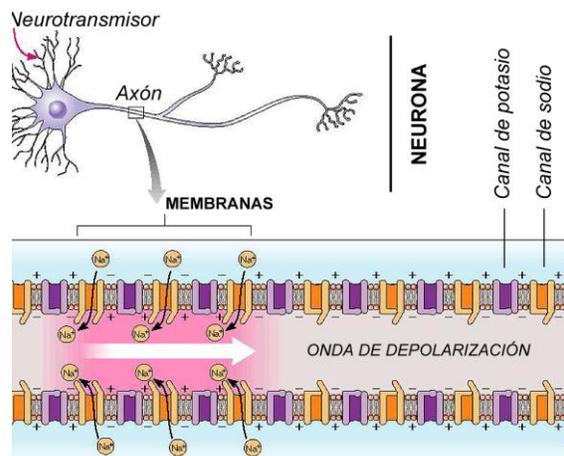


Figura 31. La onda de depolarización viaja a través del axón y de una neurona a otra.

Los tejidos musculares de los diferentes grupos animales, aunque cumplen las mismas funciones y presentan una apariencia fibrosa similar, son estructuralmente diversos (Fig. 32).

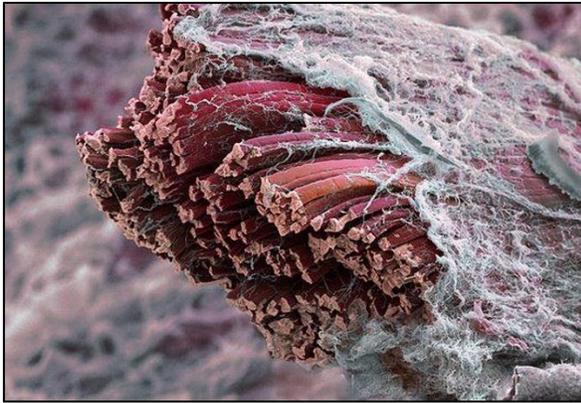


Figura 32. Micrografía electrónica de un tejido muscular.

Las células especializadas en la contracción o *miocitos*, se encuentran presentes en todos los animales, incluyendo los poríferos. A medida que incrementa su integración, los miocitos se disponen en fibras que conforman los tejidos musculares. En los mamíferos, los músculos constituyen órganos complejos que presentan las siguientes características:

- **Elasticidad:** Es la capacidad del músculo para distenderse, protegiéndose de estiramientos repentinos.
- **Excitabilidad o irritabilidad:** Es la capacidad de activarse ante un estímulo, ya sea por *vía directa* a través de las fibras nerviosas o por *vía indirecta* prescindiendo de éstas.
- **Contractibilidad:** Es la respuesta del músculo ante un estímulo.
- **Conductividad:** Es la capacidad de transmitir un impulso a lo largo de las fibras musculares.

Dependiendo de dónde ocurra la contracción de los músculos, éstos pueden generar la contracción de vísceras huecas o de estructuras *osteotendinosas* (huesos y tendones). Como se mencionó antes, el movimiento es coordinado por el sistema nervioso pudiendo ser voluntario o

involuntario. Para estas funciones, se distinguen tres tipos de tejido muscular en los mamíferos:

4.1. Músculo estriado esquelético

Típicamente son de color rojo y presentan bandas (estrías) transversales visibles sólo con el microscopio (Fig. 33). Su nombre se debe a que en la mayoría de ocasiones se encuentra en contacto directo o indirecto con el esqueleto.



Figura 33. Micrografía del músculo esquelético. Las estrías se deben al patrón donde se enlazan las proteínas.

Cada músculo está compuesto por *fascículos*, que son paquetes de células musculares también llamadas *fibras*. Estas células son multinucleadas y presentan dentro de su citoplasma varios haces proteicos llamados *miofibrillas*, que a su vez se componen de filamentos de proteínas (Figs. 34 y 35), principalmente *actina* y *miosina*.

Cada célula contiene miles de miofibrillas separadas en unidades funcionales llamadas *sarcómeros*, donde ocurre la contracción.

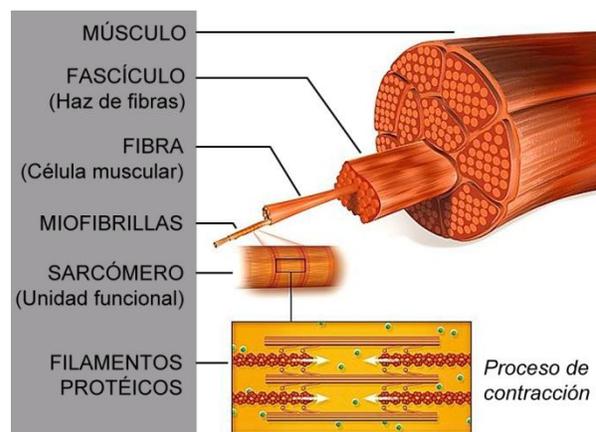


Figura 34. Estructura del músculo esquelético.

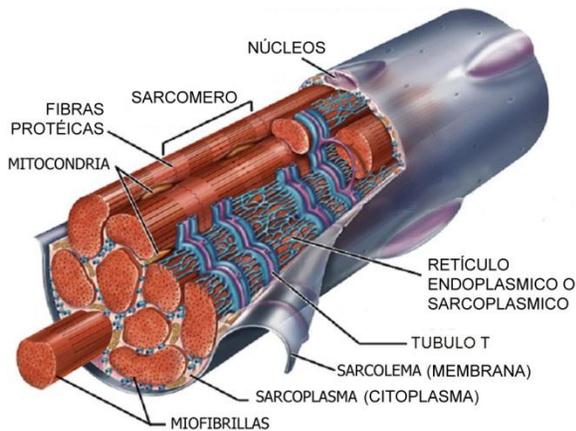


Figura 35. Detalle de una fibra muscular. Nótese la abundancia de núcleos y mitocondrias. Las estructuras celulares más especializadas reciben nombres distintos.

4.2. Proceso de *contracción muscular*. Como se mencionó antes, la estimulación del músculo esquelético es controlada por el SNS, siendo voluntaria; no obstante, la fisiología de la contracción involuntaria ocurre de forma similar.

El proceso comienza cuando el SNC envía un impulso nervioso hacia el músculo. En la *sinapsis* entre ambas células se libera *Acetil-colina*, una *enzima* que promueve la depolarización en la membrana de la fibra muscular a través del paso de iones Na^+ y K^+ (como ocurre en las neuronas). Este cambio de carga activa la entrada de iones calcio (Ca^{+2}) a la fibra, los cuales se conducen por el retículo endoplásmico hasta las miofibrillas; en ese sitio el Ca^{+2} se adhiere a proteínas anexas que en condiciones de relajación impiden la unión entre filamentos de *actina* y *miosina*, inhibiendo su función y permitiendo que se contraigan (Fig. 36).

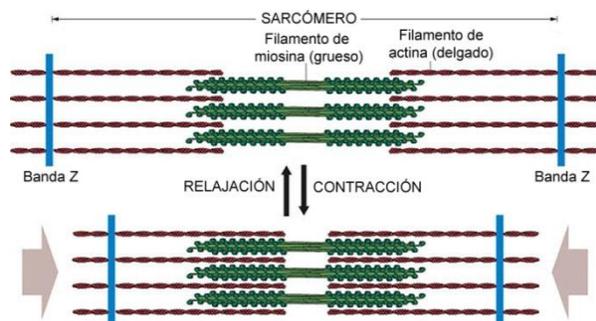


Figura 36. Movimiento de los filamentos proteicos en el sarcómero durante la contracción muscular.

4.3. Músculo estriado cardíaco

Como su nombre lo indica está presente en el corazón. Difiere del músculo esquelético en que las células se agrupan en forma de red (Fig. 37), algunas son bifurcadas y se encuentran unidas por discos intercalares. De igual manera, poseen un abundante suministro sanguíneo para soportar su intensa actividad.

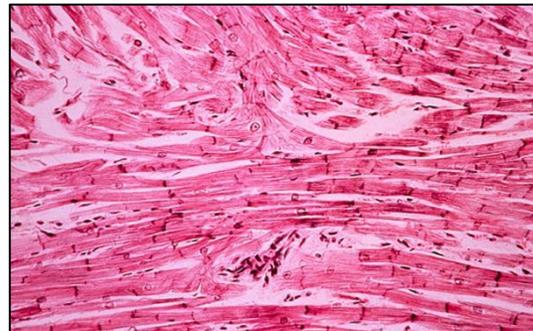


Figura 37. Corte de músculo cardíaco humano.

Entre las diferencias funcionales, el músculo cardíaco dispone de su propio sistema productor y transmisor de estímulos a través del SNA, por lo cual es involuntario. Asimismo, basta que un solo estímulo alcance el umbral para desencadenar el proceso de contracción total de la estructura.

4.4. Músculo liso

Es también llamado visceral, debido a que se encuentra en los órganos. Las fibras musculares lisas son más simples, no presentan estrías (Fig. 38) y las membranas celulares no se encuentran bien delimitadas debido a la presencia de conexiones protoplasmáticas entre ellas, lo que les permite transmitirse estímulos; no obstante, estos son más lentos.

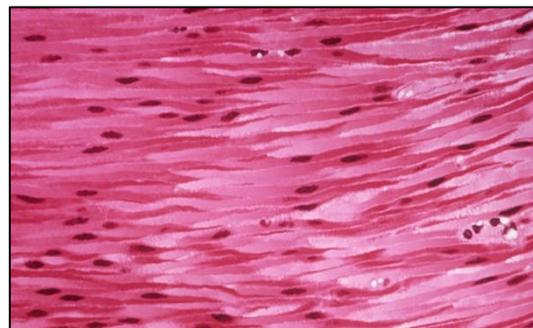


Figura 38. Corte de músculo liso (contracción involuntaria).

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 45 minutos)**LOS MÚSCULOS Y EL SISTEMA NERVIOSO**

Con la siguiente serie de ejercicios se pretende evidenciar algunas interacciones entre el sistema muscular y nervioso.

Materiales: Pañuelo de algodón, sábana, martillo pequeño, cinta adhesiva, algodón, vela y fósforos.

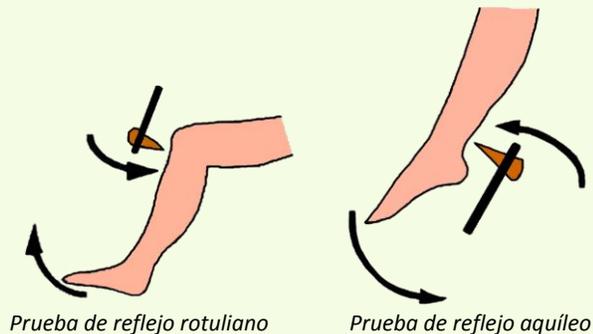
LOS REFLEJOS: Son las respuestas automáticas de un órgano efector (músculo o glándula) ante un estímulo adecuado. El estímulo para provocar una respuesta refleja implica una entrada al sistema nervioso central desde los receptores periféricos, incluyendo músculo, articulación y piel. La respuesta usualmente involucra la contracción de las fibras de los músculos estriados esqueléticos, glándulas, etc., estimulada por un impulso nervioso.

- Previamente forre el extremo golpeador del martillo con cinta adhesiva y algodón o tela.

- Tome al menos una persona voluntaria por cada una de las siguientes pruebas:

Reflejo rotuliano. Siente a una de las personas de tal manera que le cuelguen los pies. Aplique un golpe seco y suave con el martillo en el tendón debajo de la rótula. Observará una extensión de la pierna (ver esquema).

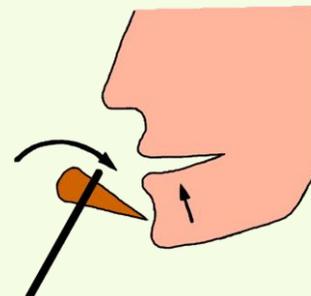
Repita el proceso con otra persona e interrogue a la clase: *¿es esta acción voluntaria? ¿Qué tipo de músculo interviene? ¿Por qué ocurre el movimiento?*



Reflejo aquileo. Acueste boca abajo a la persona voluntaria y pida que flexione la rodilla hacia arriba. Golpee con el martillo en el tendón de Aquiles. Observará una flexión del pie (ver esquema).

Reflejo mentoniano. Pare a la persona voluntaria de frente, con la boca entreabierta. Aplique un golpe hacia abajo sobre el mentón, y la respuesta es la subida de la mandíbula y el cierre de la boca (Ver esquema).

Explique que en estos reflejos, el estímulo se aplica en los tendones, activando a los receptores situados a nivel muscular. Lo anterior envía una señal por el nervio sensitivo hasta la médula y desde esta, a través de una sinapsis, a la raíz motora del nervio que activa el músculo.



Prueba de reflejo mentoniano

Reflejo al dolor. Vende los ojos de una persona y pídale que extienda la mano al frente. Encienda la vela y colóquela justo debajo del dedo índice, casi inmediatamente este reaccionará retirándola sin pensar.

Reflejos y órganos de los sentidos

Reflejo de proximidad: Indique a la persona voluntaria que se sitúe enfrente de la clase. Muéstrela su dedo índice a la altura del punto de visión y pídale que lo mire atentamente. Ahora con un movimiento rápido acerque su dedo hasta unos 5 cm. Del ojo. La reacción normal es un cierre repentino de los párpados. Cuando este movimiento se realiza lentamente, se observa contracción de la pupila.

Reflejo corneal: Roce levemente la córnea con una esquina doblada del pañuelo. Observará el cierre de ambos párpados.

Interrogue a la clase: *¿qué tipo de estímulos se han empleado en todos los casos? ¿Qué tienen en común las respuestas del cuerpo? ¿Qué utilidades pueden tener estas pruebas? Y ¿cuáles funciones ofrecen los reflejos para los organismos?*

El equilibrio es también controlado por el sistema nervioso y, aunque depende de las estructuras auditivas, es influenciada por la vista puesto que para mantener una postura de balance se busca una referencia visual.

Para probar este principio pase dos personas al frente y pida que se paren en un solo pie durante no más de 2 min. Indique a la clase que tomen el tiempo hasta que pierdan el equilibrio. Luego véndeles los ojos y repita el ejercicio (deben perder el equilibrio más rápido).

Inicie una discusión grupal acerca del por qué ocurre este fenómeno.

B. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INTERNA

1. SISTEMA CARDIORRESPIRATORIO

Todos los animales poseen un *metabolismo aeróbico* (utilizan oxígeno para la *respiración celular*), no obstante la manera en que realizan el intercambio gaseoso o *respiración externa* es muy variable.

Algunas formas simples como esponjas, cnidarios y platelmintos, tienen una organización básica y demandas metabólicas bajas, así que obtienen el oxígeno (O₂) y expulsan residuos por difusión.

La mayoría de animales pluricelulares complejos, por su tamaño y actividad, presentan dos sistemas especializados en la respiración y transporte de sustancias: el *aparato respiratorio* y el *circulatorio*. Ambos se acoplan conformando el sistema *cardiorrespiratorio* (Fig. 39), cuyo funcionamiento se aborda a continuación.



Figura 39. Acoplamiento entre los aparatos respiratorio y circulatorio humano.

1.1. Captación de oxígeno

Los anfibios, anélidos y algunos equinodermos realizan la *respiración cutánea*, para ello poseen un tegumento (capa externa de la piel) húmedo y con mucha irrigación sanguínea, permitiendo que la sangre o *hemolinfa* (sustancia que hace las funciones de la sangre en invertebrados), a través de *metaloproteínas* (como la *hemoglobina*), capte el O₂ disuelto en el aire o agua y libere el

dióxido de carbono CO₂ residual. Este mecanismo resulta insuficiente para altas tasas metabólicas.

Otra vía de respiración frecuente es constituida por las *branquias* (Fig. 40); estas son estructuras filamentosas presentes en la mayoría de invertebrados, incluso terrestres (artrópodos, moluscos, equinodermos, entre otros), así como en cordados acuáticos. Su función es la filtración de agua a través de una superficie altamente vascularizada donde las metaloproteínas de la sangre entran en contacto con el medio para expulsar CO₂ y captar el O₂ disuelto en el agua.

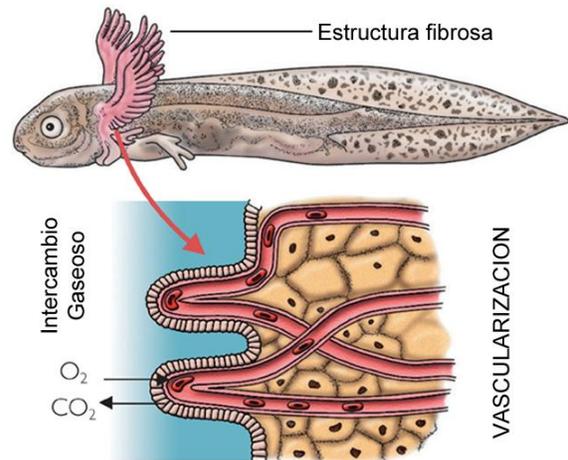
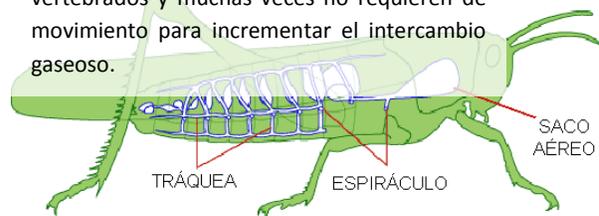


Figura 40. Detalle de las branquias de un anfibio.

¿Cómo respiran los invertebrados terrestres?

Las tráqueas de los insectos son una adaptación especial de tubos vacíos que transportan aire hacia los tejidos, sin intervención del sistema circulatorio; se ha sugerido que esta ausencia de transporte limita su tamaño. Algunos arácnidos, en cambio, poseen *pulmones en libro*, una serie de cavidades plegadas por donde circula la hemolinfa. Los caracoles y babosas terrestres presentan estructuras pulmonares formadas por una cavidad del manto altamente vascularizada. Estas estructuras respiratorias no se relacionan con los pulmones de vertebrados y muchas veces no requieren de movimiento para incrementar el intercambio gaseoso.



Los vertebrados terrestres, en su forma adulta, desarrollan pulmones: órganos huecos altamente vascularizados que permiten el intercambio de gases. El proceso físico de respirar ocurre cuando contracciones musculares semivoluntarias (el diafragma en mamíferos) amplían la cavidad torácica que contiene a los pulmones, lo que incrementa su volumen y crea baja presión, permitiendo la entrada de aire. El flujo de aire es filtrado y conducido por las vías respiratorias superiores, para luego ser distribuido a los pulmones por las vías inferiores. Dentro de los pulmones (Fig. 41), los *alvéolos* se encuentran en contacto directo con los capilares y es en ellos donde se produce el intercambio gaseoso propiamente dicho.

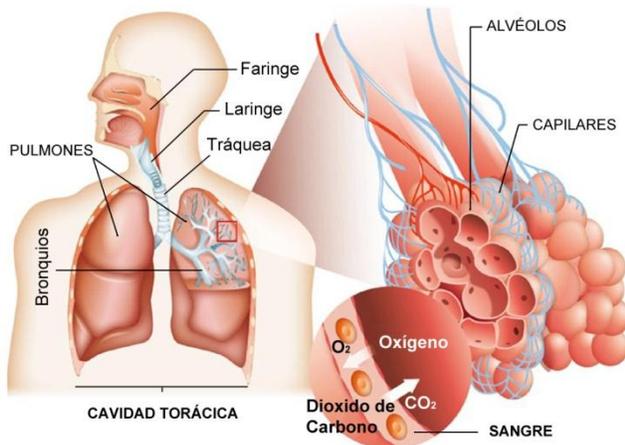


Figura 41. Estructuras de la respiración pulmonar.

La sangre llega al pulmón cargada de CO_2 disuelto en forma de bicarbonato (HCO_3^-) y por acción transportadora de la hemoglobina, una proteína ferrosa con afinidad hacia el CO_2 y O_2 . Con el aire inhalado abundante de O_2 , ambos compuestos experimentan difusión simple en la membrana alveolar, migrando hacia donde su concentración es menor (CO_2 al aire pulmonar y O_2 a la mucosa); en ese momento, la hemoglobina, que posee gran afinidad al O_2 , libera el CO_2 y lo sustituye por O_2 para incorporarlo al torrente sanguíneo.

La exhalación ocurre por relajamiento muscular, por lo que no hay gasto de energía para enviar el aire cargado con CO_2 a la atmósfera.

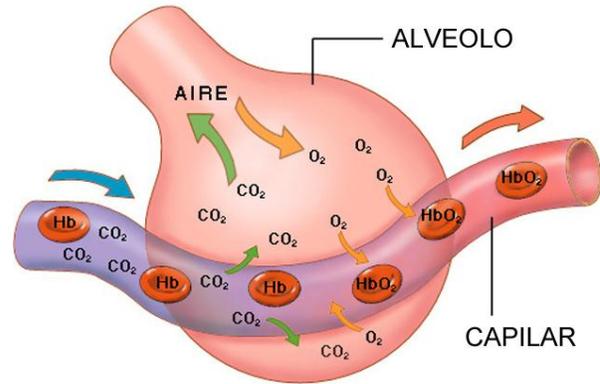


Figura 42. Intercambio gaseoso en los capilares por diferencia de densidad. Hb = Hemoglobina.

1.2. Distribución del oxígeno

Luego de que ocurra el intercambio gaseoso, es el sistema circulatorio (o cardiovascular en vertebrados) el encargado de transportar no sólo el O_2 sino también minerales, nutrientes y señales químicas a todo el organismo.

El sistema cardiovascular comprende el corazón y una red de numerosas estructuras huecas y tubulares: los *vasos sanguíneos* (Fig. 43). Su acción conjunta distribuye la sangre.

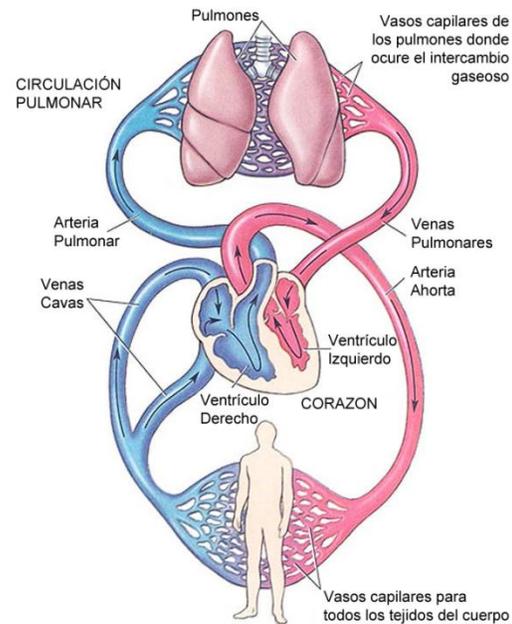


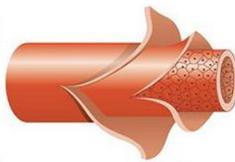
Figura 43. Circulación sanguínea. El corazón bombea sangre a través de los vasos sanguíneos para todo el cuerpo.

Corazón: Como se observó antes, el corazón es un órgano hueco que contiene diferentes

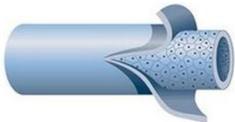
recámaras cuyas paredes se conforman de tejido muscular. Las contracciones rítmicas del órgano brindan presión al torrente sanguíneo y le impulsan a través de los vasos sanguíneos en dos direcciones: hacia los pulmones para eliminar CO₂ y oxigenar, y desde los pulmones al resto del cuerpo. En aves y mamíferos estas funciones son coordinadas por el lado derecho e izquierdo del corazón respectivamente.

Vasos sanguíneos. De acuerdo con las funciones de transporte, se distinguen tres tipos de vasos sanguíneos:

Arterias: Son aquellas que contienen sangre rica en O₂ y nutrientes, conduciéndola desde el corazón a los órganos.



Venas: Son los vasos encargados de conducir la sangre desde órganos y tejidos hacia el corazón y de este a los pulmones para liberar CO₂.



Capilares: Son los vasos sanguíneos de paredes más finas que intercambian sustancias entre la sangre y tejidos.



1.3. Funciones de la sangre

Como se observó antes, la sangre es un tejido formado por células sanguíneas inmersas en un fluido llamado *plasma sanguíneo*. Las células sanguíneas son los *eritrocitos* o *glóbulos rojos* (Fig. 44), estos contienen gran cantidad de hemoglobina que les brinda su color rojo y el olor férreo característico de la sangre.

Otras células sanguíneas importantes son los *glóbulos blancos* (*leucocitos*) y las *plaquetas* (Fig. 44). El plasma es una solución acuosa que contiene iones minerales, proteínas y hormonas. En conjunto, las funciones de la sangre que se detallarán más adelante son las siguientes:

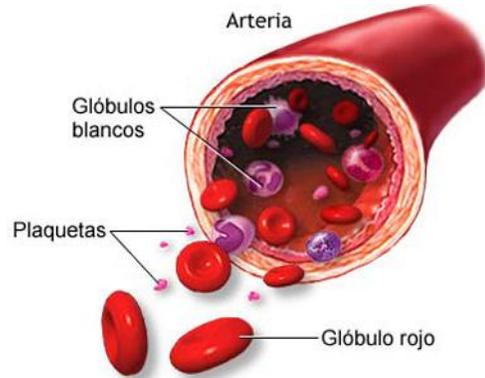


Figura 44. Células sanguíneas circulando por una arteria.

- Suplemento de oxígeno (eritrocitos).
- Suplemento de nutrientes como glucosa, ácidos grasos y aminoácidos (plasma).
- Remoción de sustancias residuales como CO₂, urea y ácido láctico (plasma).
- Funciones inmunológicas (leucocitos).
- Coagulación, como parte del mecanismo auto-reparador (plaquetas).
- Envío de mensajes transportando hormonas y señales de tejidos dañados (plasma).
- Regulación del pH y temperatura corporal.

2. SISTEMA INMUNOLÓGICO Y LINFÁTICO

El sistema inmunitario es el conjunto de estructuras biológicas encargadas de proteger al organismo contra patógenos (organismos causantes de enfermedades) y tumores. Los componentes fundamentales del sistema son proteínas y células encargadas de la identificación, destrucción y adaptación contra los agentes extraños; así como aquellos órganos y tejidos que producen o conducen tales componentes.

En condiciones normales, los animales poseen estructuras de defensa física contra la entrada de patógenos, tales como la piel, exoesqueleto, conchas o huevos; no obstante, ciertas partes del organismo están en contacto directo con el medio externo, por ejemplo los pulmones y el sistema digestivo. En estos sitios, también existen barreras especiales como la cera, la mucosidad y químicos antibacteriales.

2.1. El sistema inmunológico innato. Cuando las barreras externas resultan insuficientes, entra en acción el *Sistema Inmunológico Innato*. Las primeras reacciones de defensa suelen incluir inflamaciones y fiebre, promovidas por señales químicas que emiten las células dañadas o infectadas, incrementando el flujo sanguíneo y desencadenando la síntesis de proteínas que atacan células extrañas. En adición, los leucocitos (células de defensa que se comportan como organismos unicelulares independientes) se desplazan por los vasos sanguíneos y *linfáticos*, identificando cuerpos extraños a los que *fagocitan* (envuelven en su membrana celular) o atacan para destruirlos (Fig. 45).

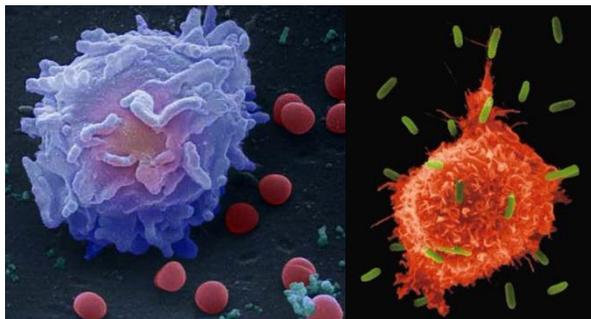


Figura 45. Células de defensa. A: Leucocito en el torrente sanguíneo. B: Fagocito engullendo bacterias.

2.2. El sistema linfático e inmunitario adaptativo. Los *vasos linfáticos* son una red de capilares especiales que constituyen el *Sistema Linfático* (Fig. 46). Estas estructuras son parte indispensable del sistema inmunológico y cardiovascular. La sangre no llega directamente al interior de los órganos y tejidos sino que los capilares más finos filtran las sustancias contenidas en ella formando el líquido intersticial de los órganos. Este líquido es drenado a los vasos linfáticos (donde se llama *linfa*) y devuelto a la sangre venosa. También se incluyen en el Sistema Linfático a los órganos productores de *linfocitos* (como el bazo y el timo). Estos son leucocitos especializados del *sistema inmunitario adaptativo* propio de los vertebrados, y de más eficiente acción (Fig. 47).

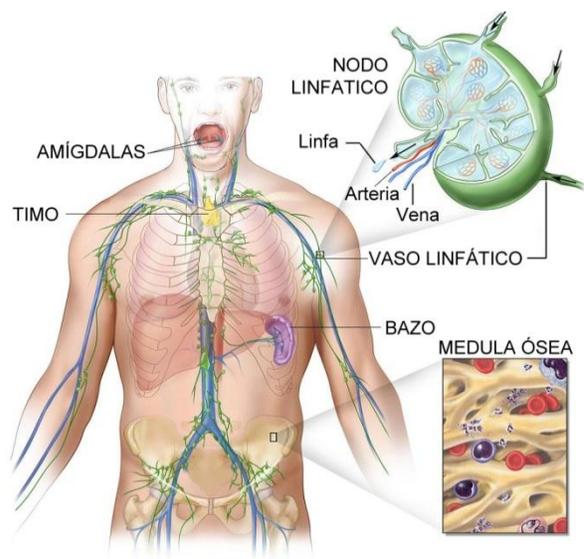


Figura 46. Sistema linfático humano.

Los linfocitos son de distintos tipos, pero todos se derivan de las células madre hematopoyéticas presentes en huesos. Su función conjunta es el reconocimiento y destrucción discriminativa de patógenos específicos, los cuales “memorizan” al momento de una infección inicial, desarrollando un *anticuerpo* especializado para cada uno.

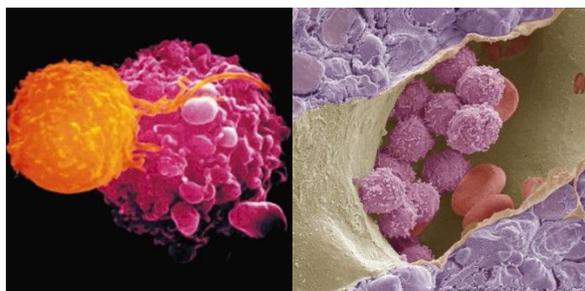


Figura 47. Células inmunitarias linfáticas. A: Linfocito atacando una célula cancerosa. B: Hematopoyesis en la médula ósea. Se observan células sanguíneas inmaduras (rosa) y glóbulos rojos maduros.

3. SISTEMA ENDOCRINO

Es el conjunto de órganos y tejidos (también llamados glándulas endocrinas), que secretan *hormonas* (Fig. 48). En los animales, las hormonas son sustancias diversas que funcionan como señales químicas para promover o inhibir funciones celulares específicas en distintas partes del cuerpo; por tal motivo, la mayoría se vierten al torrente sanguíneo.

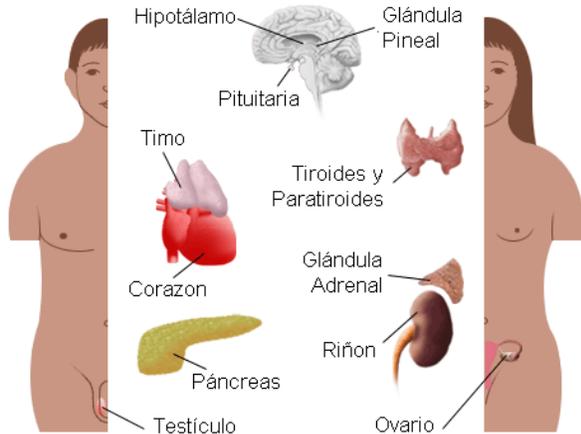


Figura 48. Glándulas endocrinas principales del humano

Sólo se requiere una cantidad mínima de hormona para que el mensaje sea transmitido. Esto se debe a que la célula es afectada por una hormona sólo cuando ésta posee el receptor específico en su membrana celular; sin embargo, las células pueden percibir varias hormonas.

Las hormonas regulan diversos aspectos tales como: metabolismo, desarrollo, repuesta inmunológica, reproducción y comportamiento; por ejemplo, la *adrenalina* es una hormona que aumenta el ritmo cardíaco y la *insulina* regula el metabolismo de azúcares. Junto a los impulsos nerviosos, las hormonas constituyen los medios de comunicación del organismo.

4. OBTENCIÓN DE NUTRIENTES: EL SISTEMA DIGESTIVO

Al ser heterótrofos, los animales necesitan de sustancias orgánicas previamente elaboradas para obtener energía y nutrientes básicos para sintetizar sus propias estructuras. El proceso fisiológico de obtención de nutrientes se denomina digestión y consta de la degradación de macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) hasta formar unidades básicas de fácil absorción por las células, ya sea de manera directa o a través del torrente sanguíneo.

Entre los diferentes grupos de animales existen distintos métodos de digestión que involucran tanto procesos físicos como químicos, incluyendo

un gran número de variantes simbióticas (cuando interviene otra especie no necesariamente animal). La *digestión externa* fue la primera en aparecer, esta consistía en segregar enzimas al medio para degradarlas y luego absorber la materia resultante por difusión simple.

Posteriormente, los metazoos desarrollaron la *cámara gastrovascular* (Fig. 49), un estómago primitivo que da paso a la *digestión interna*; en ella, la materia orgánica es degradada dentro del organismo y transportada a los tejidos.

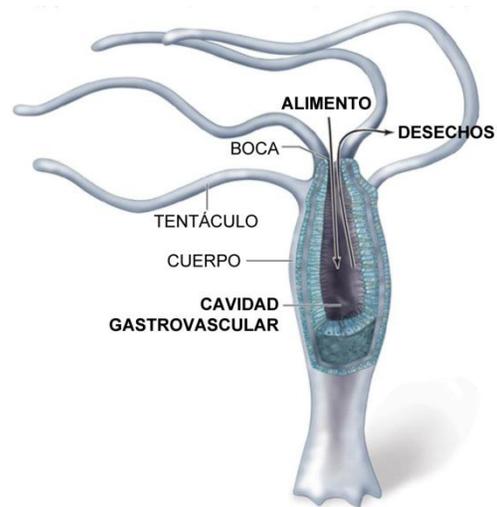


Figura 49. Estructuras digestivas de un nidario: La hidra.

Los animales complejos presentan un sistema especializado: el *aparato digestivo*, este es muy variable entre los distintos grupos animales. Típicamente su acción comienza en la boca (o apéndices bucales), donde el alimento es cortado y a veces triturado. Enzimas especiales pueden ser liberadas para facilitar el rompimiento molecular y preparar la acción de posteriores sustancias degradantes. La materia resultante es entonces conducida hacia las cavidades estomacales (Fig. 50).

Con excepción de algunos herbívoros y las aves, los vertebrados presentan un estómago único, este sirve como cámara de mezcla para enzimas y ácidos (jugos gástricos) que se secretan en su epitelio interno, así como para almacenar el alimento mientras dichas sustancias actúan.

Algunas moléculas simples pueden ser absorbidas en el estómago pero las más complejas sufren nuevas acciones enzimáticas antes de trasladarse al intestino, donde sus componentes son absorbidos e integrados a la sangre por el epitelio a través de difusión simple.

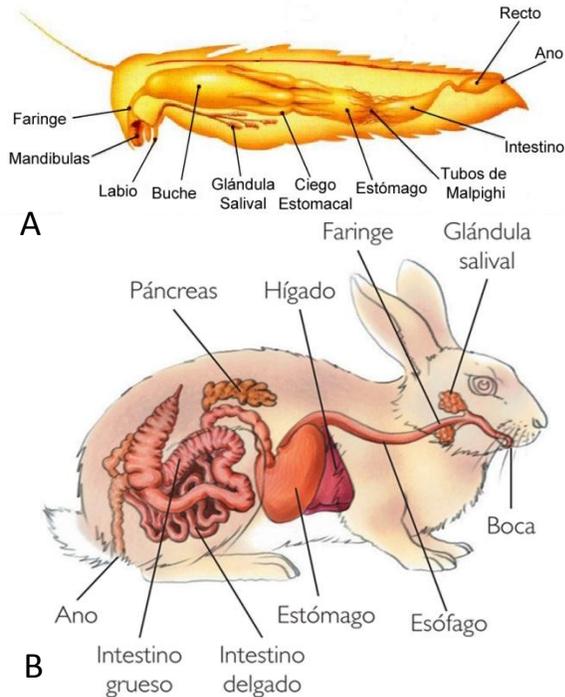


Figura 50. Semejanzas entre aparatos digestivos de distintos grupos animales. A: Saltamontes. B: Conejo.

Cada especie segrega un juego enzimático propio que le permite digerir las sustancias que necesita en la forma que se presentan en su medio.

5. SISTEMA EXCRETOR

Es un sistema biológico pasivo que se encarga de remover las sustancias innecesarias, excesivas o dañinas del organismo, para mantener la homeostasis corporal y prever posibles daños. Ya que todos los tejidos producen sustancias residuales, todos sistemas dependen del excretor para mantener su desempeño.

Los principales órganos que lo conforman son: la piel, que excreta algunas sustancias residuales; los pulmones, durante la respiración externa; el intestino grueso, al finalizar la digestión, y los riñones, que filtran la sangre.

Los riñones realizan su acción filtradora a través de unidades funcionales llamadas *nefronas* (Fig. 51). La sangre entra en las *nefronas* debido a la presión sanguínea donde el plasma es filtrado y reabsorbido por los diminutos capilares que las conforman. La función de los riñones mantiene la homeostasis debido a que regula el pH, regula la concentración de electrolitos, mantiene el volumen de fluido extracelular, así como también secreta gran variedad de hormonas.

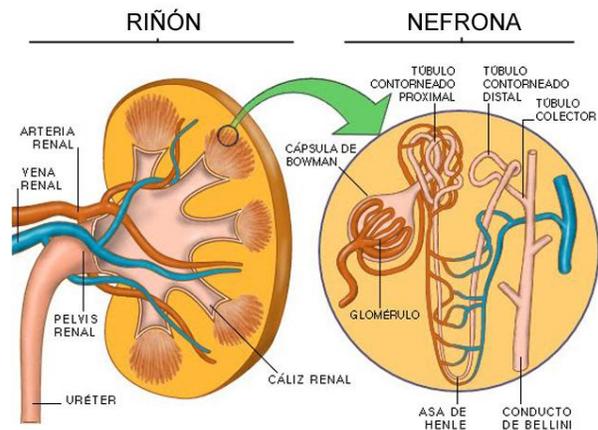
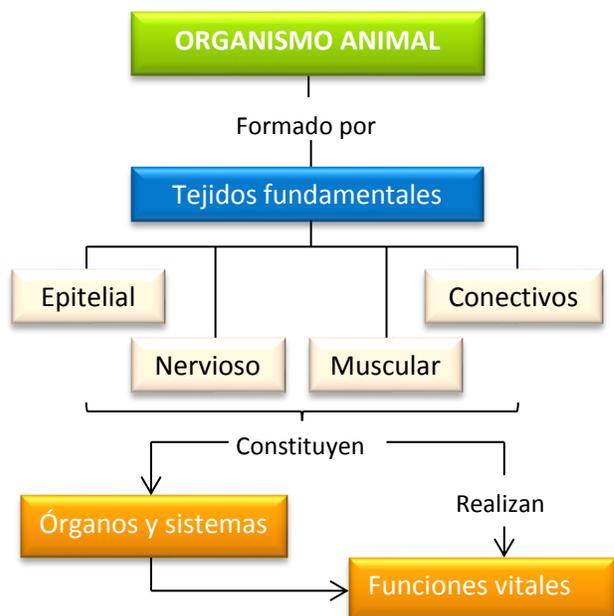


Figura 51. El riñón y su unidad funcional: la nefrona. Se observa una gran cantidad de capilares que transportan la sangre para su filtración.

RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Arellano, G. (2005). *La ecología y los insectos*. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/r5Zdp>

Botanical-online SL. (s.f.). *La respiración de los invertebrados*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/p42tt>

Ferreira, E. y M. Blanco (2005). *Tejido conectivo*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/YEO6O>

Epithelial tissue. (s.f.) Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/bJbf7>

Fisiología muscular, componentes del músculo (2007). Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/jlXnS>

García, A. (s.f.). *Páginas de docencia de fisiología: Exploración de los reflejos*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/esCFf>

Gómez, C. (2008). *El tejido epitelial*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/FZtYF>

Grupoblas Cabrera.org. (s.f.). *Analogía: Impulso nervioso / Fichas de dominó*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/PaiJP>

Mills, M. (s.f.) *La anatomía comparada de los animales (en relación al tipo de alimentación)*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/MwiZq>

Ministerio de Educación, Gobierno de España. (s.f.) *Biología y geología 3º*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/PELjN>

Moreno, M.; J. Martínez (s.f.). *El tejido adiposo: Órgano de almacenamiento y órgano secretor*. Universidad de Navarra. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/eHk7s>

newworldencyclopedia.org (2011). *Tissue*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/Tlfy0>

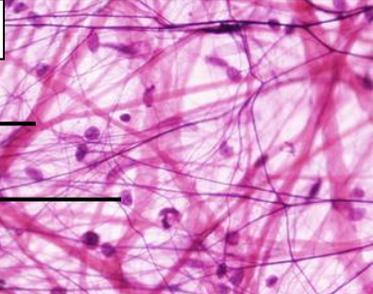
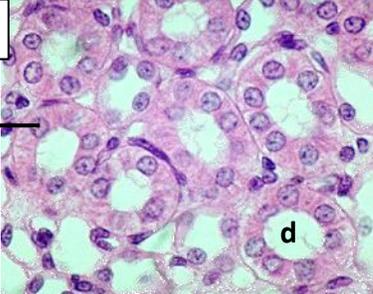
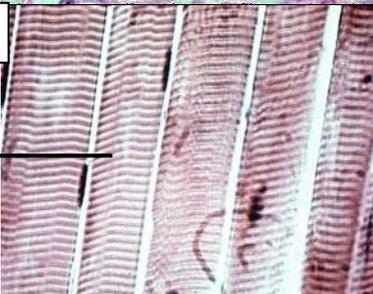
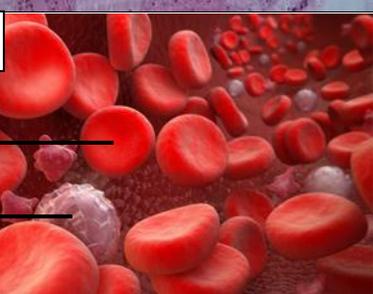
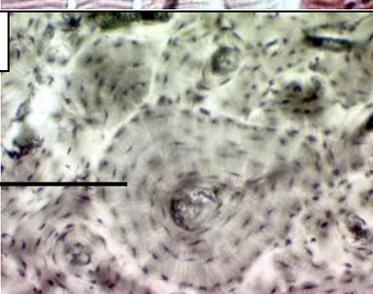
Tejido óseo 1. (s.f.) Universidad Nacional de Lomas de Zamora UNLZ. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/3EJvc>

Urroz, C. (1991). *Elementos de anatomía y fisiología Animal*. San José, Costa Rica: UNED. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/ouufl>

Webvision. (s.f.). *Tema 28: Histología animal*. Extraído en septiembre de 2011, de <http://goo.gl/t48Kn>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Nombre los tipos de tejido fundamental y las estructuras presentadas a continuación.

1		2		Escriba el nombre del tipo de tejido fundamental de cada imagen: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____ 6. _____
3		4		Coloque la letra correspondiente al nombre de las estructuras señaladas: Fascículos de músculo esquelético..... () Neurona..... () Núcleo..... () Fibra proteica..... () Osteón..... () Eritrocito..... () Fibrocito..... () Leucocito..... () Dendrita..... () Glándula..... ()
5		6		

2. Coloque la letra correspondiente a cada función tisular, con los tejidos que la realizan (pueden repetirse)

a) Protección b) Nutrición c) Transporte d) Comunicación e) Transmisión de impulsos	f) Secreción g) Recepción sensitiva h) Almacenamiento de sustancias i) Soporte estructural j) Movimiento	Epitelio: Muscular: Conectivo: Nervioso:
---	--	---

3. Explique brevemente en qué consiste la depolarización de la membrana plasmática Y cómo se relaciona con la contracción muscular

4. ¿Cómo se acoplan las funciones de los órganos en un sistema cardiorrespiratorio?

5. ¿Cuál es la función del sistema endocrino?

6. Mencione 3 ejemplos de barreras que facilitan la función del sistema inmunitario

7. ¿Cómo se acopla el sistema linfático con el sistema inmunitario y la circulación sanguínea?

8. Explique brevemente cómo ocurre el proceso de absorción de nutrientes.

LECCIÓN 7.

INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA

CONTENIDOS

1. Introducción a la genética.
2. Historia de la genética.
3. Genética molecular.
 - a. Estructura de ADN y ARN.
 - b. Los cromosomas.
4. Transmisión genética:
 - a. Ciclo celular.
 - b. Reproducción.
 - c. La herencia.
5. Ingeniería genética.

INDICADORES DE LOGRO

1. Deduce la importancia de los conceptos genéticos como criterios unificadores de la biología.
2. Comprende cómo se codifica la información en los ácidos nucleicos.
3. Analiza la relación entre la división celular y la reproducción.
4. Comprende los mecanismos de la herencia.
5. Utiliza apropiadamente los conceptos genéticos.

PALABRAS CLAVE

Genes, característica, rasgo, ácido nucleico, cromosoma, división celular, herencia, fenotipo, genotipo.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La teoría genética constituye uno de los principios unificadores de la biología. Todos los seres vivos poseen material genético y este guarda la información que define sus características; así, cada sistema viviente se considera como la expresión de sus genes bajo condiciones ambientales determinadas. La transmisión de estos genes permite la perpetuidad de la vida en un entorno cambiante.

DESCRIPCIÓN

Se introduce a los conceptos genéticos a través de un panorama histórico. Se analiza la estructura del material genético y su funcionamiento. Se estudia el ciclo celular con un vínculo hacia la reproducción como mecanismo de transmisión genética. Se abordan los principios de la herencia a través de ejercicios y problemas.

¿QUÉ ES LA GENÉTICA?

La genética es la ciencia biológica que estudia la variabilidad de los seres vivos, codificada en unidades básicas llamadas *genes*, así como los mecanismos de transmisión de sus características individuales a la descendencia (*herencia*).

Si bien la variabilidad entre organismos puede ser evidenciada a simple vista (en muchos casos), los mecanismos que la impulsan y la manera en cómo se transmiten las características entre distintas generaciones, sólo puede comprenderse desde la *biología celular y molecular* (Fig. 1). En este caso, los *ácidos nucleicos* así como las estructuras que ellos conforman (por ejemplo los genes), guardan y operativizan la información que determina el comportamiento celular y por ende, el desarrollo, características, reproducción y metabolismo de los seres vivos.



Figura 1. Algunas variedades de *Phaseolus vulgaris* (frijol). Aunque son la misma especie, se observa diversidad de colores, texturas, sabores y rendimiento de las cosechas.

Para la biología, la teoría genética provee entonces uno de sus principios unificadores más importantes: *todos los seres vivos utilizan los ácidos nucleicos como material genético y todos codifican su información genética de la misma forma*. El estudio de la variabilidad en esta información permite entender cómo las especies, constituidas por poblaciones, tienen la habilidad de adaptarse; mientras que la sucesión de estos eventos a través del tiempo constituye *evolución*.

Como se observó en la Lección 3, la *sistemática* y *taxonomía* atienden a estos preceptos para clasificar organismos (Fig. 2); de igual manera, la *biología del desarrollo* considera a órganos y tejidos como la expresión regulada de los genes.



Figura 2. Las bioespecies están constituidas por poblaciones. Sus rasgos colectivos e individuales son expresión genética; en biología, los primeros se utilizan para la clasificación y los segundos permiten explicar la adaptación y especiación.

Ante las numerosas implicaciones biológicas y la complejidad del estudio genético, esta ciencia se ha dividido en tres subdisciplinas tradicionales: la *genética molecular*: el estudio de la naturaleza química del gen; la *transmisión genética* o *genética clásica*: el estudio de la herencia; y la *genética de poblaciones*: exploración de la composición génica de un grupo de individuos. La rápida progresión de la genética molecular ha permitido además un nuevo campo: la *ingeniería genética*, que se centra en la manipulación directa de los genes. Durante la presente lección se abordará brevemente cada una de estas áreas.

GENÉTICA: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

Se cree que el uso de conocimientos genéticos comenzó hace unos 12 000 años con el inicio de la agricultura y crianza de animales; para ello, fue necesaria la *domesticación de especies* (proceso en el que las especies silvestres se modifican en función de las necesidades humanas) a través de la *selección artificial*, una técnica donde se reproducen los ejemplares con características deseables (tamaño, color, conducta, etc.). Estas

características son así transmitidas en mayor o menor medida a la descendencia que, a su vez, es sometida a selección artificial. Durante el proceso de domesticación, los caracteres deseados se acusan notablemente generación tras generación hasta que los individuos pueden constituir incluso nuevas especies y variedades.

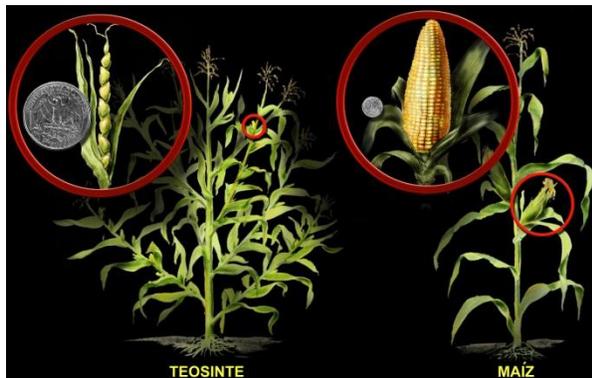


Figura 3. Domesticación del maíz (*Zea mays*). La planta silvestre de maíz es originaria de Mesoamérica y se llama *teosinte* (del nahuatl *teu* = padre –en sentido espiritual– y *sinti* = semilla). Se domesticó hace 10 000 años, convirtiéndose en todas las variedades del maíz actual.

Como se observa, la reproducción, adaptación y especiación son procesos íntimamente ligados a los factores genéticos; sin embargo, esta relación no siempre fue clara para la ciencia. Los primeros análisis documentados sobre reproducción y transmisión de características fueron realizados por estudiosos griegos hace 2 500 años, quienes a través de disecciones animales y disertaciones filosóficas propusieron la *pangénesis*: teoría donde ciertas partículas llevaban información del cuerpo hacia los órganos reproductivos para transmitirse al embrión. Aunque rechazada por el filósofo Aristóteles (384-322 ANE), la *pangénesis* originó la *herencia de características adquiridas*, ambas de gran influencia hasta finales del S. XIX.

La invención del microscopio abrió un nuevo campo para la biología: en 1665 *Robert Hooke* documenta por primera vez a las células y unos años más tarde *Anton Van Leeuwenhoek* describe las células reproductivas humanas. En esta Era del descubrimiento microbiológico surge el

preformacionismo, hipótesis que explicaba el desarrollo embrionario como el crecimiento de un organismo preformado, un diminuto humano adulto (*homúnculo*) contenido en las células reproductivas. Esta idea hacía responsable de la herencia a un solo progenitor y fue contrastada por la hipótesis de *herencia combinada*, la cual, sostenía que los descendientes eran una mezcla homogénea e insoluble de las características de ambos progenitores.



Figura 4. Representación de teorías biológicas antes del estudio genético. A: *Herencia de características adquiridas* (Lamarck). B: *Preformacionismo*. Hombre dentro de espermatozoide.

A finales del s. XVII se descubre el mecanismo de reproducción sexual de las plantas, lo que impulsa una serie de investigaciones botánicas en *hibridación* (mezcla de distintas variedades o especies). Para el s. XVIII se demuestra como los híbridos tenían caracteres intermedios entre las variedades de sus progenitores y no una mezcla homogénea. Los estudios botánicos tienen sus frutos en el S. XIX, cuando *Gregor Mendel* (1822-1884) descubre los principios básicos de la herencia experimentando con guisantes; sin embargo, sus logros fueron subestimados y el trabajo permaneció en el olvido durante 45 años.

A lo anterior se suman los avances en *citología* (estudio de la célula) y *evolución*. Por un lado, el descubrimiento del núcleo (1833) y el desarrollo de la *teoría celular* en 1839 (Lección 1), fomenta el estudio de cómo las características de una célula se transmiten a otra durante la *división celular* (proceso en que una célula se multiplica).

Mientras que en 1855 *Charles Darwin* reconoce la importancia de la herencia para el proceso evolutivo en “*El Origen de las Especies*”, pero este mecanismo no se comprende.

A finales del s. XIX el desarrollo de la histología (estudio de tejidos), demuestra que el núcleo es esencial para la reproducción celular y se observa por primera vez a los *cromosomas* (Fig. 5) en división. Se reemplaza la herencia de caracteres adquiridos por la *teoría del germoplasma*, sosteniendo que las células reproductivas tienen un set completo de información genética.



Figura 5. Par de cromosomas: superestructuras formadas por ADN donde se encuentran contenidos los genes.

El s. XX se perfiló como la explosión del estudio genético: en 1900 ocurre el “redescubrimiento” de las *Leyes de Mendel* cuando de manera independiente, distintos investigadores acreditan sus postulados y obtienen resultados similares con distintas especies. En 1902 se propone que los *genes* se ubican en los *cromosomas* y en 1910 se descubre el primer mutante en moscas de la fruta (*Drosophyla*). Hacia la década de 1930 se funda la Genética de Poblaciones y para el siguiente decenio se define al ADN (*ácido desoxirribonucleico*) como molécula contenedora de la información genética, cuya estructura fue develada en 1953 por *James Watson* y *Francis Crick*, dando origen a la *Genética Molecular*.

Para 1966 la estructura química del ADN y el mecanismo de secuenciación de proteínas se

había descifrado. Durante las décadas de 1970 y 1980 se desarrollan varios métodos para analizar y replicar ADN, sentando las bases de la *ingeniería genética*. En 1990 se utiliza por primera vez la *terapia génica* (tratamiento de enfermedades utilizando genes) y para 1995 se determina la secuencia de ADN de un organismo vivo. La nueva era de la genética comienza en el 2000 cuando se completa el *genoma humano*: un mapa completo de los genes en el ser humano.

GENÉTICA MOLECULAR

Los *genes* son los elementos fundamentales de la herencia, se pueden definir como las *unidades de información que codifican una característica genética*, por ejemplo el color de los ojos o la textura de una semilla. Cada especie viviente tiene una serie de características que la definen como tal y la diferencian de las demás. Esto es porque poseen un conjunto específico de genes.

La información codificada del gen se compone de la secuencia molecular de los ácidos nucleicos, que son de dos tipos: *Ácido Ribonucleico* (ARN) y *Ácido Desoxirribonucleico* (ADN) (Fig. 6). Ya que ambas macromoléculas son polímeros formados por subunidades llamadas *nucleótidos* (ver Lección “*Compuestos orgánicos*”, Química), en otras palabras, *cada gen es una secuencia específica de nucleótidos: un fragmento de la cadena de ADN* (Fig. 7).

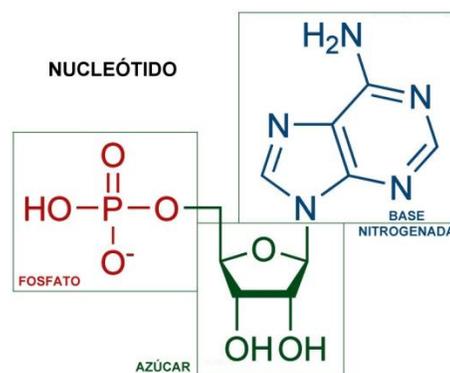


Figura 6. Estructura de un nucleótido, monómeros que conforman al ADN y ARN. Cada nucleótido consiste de la unión covalente de tres moléculas: un azúcar (pentosa), un grupo fosfato y una base nitrogenada variable.

Estructura molecular del ADN y ARN

Los seres vivos guardan su información genética en el ADN, que en eucariotas se encuentra dentro del núcleo y en procariotas ocupando la zona nuclear citoplasmática (véase Lección 1). No obstante, como se abordó en la Lección 2, los virus también contienen ácidos nucleicos y por consiguiente guardan información genética; en tal caso, esta puede codificarse en el ARN.

La molécula de ADN consta de dos polímeros de nucleótidos, donde el “esqueleto” de cada uno está compuesto por las pentosas y grupos fosfato de los nucleótidos. Ambas cadenas corren en

sentido opuesto y se mantienen unidas en forma antiparalela a través de puentes de hidrógeno formados entre las bases nitrogenadas. La estructura entrelazada resultante se conoce como *doble hélice* (Fig. 7).

Todos los nucleótidos del ADN presentan como azúcar a la *desoxirribosa*, mientras que en el ARN todos contienen *ribosa*, de esta condición derivan sus nombres. Por otra parte, la base nitrogenada puede variar entre: *adenina* (A), *citocina* (C), *guanina* (G) o *timina* (T) –*uracilo* (U) en el ARN– (Fig. 8), brindando individualidad a cada nucleótido.

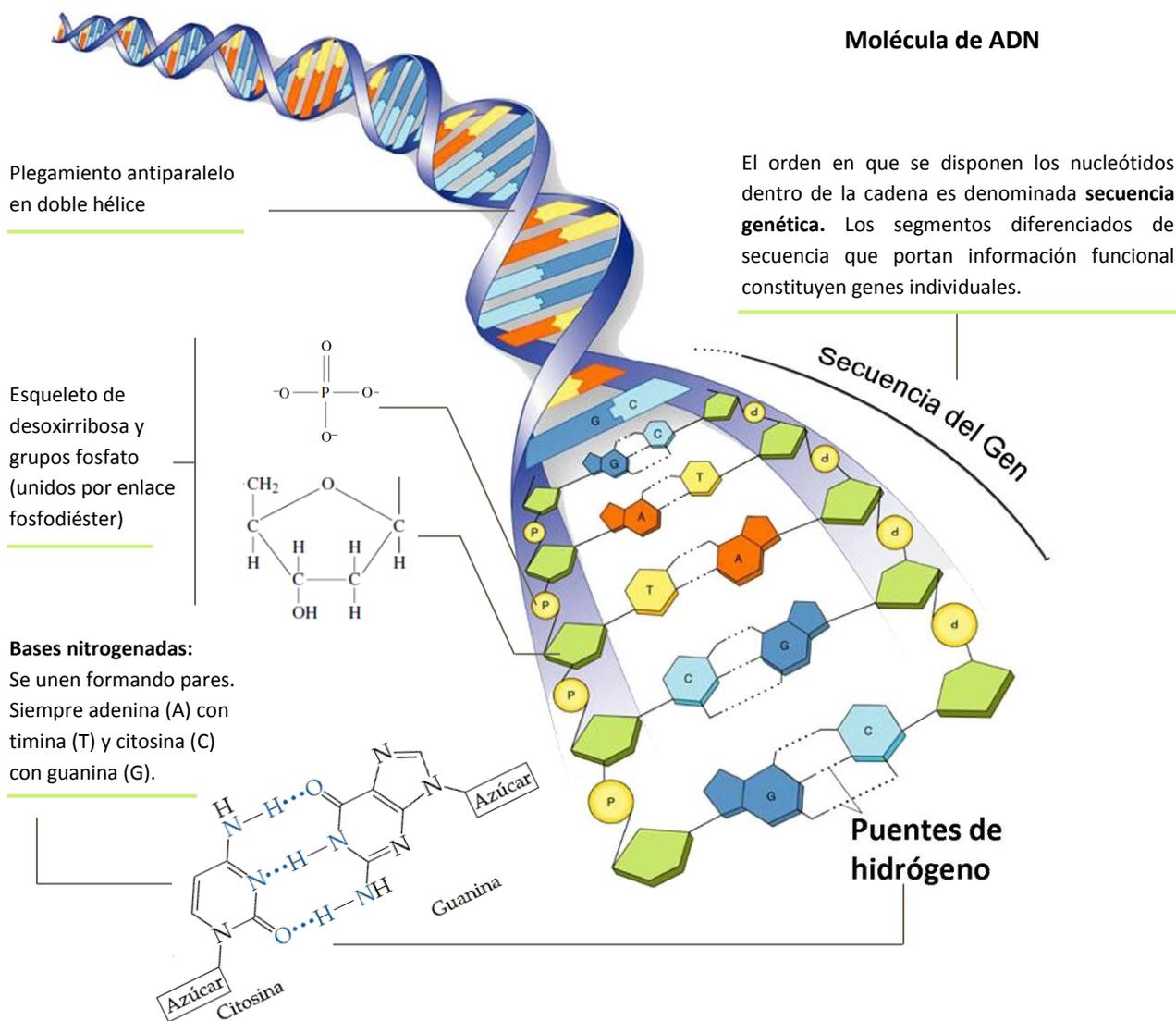


Figura 7. Estructura molecular del ADN: molécula que contiene la información genética.

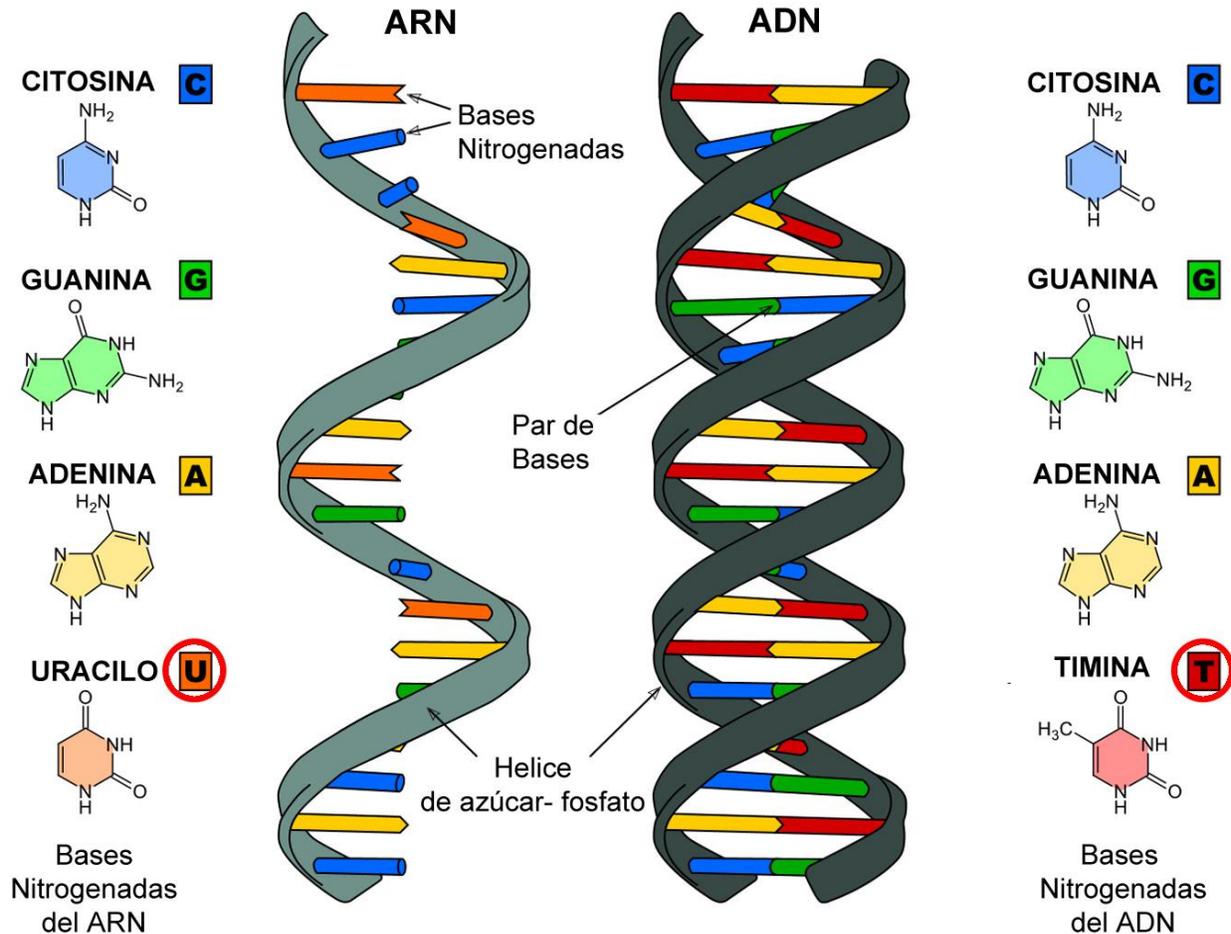


Figura 8. Diferencias estructurales entre ADN y ARN. Nótese como este último es una cadena única (con esqueleto de ribosa y fosfato) donde los nucleótidos contienen *uracilo* (naranja) en lugar de *timina* (rojo).

Expresión del mensaje genético

Si bien el ADN almacena la información genética, esta se *expresa* por acción del ARN a través de la síntesis de proteínas. Dentro de las células, *el funcionamiento de ambos ácidos nucleicos consiste en el flujo de información entre las tres clases de biopolímeros mayores: el ADN, el ARN y las proteínas*. A esta red de vías metabólicas se le conoce como “*Dogma Central de la Biología Molecular*” y, regularmente, consta de los siguientes procesos complementarios (Fig. 9):

1. Duplicación (replicación) del ADN. Es el proceso donde se forman dos moléculas de ADN a partir de una. Se lleva a cabo por un conjunto de enzimas que separan la doble hélice (rompiendo los enlaces entre las bases) para luego colocar nucleótidos con las bases

complementarias en ambas cadenas, resultando una doble réplica. Constituye el fin del ciclo de la expresión genética donde se transmite la información a otra generación.

2. Transcripción. Es el proceso donde la información contenida en un fragmento de ADN se transfiere a una molécula de ARN. Para la elaboración de estas moléculas de ARN, las enzimas toman como molde al ADN y construyen una cadena de aminoácidos que contienen como azúcar la ribosa.

Después de su síntesis, el ARN sufre transformaciones para cumplir con diversas funciones. Así, se distinguen tres tipos básicos de ARN que intervienen en la *traducción*: ARN mensajero (ARNm), ARN transportador (ARNt) y ARN ribosomal (ARNr).

3. Traducción. Es el proceso donde el mensaje genético es descifrado por los ARN para formar secuencias específicas de aminoácidos. El ARNm lleva el mensaje sobre la secuencia de aminoácidos desde el núcleo hacia el ARNr que se encuentra en los ribosomas, donde el mensaje es leído. Luego, los aminoácidos son transportados por el ARNt hacia el ribosoma para su ensamblaje.

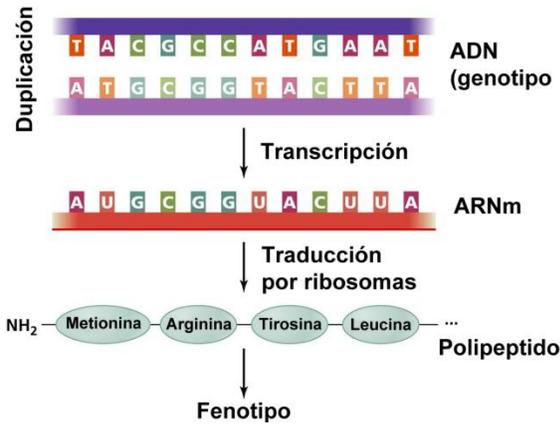


Figura 9. Esquema del dogma central de la biología molecular.

Tanto los enlaces *fosfodiéster* (covalentes entre un grupo hidroxilo y un grupo fosfato) con que se unen los nucleótidos, como los puentes de hidrógeno que sostienen los pares de bases en el ADN, son ambos muy resistentes y le confieren gran estabilidad a la molécula; no obstante, la

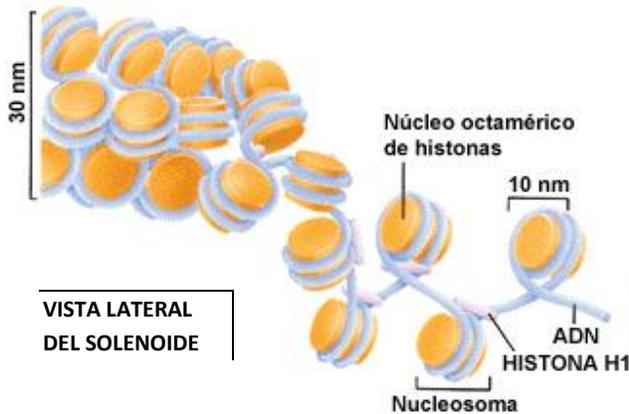


Figura 11. Estructura de la cromatina. Las cadenas de ADN se enrollan sobre un complejo de ocho histonas (*octámero*) formando una estructura llamada *nucleosoma*. Los *nucleosomas* se encadenan y pliegan en forma circular gracias a la histona H1. A esta nueva estructura espiral se llama *solenóide*.

cadena puede ser tan larga como un metro (en humanos) por lo que necesita protección estructural y una forma de empaquetamiento que le permita alojarse dentro de la célula. Para estas funciones, el ADN se encuentra conjugado con unas proteínas llamadas *histonas*.

Cromatina. Es el complejo formado por el ADN más varias proteínas *histonas* dentro del núcleo, donde ocurre un *superenrollamiento* molecular con varios niveles de organización (Figs. 10 y 11). Es la forma habitual en que se encuentra el material genético. En las bacterias (procariontes), esta estructura difiere en configuración y toma el nombre de *genóforo*.

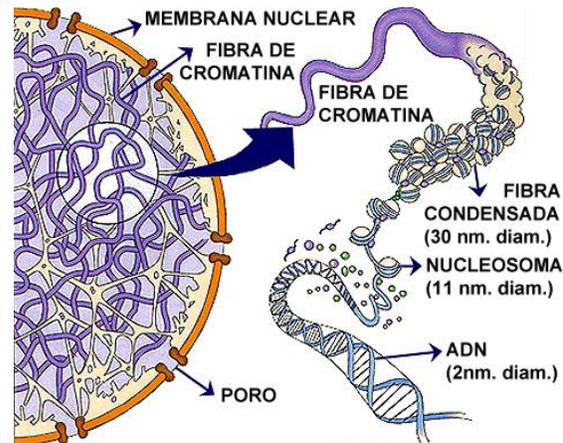
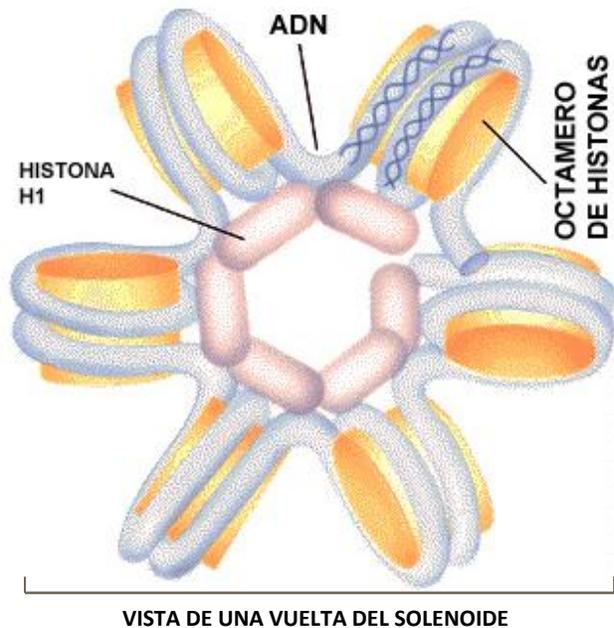


Figura 10. Representación de la cromatina en el núcleo.



El nivel de estructuración de la *cromatina* varía de acuerdo con las etapas de desarrollo de la célula (*ciclo celular*), desde los *nucleosomas* encadenados como cuentas en una hebra (Fig. 12), hasta su formación más compleja durante la división celular: los *cromosomas* (Fig. 13).

Los **cromosomas** son estructuras individualizadas del material genético formadas en la división celular por la condensación progresiva de la *cromatina*. Estos portan de manera ordenada los genes que serán distribuidos a las células “hijas”.

Cada especie posee un número determinado de cromosomas que representan la totalidad de su material genético, por ejemplo el humano posee 46 y el perro 78; este número no está relacionado con la complejidad del organismo. Asimismo, las células pueden contener uno o varios “juegos de cromosomas”; al número de juegos de cromosomas en una célula se le llama **ploidía** y se representa por Xn , donde X es igual al número de juegos cromosómicos.

Una célula es **haploide (n)** si presenta un juego único de cromosomas; no obstante, la mayoría de células eucariotas tienen *dos juegos* y se llaman **diploides ($2n$)**. En una célula *diploide ($2n$)*, a cada cromosoma le corresponde otro complementario y de aspecto similar, ambos conforman un *par homólogo*. El ser humano es una especie *diploide*, teniendo entonces 23 pares de cromosomas, ya que $23(2) = 46$.

La forma típica del cromosoma con cuatro brazos (Fig. 13) se debe a la unión de dos segmentos de cromatina formados durante la duplicación del ADN: las *cromátidas*, y es en sus distintas regiones donde se almacenan los genes (*locus*). Cada *par homólogo* guarda genes específicos, tomando una apariencia distintiva visible al microscopio óptico. Al número y apariencia de los cromosomas de una especie se le denomina *cariotipo* y su representación ordenada es el *cariograma* (Fig. 14).

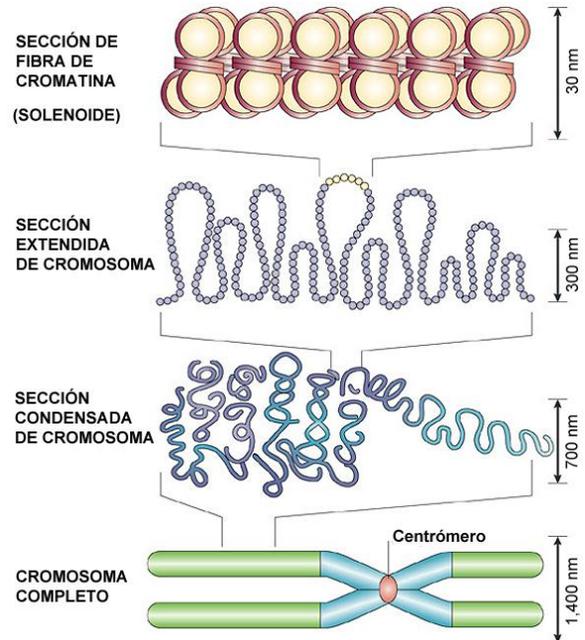


Figura 12. Estructura de un cromosoma.

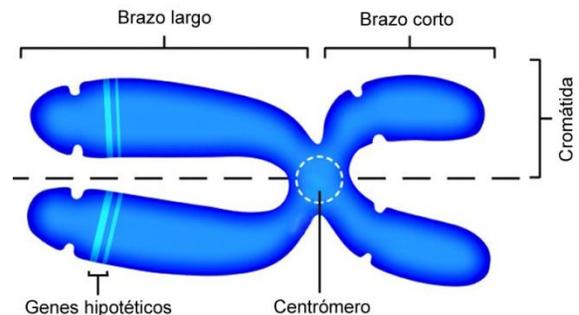


Figura 13. Partes principales de un cromosoma. Pueden componerse de una o dos *cromátidas*, estas forman proyecciones llamadas brazos que se unen en una región conocida como centrómero. Cada cromátida tiene una molécula de ADN.

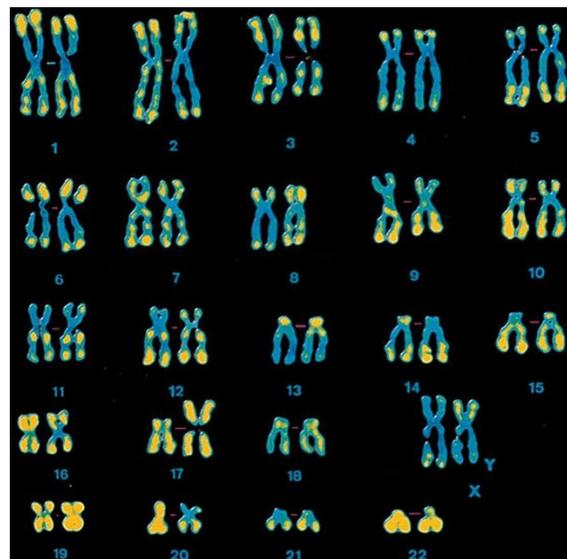


Figura 14. Cariograma de un hombre. Se observan los 23 pares homólogos, incluyendo los cromosomas sexuales XY.

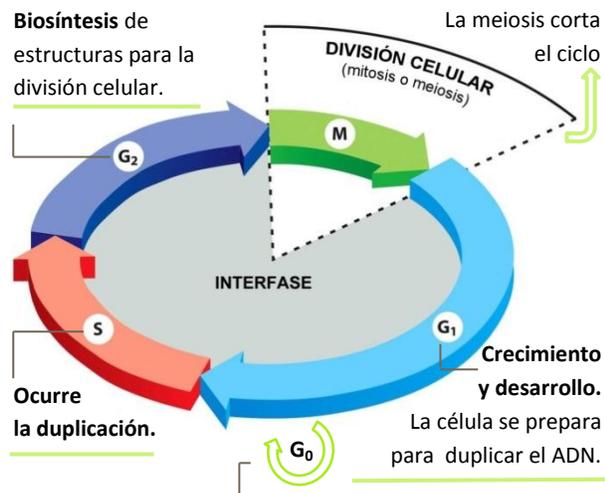
EL CICLO CELULAR

Es la secuencia de etapas durante el desarrollo de la célula que culmina cuando el material genético se distribuye en células hijas durante la división.

En eucariotas, el ciclo celular consiste de dos períodos básicos: la **interfase** y la **división celular** (o *Fase M*), para su estudio ambos se dividen en fases o momentos estudiados a continuación.

Interfase

Es el conjunto ordenado de sucesos metabólicos que conducen al crecimiento y la división celular. Se compone de tres fases llamadas: G_1 , S y G_2 ; las cuales, al juntarse con la *Fase M* (división), forman el *ciclo celular* (Fig. 15).



La G_0 es la etapa cuando la célula no se prepara para una división celular. Es un estado estable donde la célula mantiene su tamaño.

Figura 15. Eventos que componen el ciclo celular eucariota.

DIVISIÓN CELULAR: LA FASE M

Es el proceso donde una célula "madre" origina a dos o más células "hijas", distribuyendo su material genético. En los eucariotas, el proceso común de distribución genética es la **mitosis**, mientras que en procariotas es la **fisión binaria**. Ambos anteceden a la formación de dos células idénticas.

División y reproducción. La reproducción es la capacidad de los sistemas vivos para autoperpetuarse, o sea el proceso biológico de

crear nuevos seres vivos semejantes debido a la transferencia de su material genético. Ya que las células se perpetúan a través de la división, esta se conoce también como **reproducción celular**. En efecto, todas las especies unicelulares se reproducen por división celular. En las especies multicelulares, la división celular no solo es indispensable para reproducirse sino también para su crecimiento, desarrollo y regeneración.

Para que la reproducción celular tenga éxito, son necesarios tres sucesos básicos:

- La información genética debe ser copiada.
- Ambas copias genéticas deben separarse.
- La célula debe dividirse.

Independiente del nivel de organización, existen dos tipos básicos de reproducción: *asexual* y *sexual*. En la reproducción asexual, un individuo o progenitor origina a otro(s) genéticamente idéntico(s); mientras que en la sexual, dos individuos conjugan su material genético para dar origen a una descendencia semejante. Las bases celulares de estos procesos radican en la forma de cómo se distribuye el material genético, que en eucariotas puede darse de dos maneras básicas: *la mitosis o la meiosis*.

MITOSIS

La mitosis es el proceso por el cual una célula eucariota separa los cromosomas de su núcleo en dos juegos idénticos para distribuirlos en dos núcleos distintos. El rompimiento nuclear para formar dos nuevos núcleos se llama **cariocinesis** y ocurre inmediatamente antes de la división del citoplasma o **citocinesis**. Estos eventos sucesivos constituyen la *división celular mitótica* (Fase M).

La división mitótica es la forma de reproducción asexual de eucariotas, en ella se conservan los organelos y la información genética de la célula progenitora. El proceso puede dividirse en cuatro fases sucesivas: *profase*, *metafase*, *anafase* y *telofase* (Fig. 16).

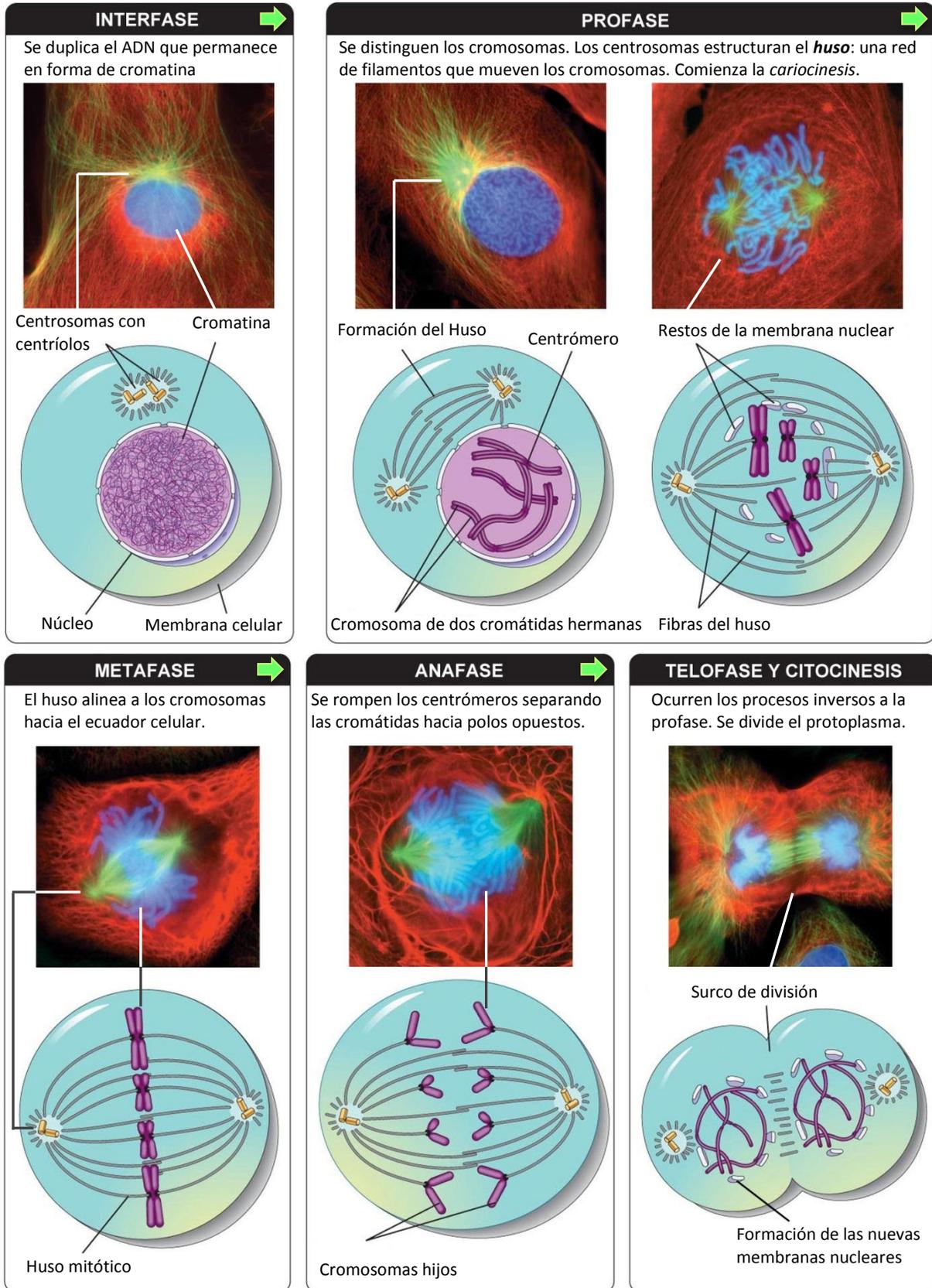


Figura 16. Secuencia de fases y eventos en la división mitótica en una célula animal. Se muestran micrografías y esquemas. Los centrosomas son organelos no membranosos formados por estructuras proteicas que organizan el citoesqueleto (Lección 1).

MEIOSIS

Es el proceso por el cual una célula eucariota diploide ($2n$), recombina la información genética de sus cromosomas para luego distribuirlos en cuatro células hijas haploides (n) distintas de la madre. Para reducir el número cromosómico, la meiosis consiste de dos divisiones sucesivas: **meiosis I y meiosis II**.

La *división meiótica* es indispensable para la reproducción sexual de todos los organismos multicelulares y de ciertos eucariotas unicelulares, ya que es el proceso responsable de la formación de células reproductivas o **gametos** (espermatozoides y óvulos) que son n . De esta manera, la meiosis tiene dos funciones básicas: *promover la variabilidad genética y mantener constante el número de cromosomas de la especie* (usualmente $2n$).

Aun cuando las estructuras formadas durante la división son similares a la mitosis y cada una se divide en cuatro fases con el mismo nombre de su equivalente mitótico, la meiosis es un proceso radicalmente distinto de la mitosis (Tabla 1).

La *meiosis I* es también llamada *reduccional* porque en ella se divide a la mitad el número de cromosomas; es especialmente importante la *profase I*, donde los *pares homólogos* se unen (*sinapsis*) formando grupos de cuatro cromátidas o *tétradas* conectadas por puntos llamados *quiasmas* donde ocurre el *entrecruzamiento*: las cromátidas intercambian fragmentos de ADN, duplicando la variabilidad génica, a esto se llama *recombinación* (Fig. 17). La *meiosis II* es *ecuacional*, porque el número de cromosomas se mantiene como en la mitosis (Fig. 18). El proceso de división se detalla a continuación.

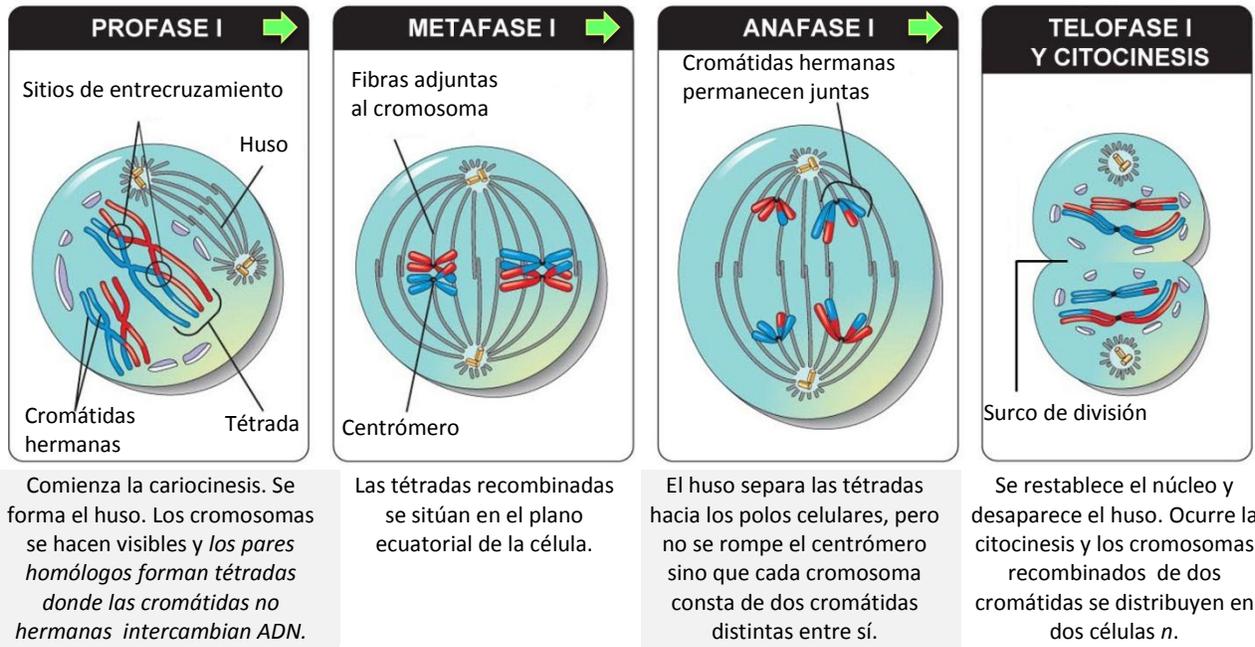


Figura 17. Meiosis I en una célula animal: en esta división ocurre la recombinación genética y las células resultantes son n con su material genético duplicado, porque cada uno de los cromosomas de su único juego consta de 2 cromátidas.

Tabla 1. Diferencias entre mitosis y meiosis

MITOSIS	MEIOSIS
División única (dos células hijas).	Dos divisiones celulares (cuatro células hijas).
El número de cromosomas se mantiene.	El número de cromosomas se reduce a la mitad.
Las células hijas son genéticamente idénticas a la madre.	Existe recombinación genética: las células hijas son diferentes entre sí y a la madre.
Base de la reproducción asexual.	Base de la reproducción sexual.

La *meiosis II* ocurre de manera similar a la mitosis, con la diferencia de que ambas células provenientes de *meiosis I* son n y que el material genético de las cromátidas hermanas es distinto entre sí debido al entrecruzamiento.

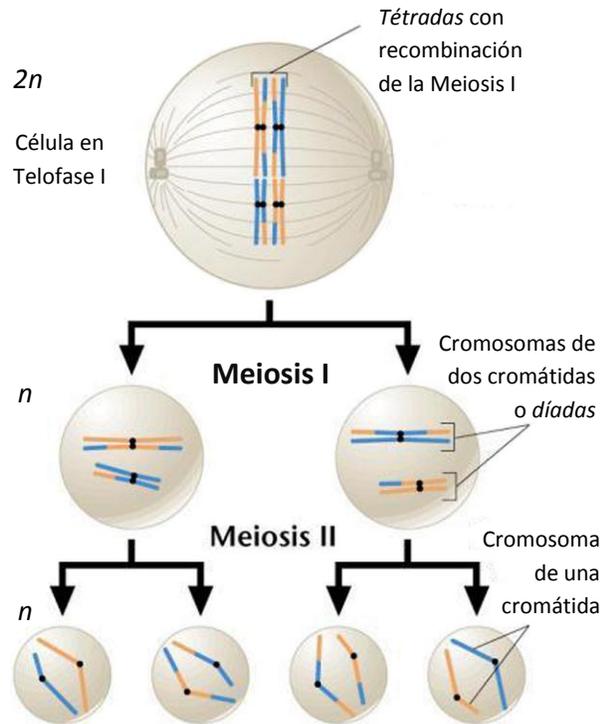


Figura 18. Relación entre *meiosis I* y *II*. La *meiosis II* ocurre con un proceso idéntico a la mitosis, pero las células resultantes son genéticamente distintas.

La diploidía ($2n$) es en sí misma el resultado de la reproducción sexual, puesto que los pares homólogos se constituyen de un cromosoma que proviene de cada progenitor, aislado mediante la meiosis. Esto significa que en los organismos $2n$ existen también células n , así se distinguen dos tipos de células: **somáticas** y **germinales**.

Las *células somáticas* son las que conforman los tejidos corporales y son $2n$; mientras que las *células germinales* constituyen los gametos, son n y genéticamente distintas a las *somáticas*.

Alternancia de Fases

Es el conjunto de eventos cíclicos que permiten a los eucariotas de reproducción sexual pasar del estado diploide ($2n$) a haploide (n) y viceversa. En los animales, típicamente $2n$, la alternancia de

fases es *gamética*, puesto que solo los gametos son n y a través de la fecundación (fusión de gametos) surge un individuo multicelular $2n$. Por otra parte, cuando la misma especie presenta dos estadios multicelulares con fases n y $2n$, existe una *alternancia de generaciones*, ya que para volver a la fase $2n$ es necesario que dos sujetos n se reproduzcan. Esto ocurre en el ciclo vital de vegetales, donde las esporas meióticas (n) crecen para formar un gametofito (n) productor de gametos (n) que, al fusionarse, forman un esporofito ($2n$) productor de esporas (Fig. 19).

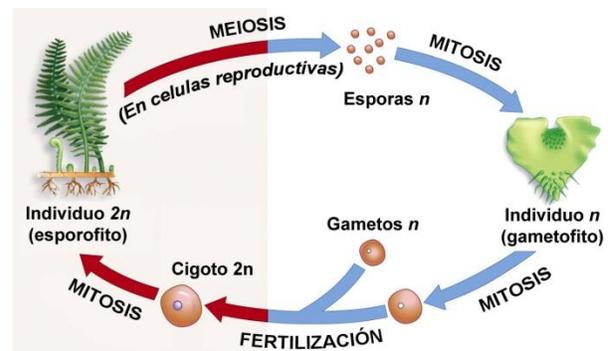


Figura 19. Alternancia de generaciones en un helecho.

PROBLEMAS

Problema 1

Un estudiante examina al microscopio un corte de raíz de cebolla (*Allium cepa*) y registra el número de células que están en cada etapa del ciclo celular. Él observa 94 células en *interfase*, 14 en *profase*, 3 en *prometáfase* (transición a la *metafase*), 3 células en *metafase*, 5 en *anafase* y 1 en *telofase*. Si el ciclo celular completo en la punta de una raíz de cebolla requiere de 22 horas. ¿Cuál es la duración promedio de cada etapa en el ciclo? ¿De qué tipo de división hablamos? Asuma que todas las células están en ciclo celular activo (no G_0).

Solución sugerida. Se propone resolver en dos pasos:

Primero. Calcular las proporciones de células en cada etapa del ciclo celular, lo cual corresponde a la cantidad de tiempo que una célula promedio permanece en cada etapa. Por ejemplo, si la célula permanece el 90% de su tiempo en *interfase*, entonces, a cualquier momento dado, el 90% de células estarán en *interfase*.

Segundo. Convertir las proporciones en períodos de tiempo, lo que se obtiene multiplicando las proporciones por el tiempo total del ciclo celular (22 horas).

Paso 1. Proporción de células a cada etapa. Es igual al número de células encontradas en cada etapa entre el total de células examinadas.

<i>Interfase</i>	$94/120 = 0.783$
<i>Profase</i>	$14/120 = 0.117$
<i>Prometafase</i>	$3/120 = 0.025$
<i>Metafase</i>	$3/120 = 0.025$
<i>Anafase</i>	$5/120 = 0.042$
<i>Telofase</i>	$1/120 = 0.008$

Paso 2. Determinar la duración promedio de cada etapa. Esto se obtiene multiplicando la proporción de células en cada etapa por el tiempo requerido para el ciclo.

<i>Interfase</i>	$0.783 \times 22 \text{ horas} =$	17.23 horas
<i>Profase</i>	$0.117 \times 22 \text{ horas} =$	2.57 horas
<i>Prometafase</i>	$0.025 \times 22 \text{ horas} =$	0.55 horas
<i>Metafase</i>	$0.025 \times 22 \text{ horas} =$	0.55 horas
<i>Anafase</i>	$0.042 \times 22 \text{ horas} =$	0.92 horas
<i>Telofase</i>	$0.008 \times 22 \text{ horas} =$	0.18 horas

La división celular es de tipo mitótica debido a que las células se encuentran en las raíces (son somáticas).

Problema 2

Una célula en fase G de la Interfase tiene 8 cromosomas. ¿Cuántos cromosomas y cuántas moléculas de ADN se encontrarán por célula a medida que esta pase a las siguientes etapas: G1, metafase de mitosis, anafase de mitosis, después de la citocinesis en mitosis, metafase I de meiosis, metafase II de meiosis y después de la citocinesis en meiosis II?

Razonamiento sugerido: Los cromosomas pueden estar formados por 1 ó 2 cromátidas y cada cromátida representa una molécula de ADN. El ADN sólo se duplica durante la Fase S, así que en la Fase G2 ya hay una copia extra de cada molécula. Los cromosomas o las tétradas se mantienen invariables durante la profase y metafase. Es en la anafase que se rompen los centrómeros o los quiasmas. Tanto cromosomas como ADN se separan en células hijas sólo después de la citocinesis. En la meiosis II no varían los cromosomas sino las cromátidas.

Respuesta:

Etapa	Cromosomas Por célula	Moléculas ADN por célula
G1	8	8
G2	8	16
Metafase de mitosis	8	16
Anafase de mitosis	16	16
Después de la citoquinesis de mitosis	8	8
Metafase I de meiosis	8	16
Metafase II de meiosis	4	8
Después de la citoquinesis de meiosis II	4	4

LA HERENCIA

Es el proceso por el cual una célula o individuo descendiente adquiere las características de una célula o individuo(s) progenitor(es). En términos biológicos, *es la transmisión de material genético nuclear que codifica características anatómicas, fisiológicas, metabólicas o conductuales de un ser vivo a sus descendientes.*

Como se mencionó antes, los principios básicos de la herencia fueron descubiertos por *Gregor Mendel*, entre 1856 y 1863 cuando realizó una serie de cruces (hibridación) entre distintas variedades de guisantes (*Pisum sativum*). Los postulados de su trabajo fueron corroborados a principios del s. XX y se conocen como *Leyes de Mendel*.

Actualmente, el estudio de la transmisión genética o herencia es llamado *genética clásica* e incluye también el análisis de relación entre cromosomas y herencia, a esto se le llama *Teoría Cromosómica de la Herencia*, compuesta de tres postulados básicos:

- Los genes están situados en los cromosomas.
- Los genes están dispuestos linealmente en los cromosomas.
- La recombinación de los genes se corresponde con el intercambio de segmentos cromosómicos (entrecruzamiento).

Conceptos de la herencia. En genética, la escala de trabajo precisa distintos conceptos. Hasta ahora, se ha definido el gen desde su perspectiva estructural (molecular); no obstante, para el estudio de la herencia, se refiere al gen desde su perspectiva funcional, siendo este *un factor hereditario (región de ADN) que ayuda a determinar una característica*. Los genes vienen en diferentes versiones (dos o más) denominadas **alelos**. Todos los alelos de un gen particular se encuentran en una región específica del cromosoma llamada **locus** del gen (Fig. 20).

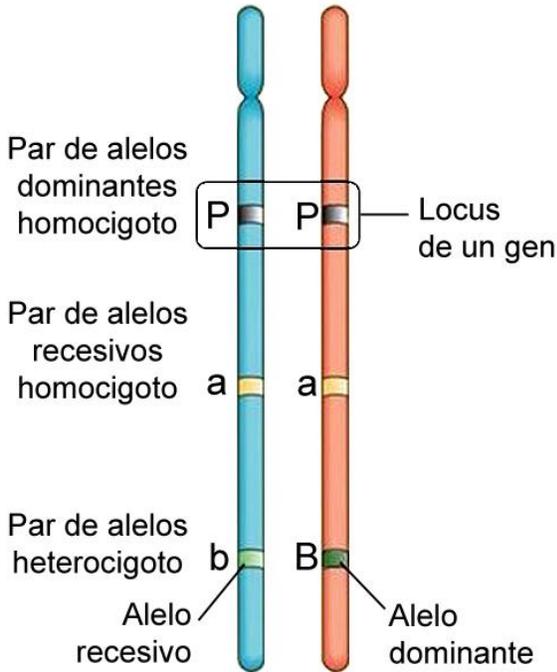


Figura 20. Representación de los alelos (forma de un gen) en cromosomas homólogos de una cromátida.

El **genotipo** es el conjunto de *alelos* que posee un individuo. Un organismo $2n$ que posee dos *alelos* idénticos es **homocigoto** para ese *locus*; mientras que un organismo $2n$ que posee dos *alelos* distintos es **heterocigoto** para ese *locus*.

El **fenotipo** es la manifestación o apariencia de una característica, esta puede ser física, fisiológica, bioquímica o conductual. Así por ejemplo, que una planta tenga semillas lisas es un fenotipo. Un fenotipo dado proviene de un genotipo que se desarrolla en un ambiente particular. El genotipo determina el potencial de desarrollo colocando ciertos límites. La manera como el fenotipo se desarrolla a través de esos límites es determinado por el efecto de otros genes y de factores ambientales, y la influencia es distinta en cada característica; como ejemplo, tener cabello liso o rizado depende fuertemente de los genes, pero la estatura depende en gran medida de factores externos como la nutrición, aunque los genes aún imponen ciertos límites ya que no hay personas de 5 m de altura.

CRUCES MENDELIANOS

Cruce Monohíbrido

Aunque antes de *Mendel* ya se habían realizado experimentos de hibridación en vegetales, la efectividad del análisis hereditario en los cruces mendelianos se debió a ciertas características:

- Las plantas *P. sativum* son fáciles de cultivar, crecen y se reproducen muy rápido, lo que facilita observar varias generaciones.
- Estas plantas producen muchos descendientes, permitiendo un análisis matemático significativo de la relación entre características.
- *Mendel* escogió plantas de variedades puras, cuyo fenotipo era fácilmente rastreable.
- Al hacer los cruces, centró su atención en siete características con sólo dos rasgos posibles, en lugar de un rango. Esto supone que los genes se presentaban en sólo dos alelos (Fig. 21).
- *Mendel* no se limitó a describir, sino que infirió.

SEMILA		FLOR	VAINA		TALLO	
Forma	Cotiledones	Color	Forma	Color	Lugar	Tamaño
Gris y Redondo	Amarillo	Blanco	Lleno	Amarillo	Vainas axiales	Largo (~3 m.)
Blanco y Arugado	Verde	Violeta	Constreñido	Verde	Vainas terminales	Corto (~30 cm.)
1	2	3	4	5	6	7

Figura 21. Características escogidas por Mendel.

Los experimentos de *Mendel* iniciaron con el *cruce monohíbrido*: Aquel que se realiza entre padres que difieren en una característica única. *Mendel* cruzó dos plantas *homocigóticas*, una con semilla amarilla y otra con semilla verde. Luego observó cómo la descendencia mostraba sólo un fenotipo: semillas amarillas (Fig. 22). *Mendel* repitió el experimento con los demás rasgos, obteniendo un resultado común: sólo se mostraba un fenotipo de dos posibles.

Esta primera generación de un cruce se llama Parental (**P**) y su descendencia es la Filial 1 (**F₁**). Pero *Mendel* además realizó cruces entre los

descendientes (la F_1), obteniendo una Filial 2 (F_2) y observó que en esta sólo el 25% de los especímenes mostraba la característica perdida en la F_1 (semilla verde), mientras que el 75% mantenía el fenotipo de la F_1 (semilla amarilla).

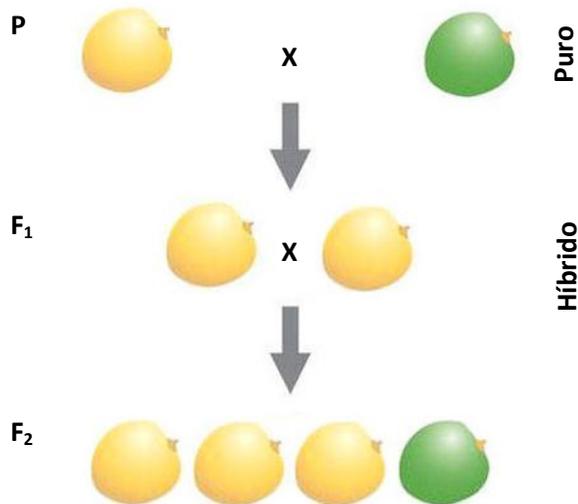


Figura 22. Observaciones de Mendel en los cruces monohíbridos.

Mendel llamó al fenotipo persistente (semilla amarilla) como **dominante** y al que se mostraba hasta la F_2 (semilla verde) como **recesivo**. Ahora se conoce que estas son dos formas *alélicas* de un mismo gen. Algunos alelos *tienen la capacidad enmascarar a otros*, esto se llama **dominancia**.

Repitiendo este experimento con otros rasgos, Mendel planteó sus primeras dos leyes:

1ª Ley de Mendel: Ley de la Uniformidad.

“Si se cruzan dos variedades puras para un determinado carácter, los descendientes serán fenotípica y genotípicamente iguales entre sí, y fenotípicamente iguales a uno de los progenitores”.

2ª Ley de Mendel: Ley de la Segregación.

“Durante la formación de los gametos, cada alelo de un par se separa del otro para determinar la constitución genética del gameto filial”.

Explicación. En organismos $2n$, cada alelo de un par se ubica en un sitio específico de cromátidas distintas: el locus (Fig. 20), por lo que se separan durante la meiosis al formar gametos (Fig. 23). *Si la variedad es pura, sólo posee una forma alélica del gen en ambas cromátidas, entonces es homocigoto puesto que todos sus gametos tendrán el mismo alelo.*

Cuando los gametos de ambas variedades puras se fusionan (F_1), *todos los descendientes poseen las dos formas alélicas de éstas, una en cada par homólogo compartiendo el locus, pero el fenotipo exhibe solo un alelo: el dominante. Sólo basta un alelo dominante para que éste se exprese, pero un alelo recesivo sólo se expresa cuando no comparte locus con uno dominante.*

Estos nuevos individuos no puros (F_1) se llaman **híbridos**, y son **heterocigotos**, ya que su proceso meiótico distribuirá ambos alelos en dos tipos distintos de gametos. Si los híbridos se cruzan entre ellos existen tres posibles combinaciones genotípicas para la F_2 : homocigoto dominante, heterocigoto y homocigoto recesivo (Fig. 24).

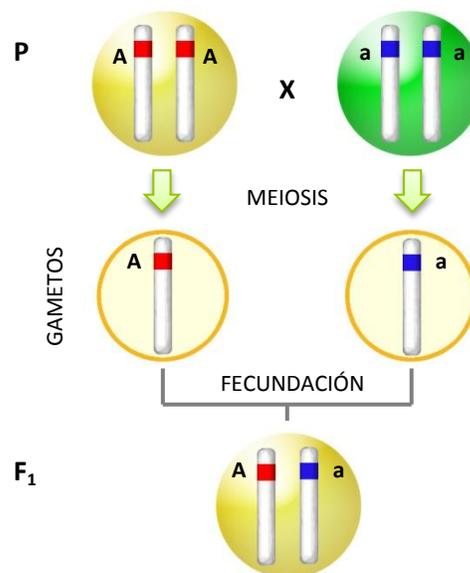


Figura 23. Bases de la 1ª Ley de Mendel. Los alelos (fragmento coloreado del cromosoma) se segregan en la meiosis y se combinan en la fecundación. Como las plantas son de variedades puras producen un solo tipo de gametos. A = dominante, a = recesivo.

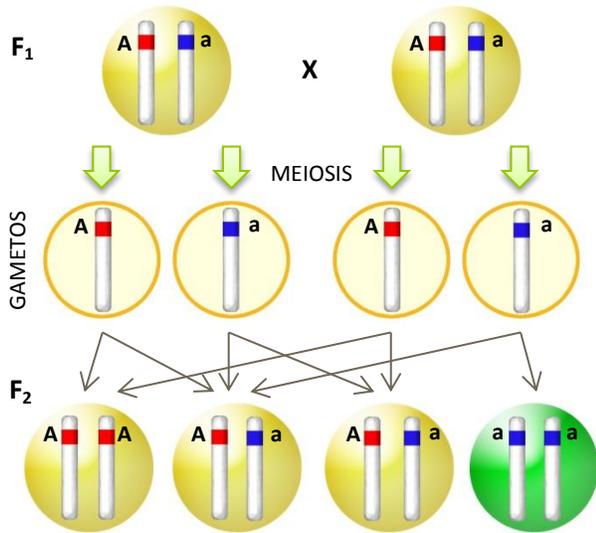


Figura 24. Bases de la 2ª Ley de Mendel. Cada progenitor de la F₂ puede generar dos tipos de gametos, cada uno conteniendo una forma alélica. Los cruces posibles brindan tres genotipos y dos fenotipos.

Sólo en la segunda generación de un *cruce monohíbrido* puede presentarse el fenotipo recesivo, con un 25% de probabilidad. El resto de descendientes tendrá el rasgo dominante, esta es una razón de 3:1 (Figs. 22 y 24).

Notación en los cruces y predicción

Usualmente los cruces se presentan en un *cuadro de Punnett*, que permite observar todas las combinaciones posibles de uno o más alelos maternos con los paternos. Esto a su vez ayuda a determinar la probabilidad de un genotipo y fenotipo en particular. Por convención, los alelos *dominantes* se representan por letras mayúsculas y los recesivos por minúsculas (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadro de Punnett para un cruce monohíbrido.

		Progenitores		
		Gametos posibles		
Paterno	Materno	A	a	Genotipos posibles
	A	AA	Aa	
a	Aa	aa		

Cruce monohíbrido, segunda generación entre guisantes con: **A** = Semillas amarillas, y **a** = Semillas verdes. Como el espacio se divide en 4 campos, las probabilidades de cada genotipo para la descendencia son:

- 25% de individuos homocigotos dominantes
- 50% de individuos heterocigotos
- 25% de individuos homocigoto recesivo

Como se observa en la tabla 2, antes de iniciar el cuadro de *Punnett* es necesario determinar los gametos posibles entre cada progenitor debido. Así es posible “predecir” el genotipo.



Notas de Mendel

Johann Mendel nació en 1822 en territorio de la actual República Checa. Hijo de granjeros, aprendió de su padre a cultivar y realizar injertos.

Tuvo acceso a educación gracias a su admisión en un monasterio, de donde se ordenó como sacerdote y al hacerlo obtuvo el nombre de *Gregor Mendel*.

Ejerció la docencia y así fue recomendado para ingresar a la Universidad de Viena, donde aprendió química, matemática, botánica, fisiología vegetal, etc.

Condujo sus experimentos durante más de ocho años y presentó sus conclusiones en 1865. Siendo ignoradas por la comunidad científica, estas permanecieron en el olvido por casi cuarenta años.

El propio Charles Darwin no tuvo conocimiento de los trabajos de Mendel, siendo la genética la principal omisión en su teoría de la evolución.

Mendel fue electo abad de su monasterio y poco a poco se olvidó de la genética y la docencia. Murió en 1884 sin ser reconocido por su aporte.

Para corroborar un genotipo a partir del fenotipo, *Mendel* realizó *cruces de prueba*; esto es posible conociendo la dominancia y el genotipo de un progenitor. Por ejemplo, *Mendel* determinó que el tallo largo (T) era dominante sobre el tallo corto (t), pero entonces *¿cómo podía corroborar que las plantas de tallo largo eran homocigotas?* *Mendel* las cruzó con un recesivo (Tabla 3).

Tabla 3. Cuadro de Punnett para un cruce monohíbrido entre homocigoto recesivo y posible heterocigoto (prueba).

		Materno	
		T	t
Paterno	t	Tt	tt
	t	Tt	tt

El padre es homocigoto pues es recesivo (tt), produce sólo gametos t. Si la madre es heterocigoto, producirá gametos T y t, y habrá 50% de probabilidad de plantas F1 tallo bajo. Como se esperaba, *Mendel* obtuvo un FENOTIPO: 50% tallo largo y 50% tallo corto.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 30 minutos)

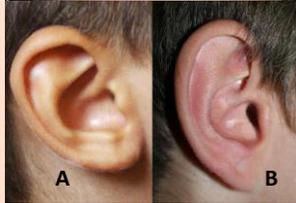
¿SOMOS DOMINANTES O RECESIVOS?

Existen varios rasgos anatómicos en los seres humanos que son determinados por un gen de dos formas alélicas. Con esta actividad, observando el fenotipo, se podrá analizar los posibles genotipos de los estudiantes.

Procedimiento: Divida a los estudiantes en grupos de cuatro a ocho integrantes. Pida que se observen las siguientes características y anoten su ocurrencia:



Pico de viuda.
Su presencia es dominante y la ausencia es recesiva.



Lóbulo de la oreja.
Si cuelga libre es dominante (A), pero si está adherido por la base de la mandíbula de forma indirecta (B), es recesivo.



Pecas.
La presencia de pecas es dominante y su ausencia es recesiva.



Campanances.
La presencia de campanances en las mejillas es dominante. Su ausencia es recesiva.



Enrollamiento de la lengua.
La capacidad de hacerlo es dominante.

Cuando hayan terminado interroga: ¿por qué no todos tienen los mismos rasgos? ¿Qué significa esto? ¿Qué podemos inferir de nuestro genotipo?

Las personas que son recesivas para una característica son homocigóticas, pero las dominantes pueden ser tanto heterocigóticas como homocigóticas. Puede pedir que analicen los rasgos de sus familias:

Si ambos padres presentan un rasgo dominante común, pero el alumno o uno de sus hermanos presenta un rasgo recesivo, los padres son heterocigoto. Si un padre es recesivo y otro dominante para un rasgo común, pero el alumno o uno de sus hermanos es recesivo en ese rasgo, entonces el padre dominante es heterocigoto.

CRUCE DIHÍBRIDO

Es aquel que se realiza entre padres que difieren en dos características independientes. Mendel realizó diversos cruces de este tipo, obteniendo resultados que derivaron en la 3ª ley:

3ª Ley de Mendel: Ley de la Recombinación Independiente de Factores.

“Diferentes rasgos son heredados independientemente unos de otros, por lo tanto el patrón de herencia de uno no afectará al otro”.

Sólo se cumple en genes no ligados, o sea los que se encuentran en diferentes cromosomas o en regiones muy alejadas de un mismo cromosoma.

A continuación se estudiará uno de los cruces dihíbridos de Mendel para dos variedades puras de guisantes: Semilla lisa amarilla (dominantes), y semilla rugosa verde (recesivos) (Fig. 25).

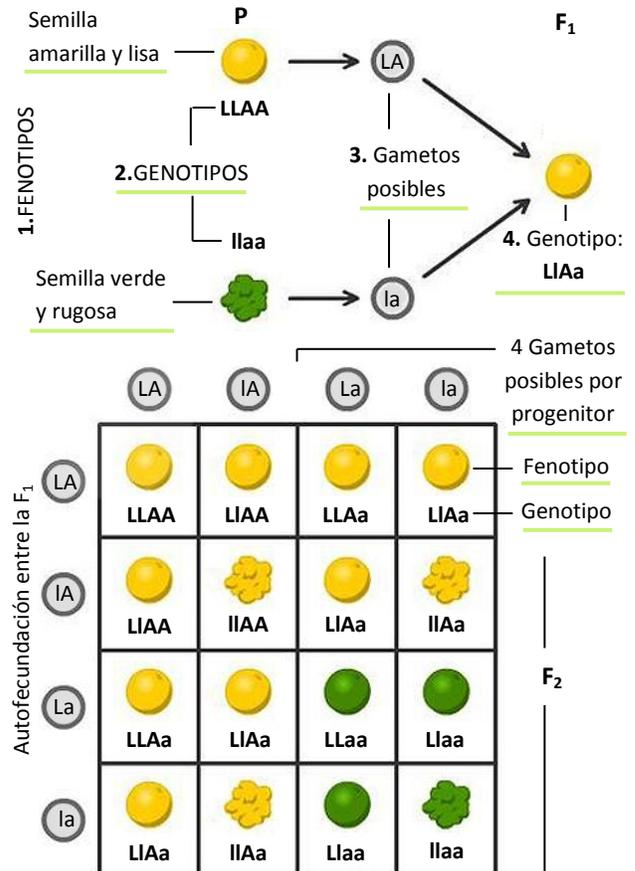


Figura 25. Cruce dihíbrido entre guisantes homocigóticos, primera y segunda filial. Razón fenotípica de 9:3:3:1.

Como se observa en la figura 25, en un cruce *dihíbrido* entre razas puras, la F₂ presenta 16 genotipos que expresan 4 fenotipos distintos con razones de ocurrencia de 9:3:3:1, de la siguiente manera:



Esta distribución obedece a la *recombinación independiente*, cuyas bases subyacen en la recombinación de la *meiosis* como se observa en la figura 26, en otro cruce mendeliano donde los rasgos son la forma y color de la vaina.

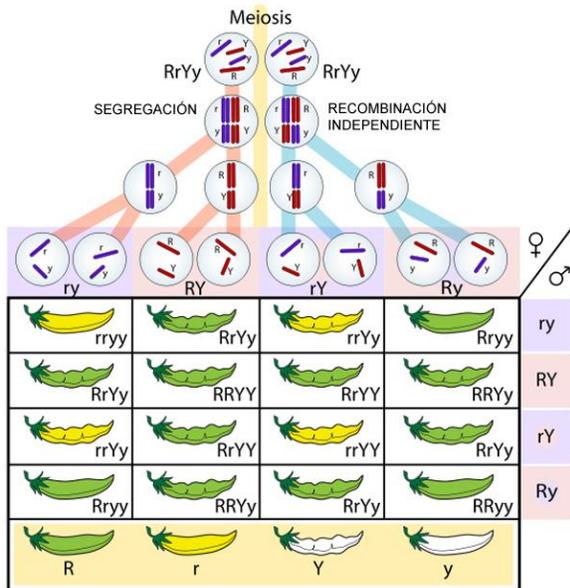


Figura 26. Recombinación independiente de alelos en un cruce dihíbrido, F₂. R = verde, r = amarillo, Y = rugosa, y = lisa.

Mutaciones y Anomalías Cromosómicas

Las mutaciones son cambios espontáneos en la secuencia genética de un individuo (ADN en una célula o ARN en un virus). Estas pueden ocurrir por factores ambientales como virus, radiación, químicos *mutagénicos* o por factores internos como errores durante el proceso de duplicación.

Aunque sean características adquiridas, las mutaciones pueden ser heredables debido a que ocurren a nivel genético. Estos cambios genómicos son muy frecuentes (especialmente en células somáticas) y representan una fuerza

impulsora de evolución al aumentar la variabilidad genética poblacional. No obstante, la mayoría de mutaciones no son viables (producen la muerte), otras no se expresan en el fenotipo y sólo algunas confieren ventaja a los individuos.

Los errores durante la división meiótica pueden causar *anomalías cromosómicas*; estas son alteraciones en la estructura o número de los cromosomas que sólo puede ocasionarse por fecundación entre gametos defectuosos. En humanos, aproximadamente uno de cada 200 bebés nacen con alteraciones de este tipo.

Cuando el cariotipo varía en el número de cromosomas, se denomina *aneuploidía*. Algunos ejemplos son: el *síndrome de Down* o *trisomía 21*, causado por la presencia de tres cromosomas 21; el *síndrome de Turner*, que es una *monosomía* causada por la presencia de un único cromosoma sexual (el X).

EJERCICIOS Y PROBLEMAS

A. EJERCICIOS

1. En la especie humana, el sexo es determinado gracias al par de cromosomas sexuales X y Y. Las mujeres presentan el par homólogo XX, y los hombres el XY. Demuestre con un cuadro de Punnett la probabilidad de que un bebé sea niña o niño.

Solución sugerida: En la meiosis, los cromosomas homólogos se separan, así que los gametos serán:

	Mujer = X	Hombre = X ó Y		
	Hombre	X	Y	2/4 presentan genotipo XX. 2/4 presentan genotipo XY.
Mujer	X	XX	XY	50% probabilidad para una niña. 50% probabilidad para un niño.
	X	XX	XY	

2. Si una planta homocigótica de tallo alto (AA) se cruza con una homocigótica de tallo enano (aa), sabiendo que el tallo alto es dominante sobre el tallo enano, ¿Cómo serán los genotipos y fenotipos de la F₁ y de la F₂? ¿Cómo puede comprobar un heterocigoto en la F₂?

Solución sugerida:

Paso 1. Determinar los gametos formados en P. Como son homocigotos, estos solo pueden ser:

A y a

Paso 2. Realizar cruce para la F₁.

Sólo existe un fenotipo posible: F₁ = Aa 100%

para reproducir fragmentos específicos de la cadena de ADN.

El proceso de manipulación genética usualmente incluye la siguiente secuencia básica:

- Aislar un gen en particular cuya función y locus es conocida.
- Multiplicar el gen. Esto se realiza con la RCP.
- El gen debe ser combinado con otros elementos genéticos (como regiones de señal) para garantizar su inserción adecuada.
- Localizar el sitio de inserción.
- Insertar el gen. Para ello se puede estresar la célula con un electrochoque que incremente la permeabilidad de membrana.

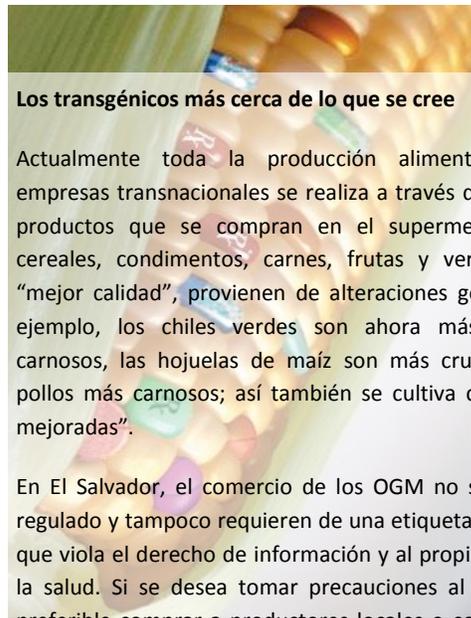
Aplicaciones de la Ingeniería Genética

Actualmente las aplicaciones genéticas abarcan campos muy diversos, desde la agricultura y ganadería, con el desarrollo de variedades más resistentes, más nutritivas y de mayor producción; la farmacéutica, para la producción de nuevos medicamentos más eficientes a más bajo costo; así como la medicina con el desarrollo de nuevos tratamientos y la cura de enfermedades congénitas.

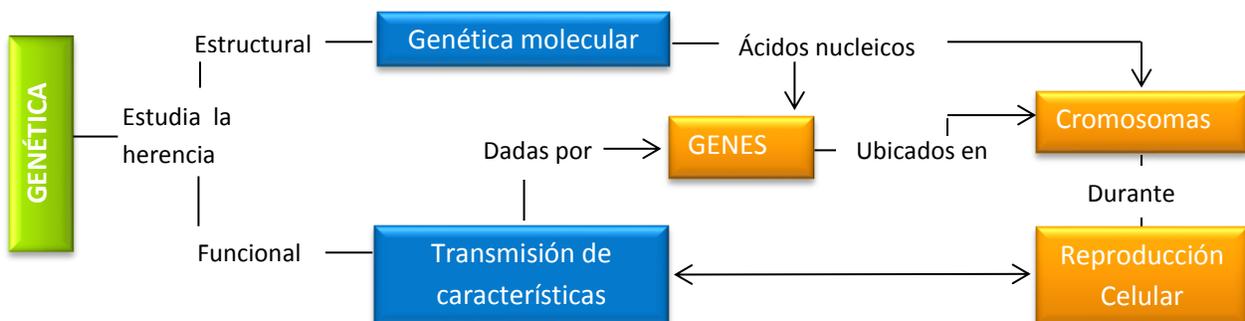
Terapia genética. Es el tratamiento médico que consiste en sustituir o añadir, una copia normal de la región defectuosa del ADN para poder solucionar y restablecer una función alterada, evitando el desarrollo de enfermedades de origen genético.

Transgénicos. Se denomina así a los organismos genéticamente modificados (OGM) que se emplean para producir alimentos. Su “mejora” genética usualmente consiste incrementando su productividad o resistencia.

Riesgos de los OGM: La manipulación genética para producir alimentos, si bien aumenta la producción y disminuye pérdidas en las cosechas, puede traer serias consecuencias a la salud y al ambiente. Se ha sugerido que de la misma forma en cómo los genes son transferidos desde un organismo externo, estos pueden causar mutaciones en quienes los consumen; asimismo, las nuevas variedades pueden reproducirse con las variedades silvestres y producir así recombinaciones no previstas.



RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Biología de la célula: El ciclo celular (2009). Extraído en octubre de 2011 de <http://goo.gl/mJnpv>

Cellular Reproduction (s.f.). Extraído en octubre de 2011 de <http://goo.gl/c6BCA>

Genética: Replicación, transcripción y traducción (s.f.)
Extraído en octubre de 2011 de <http://goo.gl/lBnEI>

Genética mendeliana (s.f.). Extraído en noviembre de 2011 de <http://goo.gl/Ca1wM>

Genetic Science Learning Center (2011). *Learn. Genetics*. Extraído en octubre de 2011 de <http://goo.gl/M9i61>

Pierce, B. (2006). *Genética un enfoque conceptual* 2ª edición. Madrid: Médica Panamericana. Extraído en octubre de 2011 de <http://goo.gl/bkExD>

Peña, C.; D. Charter y F. Ayala-Fierro (2004). *Toxicología ambiental, evaluación de riesgos y restauración ambiental*. Universidad de Arizona. Extraído en noviembre de 2011 de <http://goo.gl/RWTvk>

ACTIVIDAD EVALUADORA

- El rompimiento de una cadena de ADN o ARN resulta en:**
 - Aminoácidos
 - Monosacáridos
 - Nucleótidos
 - Ácidos grasos
- Los genes son:**
 - Los elementos fundamentales de la herencia.
 - Una secuencia de nucleótidos que codifica información genética.
 - Factores hereditarios que ayudan a determinar una característica.
 - Todas las anteriores.
- Los nucleótidos contienen:**
 - Sulfuro
 - Una base nitrogenada
 - Un azúcar de 6 carbonos
 - Todas las anteriores
- El desarrollo de las actividades metabólicas de la célula depende de la habilidad del material genético para:**
 - Almacenar información
 - Replicarse
 - Sufrir cambios
 - Mantener su estabilidad
- ¿Cuál de las siguientes características del material genético le proveen la variabilidad requerida para que ocurra la evolución?**
 - Almacenar información
 - Replicarse
 - Sufrir cambios
 - Todas las anteriores
- Los cromosomas contienen:**
 - Proteínas
 - ADN
 - Proteínas y ADN
 - Proteínas y ARN

RESPUESTA DIRECTA.

- Nombre las fases en las que ocurren los siguientes eventos durante la división celular mitótica:**
 - Rompimiento del centrómero: _____
 - Las cromátidas se alinean en el ecuador celular: _____
 - Los cromosomas se hacen visibles: _____
 - Ocurre la citocinesis: _____
- Mencione tres diferencias fundamentales entre mitosis y meiosis.**
- Organismo que presenta dos juegos de cromosomas en sus células somáticas:** _____
- Es la unión de cuatro cromátidas de un par homólogo que permite el entrecruzamiento:** _____
- Son las distintas formas en las que se presenta un gen:** _____
- Región específica de un cromosoma donde se ubican las distintas formas de un gen:** _____

EJERCICIOS:

- El color azul de los ojos en el ser humano se debe a un gen recesivo respecto a su alelo para el color café. Los padres de un niño de ojos azules tienen ambos los ojos color café. ¿Cómo son sus genotipos?
- Al cruzar dos moscas negras se obtiene una descendencia formada por 216 moscas negras y 72 blancas. Representando por **NN** el color negro y por **nn** el color blanco, razónese el cruzamiento y cuál será el genotipo de las moscas que se cruzan y de la descendencia obtenida.
- Sabiendo que en las gallinas el plumaje negro domina sobre el blanco, ¿cómo se podrá averiguar que una gallina negra es homocigótica o heterocigótica para el carácter negro?
- En el conejo el pelo rizado domina sobre el pelo liso y el pelo negro sobre el blanco. Si cruzamos un conejo rizado y negro con otro blanco y liso, indicar: cuáles serán los genotipos y fenotipos de la F1 y de la F2 y qué proporción de individuos rizados y negros cabe esperar que sean homocigóticos para ambos caracteres. Los conejos que se cruzan son puros para ambos caracteres.

CONTENIDOS

1. Desarrollo de los Seres vivos
2. Plantas no Vasculares
3. Helechos
4. Plantas con Semilla
5. Hongos
6. Animales
7. Desarrollo Humano
8. Células Madre

INDICADORES DE LOGRO

1. Comprende que todos los organismos vivos poseen ciclos vitales de desarrollo.
2. Identifica a las plantas no vasculares y a las vasculares con semilla.
3. Analiza la reproducción de los hongos con interés.
4. Conceptualiza las etapas del desarrollo humano de manera lógica.

PALABRAS CLAVE

Gametofito, esporofito, haploide, diploide, embrión, hifa, cigoto, espermatogénesis, blástula, gástrula, holoblasto, meroblasto, ectodermo, mesodermo, endodermo, trofoblasto, células madre.

**¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?**

Estudiar los ciclos vitales permite ahondar en la homogeneidad de la vida y su origen común. Con la embriología se perciben los lazos genéticos que hay en todos los organismos a pesar de ser tan diferentes morfológicamente; por consiguiente, redime la importancia de conservar distintas formas de vida, incluyendo la humana. De igual forma, la temática facilita la integración de las ciencias naturales, la tecnología y la salud.

DESCRIPCIÓN

Es un recorrido general sobre los ciclos vitales de especies de diversos reinos pasando por el *Plantae*, *Fungi* y *Animalia*; se consideran los procesos más importantes y básicos de cada grupo de organismos, para tener un panorama amplio de cómo funciona la vida y los nexos evolutivos que hay en los reinos.

Todos los organismos vivos, pasan a través de diversas etapas en su ciclo vital, desde su gestación hasta llegar a su etapa adulta. Cada especie sufre muchos cambios anatómicos y fisiológicos a medida va desarrollando su estructura física. Esto sucede tanto en vegetales como animales. Si bien es necesario analizar a estos dos enormes reinos y comparar las similitudes y diferencias entre sus especies típicas (Fig. 1), conviene analizar también organismos menos conspicuos, pero de notable importancia.



Figura 1. Distintos organismos que poseen distintos ciclos de desarrollo vital.

DESARROLLO DE LOS SERES VIVOS

Anteriormente se han considerado las plantas vasculares superiores (Lección 5); sin embargo, existen otros grupos importantes desde el punto de vista evolutivo, que son las *plantas no vasculares* y vasculares inferiores (Lección 3). Al igual que representantes de otros reinos como los hongos cuya importancia es también industrial, alimenticia, médica y económica.

PLANTAS NO VASCULARES

Todas las plantas poseen un ciclo de vida alternado en dos generaciones de organismo multicelular: el gametofito y el esporofito. Cada generación da lugar a la otra, este proceso se llama *alternancia de generaciones* (Lección 7). Este tipo de ciclo reproductivo ocurre en musgos,

hepáticas, antoceros, helechos y varios tipos de algas (Fig. 2).



Figura 2. Una planta hepática. El gametofito a simple vista.

Se debe tener cuidado de no confundir la alternancia de generaciones con los estados *haploide* y *diploide* en los ciclos de vida de otros organismos que se reproducen sexualmente. La alternancia de generaciones es distinguida por el hecho de que en *su ciclo de vida incluye organismos multicelulares haploides y organismos multicelulares diploides*.

El *gametofito* (“planta que produce gametos”), es llamado así por la producción de gametos haploides por mitosis, que se fusionan durante la fertilización formando cigotos diploides. La división mitótica del cigoto produce el *esporofito* (“planta que produce esporas”).

En el estado adulto del esporofito se producen por meiosis *esporas haploides*, células reproductivas que pueden convertirse en un organismo haploide nuevo sin necesidad de fusionarse con otra célula. La división mitótica de las esporas produce un nuevo gametofito multicelular y el ciclo inicia de nuevo (Fig. 3). En el caso de los helechos y muchas otras especies de plantas, el aspecto de los gametofitos y esporofitos los hace parecer dos tipos de plantas diferentes, a pesar de ser formas de la misma especie. En las plantas superiores o con semilla, la estructura familiar distinguible es el esporofito.

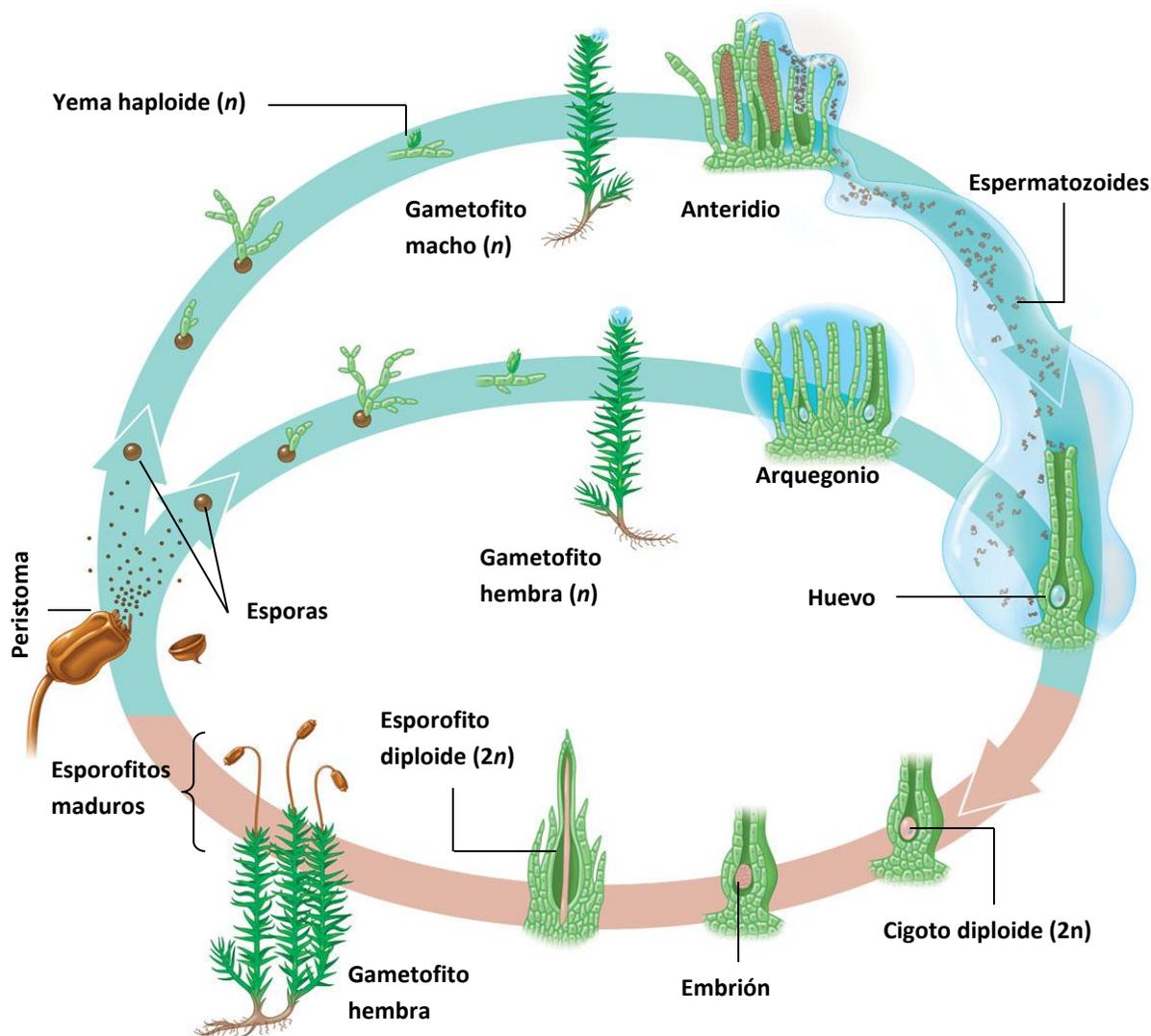


Figura 3. Esquema sobre el ciclo vital de un musgo; la flecha celeste indica la fase haploide y la flecha rosada indica la fase diploide del esporofito y gametofito multicelulares.

Esporas. Las *esporas* son células reproductoras haploides que se convierten en gametofitos multicelulares haploides por mitosis.

Los cigotos se desarrollan para formar el *embrión*, el cual alojan en un tejido especializado para protegerlo y nutrirlo que posee la planta “hembra” (gametofito). Estos tejidos proveen de azúcares y aminoácidos al embrión, que además posee células especializadas llamadas *Células Placentarias de Transferencia*, que están adyacentes al tejido maternal; su función es facilitar y mejorar la transferencia de nutrientes

de la planta madre hacia el embrión, a través de un elaborado crecimiento de su pared celular y la membrana plasmática.

Esta interface es análoga a la transferencia embrión-madre en *mamíferos placentarios* o *euterios*. El embrión multicelular y dependiente es un rasgo derivado de que este grupo de plantas también conocidas como *embriofitas*.

Los representantes vivos de este grupo de plantas no vasculares son los musgos, las hepáticas y los antoceros. Son plantas que no poseen raíces ni tallos. Se caracterizan por ser de

tamaño pequeño. Sus esporofitos son estructuras que sobresalen en altura, en forma de “pequeños arboles” en el caso de las hepáticas; como una cápsula en los musgos y como estróbilos (del griego *strobilos*: “cono”) pequeños en el caso de antoceros (Fig. 4).



Figura 4. A: Hepática con sus esporofitos con forma de “palmeras”. B: Antoceros con sus estróbilos.

El esporofito tiene órganos multicelulares llamados *esporangios* que producen las esporas. Entre los esporangios hay células diploides llamadas *esporocitos* (células madre de las esporas).

Los gametos que producen estas plantas también son órganos multicelulares; el femenino se llama *arquegonio*, cada uno produce un huevo u óvulo encerrado en las paredes de este órgano. El órgano masculino se llama *anteridio* y produce *anterozoides* (espermatozoides vegetales) que se liberan al ambiente, estos poseen flagelos con los que nadan a través de gotas de agua o en alguna película de agua para llegar al arquegonio y fertilizarlo (Fig. 5).



Figura 5. A: arquegonio de hepática. B: anteridio de musgo (cuerpos color café).

Plantas Vasculares

Los fósiles de las primeras plantas vasculares sugieren que los tamaños del gametofito y esporofito eran prácticamente iguales, sin embargo, entre las plantas vasculares vivientes, el esporofito (diploide) es más largo y más complejo que el gametofito.

HELECHOS

En los helechos la parte más familiar es el esporofito (la planta con sus frondas parecidas a hojas) mientras que su gametofito es una estructura multicelular muy pequeña y difícil de observar. Un hito en la evolución de las plantas fue la aparición de *esporofilos* que son hojas modificadas que llevan esporangios. Los helechos producen grupos de esporangios llamados *soros* que por lo general se encuentran en la parte inferior del esporofilo (Figs.6 y 7).



Figura 6. Una fronda de helecho con su parte inferior llena de cúmulos de esporas llamados soros

Muchas de las plantas vasculares inferiores son *homosporas*, es decir, tienen un tipo de esporangio que produce esporas que desarrollan un gametofito bisexual, esto pasa en varios tipos de helechos. En contraste, las especies heterosporas, producen dos tipos de esporangios que forman dos tipos de esporas: *Megaspora*, que se transforma en gametofito femenino, y *Microspora*, que se convierte en gametofito masculino. Todas las plantas vasculares superiores con semilla son heterosporas, también algunas especies de helechos (Fig. 7).

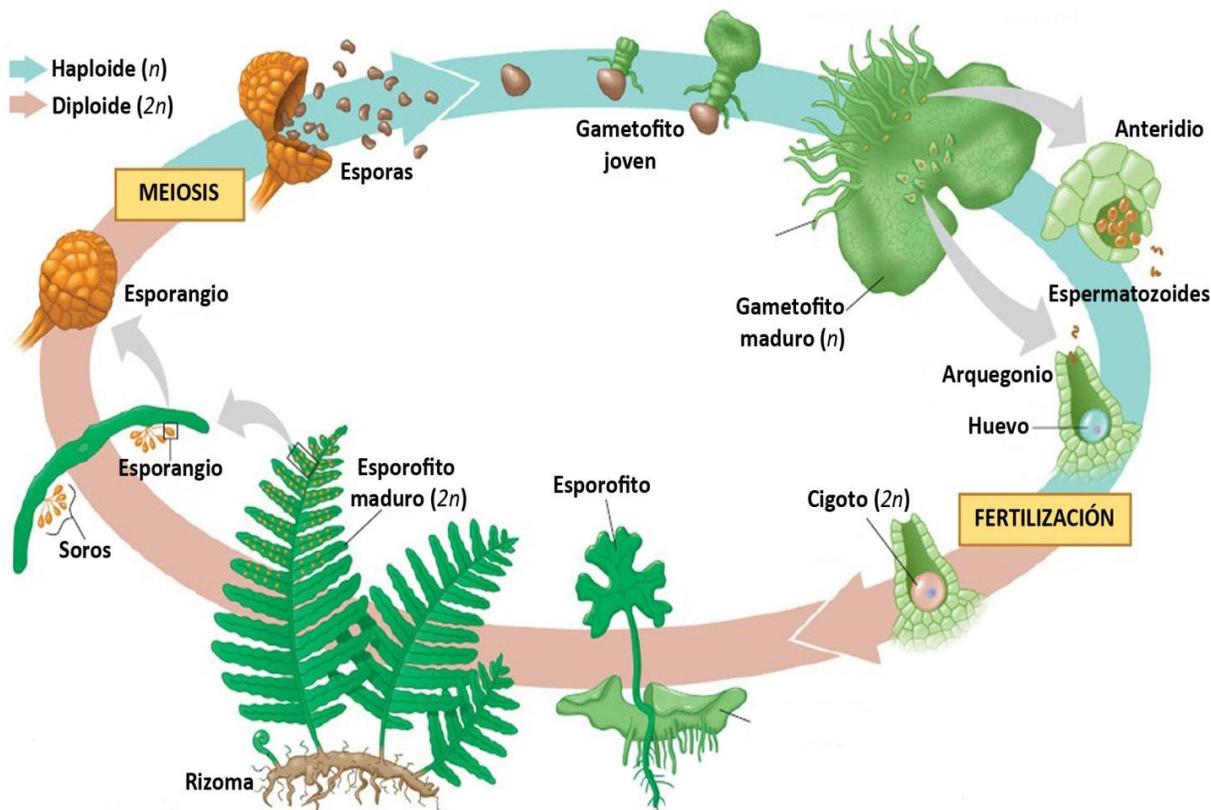


Figura 7. Esquema del ciclo vital de los helechos, diferenciando la alternancia de generaciones, los gametofitos y esporofitos.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 45 minutos)

Microclima y morfología de plantas no vasculares.

Materiales: musgos, hepáticas, antoceros, lente de aumento (lupa), libreta de apuntes.

Indíqueles que: pueden recolectar las muestras buscando en lugares húmedos y frescos, sobre rocas o paredes cercanas a fuentes de agua. Pídales que observen las estructuras básicas con atención a las reproductoras si las hay. Que identifiquen arquegonios y anteridios con la lupa y tomen nota.

Puede preguntarles:

¿Por qué se consideran estas plantas como inferiores?
 ¿Qué factor influye en la reproducción de estas plantas? ¿Qué condiciones había en el lugar donde colecto las muestras? ¿Por qué dependen tanto del agua estas plantas?
 ¿Por qué no alcanzan un mayor tamaño o altura?

Típicamente los helechos poseen un rizoma horizontal, del cual salen láminas largas parecidas a hojas llamadas *frondas* cuya función es

fotosintética, además de producir los soros que contienen los esporangios; algunas especies poseen esporangios con dispositivos que ayudan a liberar las esporas al aire libre.

PLANTAS CON SEMILLA

El estudio de los fósiles y estudios comparativos de plantas modernas apuntan que las primeras plantas con semilla aparecieron alrededor de 360 millones de años atrás. La semilla consiste en un embrión con una provisión de alimento y recubierto en una capa protectora. Al estar protegido y alimentado, el embrión puede moverse muy lejos del lugar donde está la planta madre; esto podría compararse a una versión “desmontable” de útero móvil en una mujer embarazada que puede ser descartado.

El gametofito de las plantas con semilla es microscópico, en contraste con el gametofito de las plantas sin semilla y vasculares inferiores, que se puede observar a simple vista (Fig. 8).



Figura 8. Cono de un pino, dentro de cada escama hay una semilla desnuda.

Las gimnospermas aparecieron hace unos 251 MDA atrás, dominaron los ecosistemas cuando las plantas no vasculares cedieron ante un clima más seco. Presenciaron la extinción de los dinosaurios y abrieron el camino a las plantas angiospermas.

Los pinos y las demás coníferas son la división (phylum) más abundante de las gimnospermas. El árbol de pino es el esporofito y sus esporangios están entre las escamas que forman el cono o la piña (Figs. 8 y 9); conviene recordar que las coníferas son plantas heterosporas.



Figura 9. A: conos masculinos liberando esporas. B: cono femenino con semillas entre sus escamas.

Los pinos presentan un cono pequeño que produce microsporas a través de la meiosis, cada una de estas se desarrolla hasta formar un grano de polen conteniendo el gametofito masculino. En el otro tipo de cono, se producen las megasporas por meiosis, están son haploides y

están dentro del óvulo. Las megasporas se desarrollan en el gametofito femenino que se mantienen dentro de los esporangios (Fig. 9).

Luego que ambos gametofitos jóvenes se han formado, transcurren alrededor de tres años para que se encuentren, se unan y produzcan las semillas a partir de los óvulos fertilizados. Las escamas del cono se abren y separan para liberar las semillas que son esparcidas por el viento. La semilla que cae en suelo y ambiente adecuado, germina para iniciar así de nuevo el ciclo (Fig. 10).



Figura 10. Semillas de una variedad de pino. Estas al germinar inician un ciclo de muchos de duración.

Plantas con flor y semilla

El nombre Angiospermas (del griego *angion* “envase” y *sperma* “semilla”) se refiere a las plantas con la semilla contenida dentro del fruto u ovario maduro. En la actualidad existen más de 250,000 especies de angiospermas en el planeta, haciéndolas el grupo más diverso de plantas (cerca del 90% de todas las especies).

La flor de una angiosperma típica, produce microsporas (los granos de polen) que serán el gametofito masculino, y macrosporas que contienen una *oosfera* o gameto femenino (en un gametofito femenino, el óvulo) (Fig. 10).

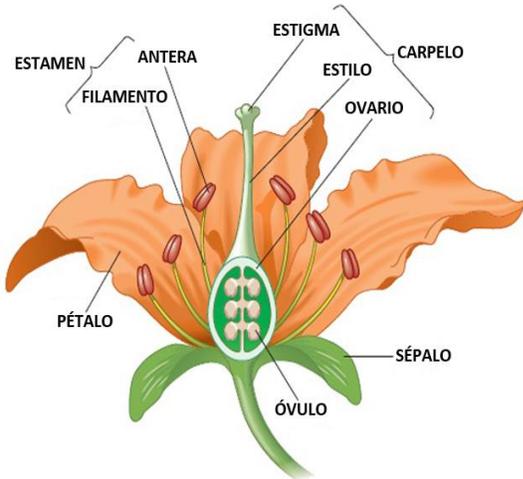


Figura 10. Esquema de una estructura floral idealizada con sus partes principales.

El polen es llevado desde la antera hasta el estigma; al llegar ahí, la célula tubular del polen, forma el *tubo polínico* para llegar hasta el saco embrionario que contiene los óvulos. El polen libera los espermatozoides (vegetales) por el tubo para fertilizarlos, formando un cigoto diploide. Los otros anterozoides se fusionan con la célula central del gametofito femenino produciendo una célula triploide. Este tipo de fertilización doble donde un evento produce un cigoto diploide y célula triploide es único de las angiospermas (Fig. 11).

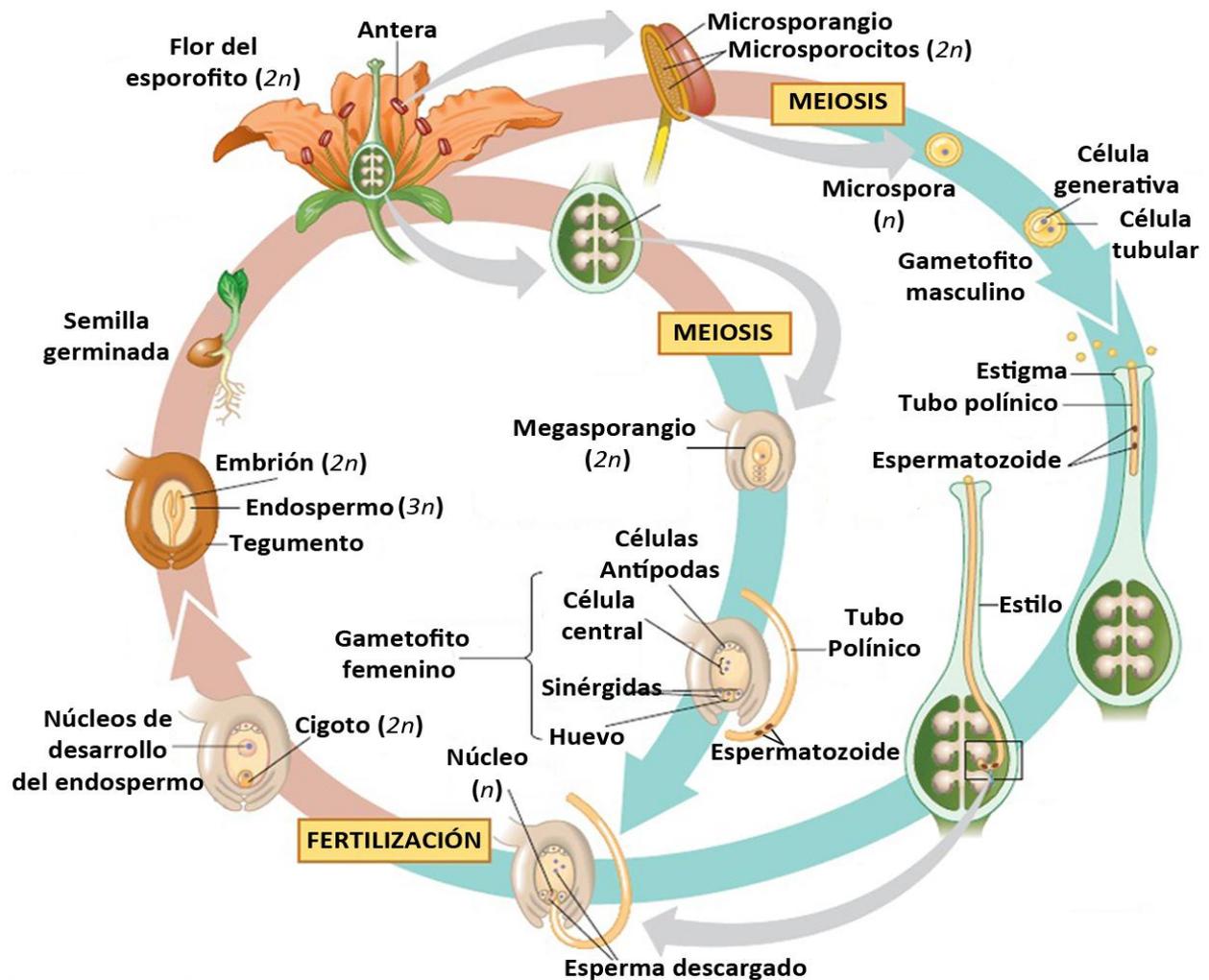
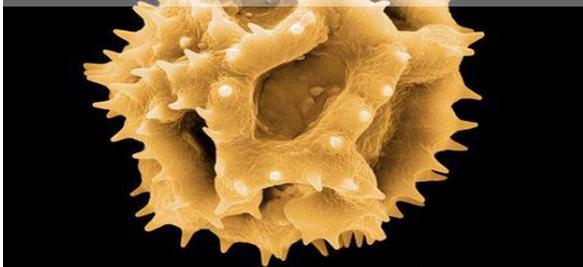


Figura 11. Esquema del ciclo de desarrollo vital en plantas angiospermas, presenta las fases haploide y diploide, así como los microsporangios y megasporangios al momento de su fusión. Además, muestra el desarrollo del tubo polínico que es una extensión de la célula tubular que está junto a la célula germinativa del polen, el conducto formado es donde bajan los espermatozoides para llegar al óvulo en los ovarios y después de la fertilización se inicia la fase diploide y triploide al formarse el endospermo que se transformará en la capa interna de la semilla que protege el embrión.

Se desconocen las razones exactas de la doble fertilización, pero se teoriza que ocurre para sincronizar el almacenamiento de alimento con el desarrollo del embrión. Si una flor no es polinizada o el espermatozoide no llega al óvulo, la fertilización no ocurre. Tal vez la doble fertilización sea una adaptación para prevenir el despilfarro de nutrientes en óvulos infértiles.

Polen acorazado

El polímero *esporopolenina* es un compuesto presente en la pared celular de las esporas, es muy estable en su estructura, lo que le da gran resistencia a la espora ante los ambientes adversos. Esta adaptación química habilita a las esporas para ser esparcidas a través del aire sin sufrir daños.



HONGOS

Se han descrito alrededor de 100 000 especies de hongos, pero se estima que el reino Fungi posee aproximadamente 1 500 000 especies. Son organismos heterótrofos que se dispersan por medio de sus esporas liberadas al aire. Estas esporas al encontrar un suelo favorable, con suficiente humedad y nutrientes comienzan a formar nuevos *micelios* (Fig. 12).



Figura 12. Un ejemplar de ascomiceto, creciendo en un tronco podrido.

Reproducción sexual

Los núcleos de las hifas y las esporas de muchas especies de hongos son haploides, aunque muchos hongos tienen etapas haploides que son transitorias a través de su ciclo de vida.

En la reproducción sexual todo comienza cuando hifas de dos micelios liberan una señal química llamada *feromona* que sirve como atracción que al llegar a los receptores de cada uno, las hifas comienzan a extenderse en dirección de las feromonas, que al encontrarse se fusionan (Fig. 13). Este proceso promueve la variación genética evitando que hifas con similitud genética se fusionen entre sí. Sin embargo, este proceso puede variar en muchas maneras de acuerdo a la especie del hongo.



Figura 13. Hifas de un zigomiceto por debajo de la superficie del suelo

Reproducción asexual

Ciertas especies se reproducen prioritariamente en forma asexual. Estos hongos por lo general crecen en forma de filamentos muy finos y pequeños que producen esporas haploides por mitosis. Algunas especies se les conocen como mohos si tienen un micelio visible (Lección 3). Los mohos crecen rápidamente produciendo muchas esporas asexualmente (Fig. 14).

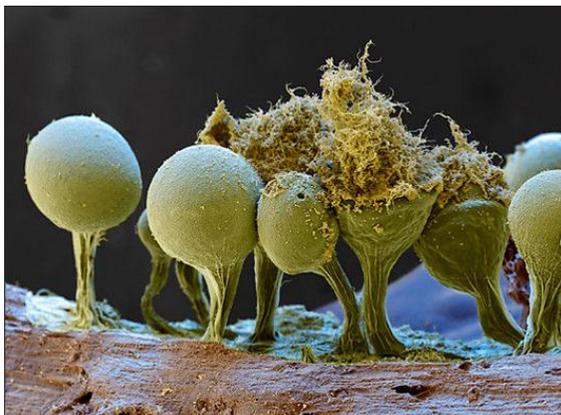


Figura 14. Micrografía electrónica de moho, con sus cuerpos fructíferos liberando esporas.

Las levaduras pueden reproducirse asexualmente por medio del crecimiento celular y su posterior división, dando origen a células hijas más pequeñas que las paternas. Las levaduras también pueden crecer como micelio filamentososo, todo dependerá de la disponibilidad de nutrientes del sustrato donde se encuentren (Fig. 15).

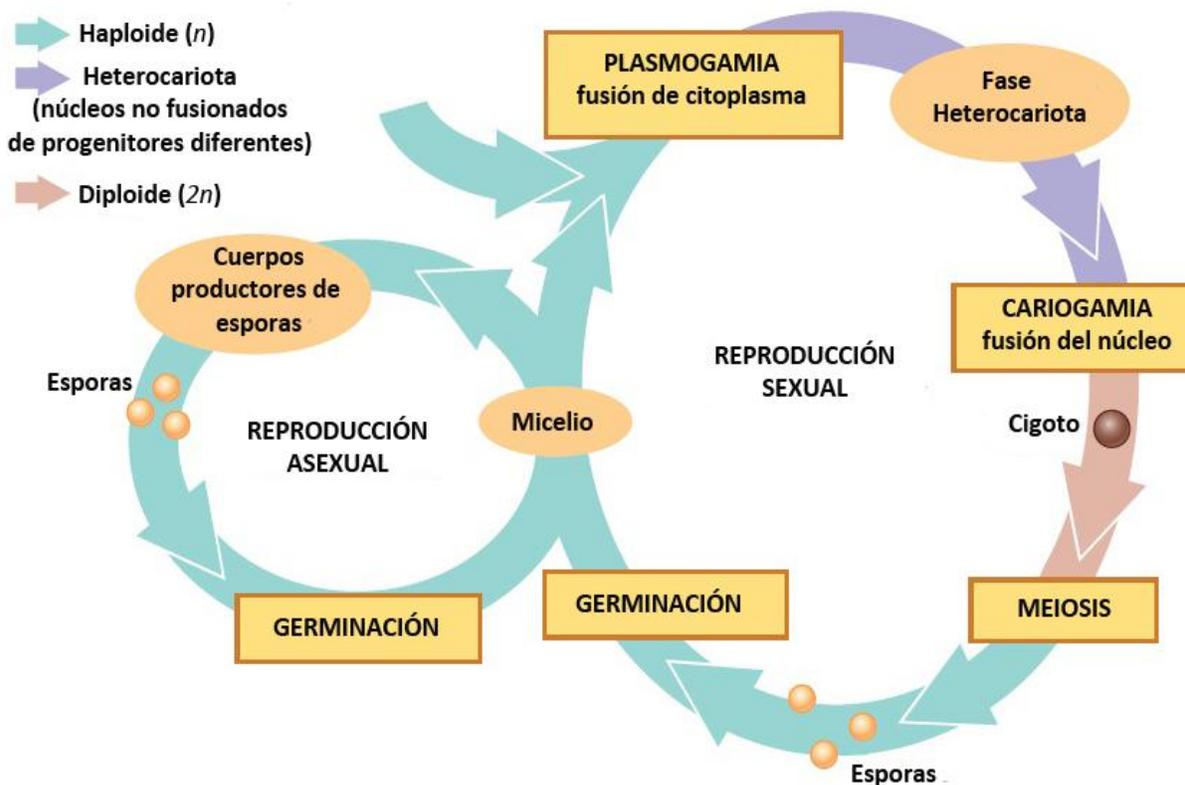


Figura 15. Esquema integrado de los dos tipos de reproducción que hay en el reino Fungi. Con características únicas tales como la unión de hifas diferentes a través de la plasmogamia y la unión de núcleos de células diferentes por medio de la cariogamia.

ACTIVIDAD 2. (Tiempo: 30 minutos)

HONGOS: FORMA, FUNCIÓN E IMPORTANCIA

Materiales: muestras de pan (francés o de caja), tortillas, frutas variadas, algunas semillas de maíz o frijol humedecidas en papel o algodón; hongos macroscópicos; hoja de papel blanca, libreta de notas, lupa.

Indíqueles que: las muestras de pan, tortilla y fruta pueden prepararlas una semana antes o 5 días como mínimo. Dejar las muestras de pan y tortilla al aire libre en una zona donde no haya luz de sol directa, rociarlas con agua esporádicamente. Colocar las muestras de frijol o maíz en algún recipiente transparente, dejándolo destapado por un día, luego cerrarlo y dejarlo en un lugar con poca luz y húmedo. Los hongos macroscópicos pueden recolectarse un día antes.

Analice con ellos:

Color y textura de cada tipo de moho que se ha formado. Pregúnteles: *¿Por qué cambia de color el alimento? ¿Habría algún cambio químico en la muestra? ¿Cuál es la función de los mohos?* Al igual que con los hongos macroscópicos, observen las estructuras, en la hoja en blanco sacúdalo para ver si hay esporas. *¿Cuál es la importancia de los hongos? ¿Qué usos conocen los alumnos?*

ANIMALES

Muchos animales se reproducen sexualmente y por lo general la etapa diploide domina su ciclo de vida. *Espermatozoos* (espermatozoide animal) y óvulos se producen por meiosis, a diferencia de lo que ocurre en plantas y hongos (Fig. 16).



Figura 16. Embrión humano de 7 semanas de gestación.

Después que el espermatozoo flagelado fertiliza al óvulo más grande y sésil, se forma un cigoto diploide que se somete a muchas divisiones mitóticas sin crecimiento celular, esta segmentación es rápida y los nutrientes almacenados en el huevo nutren a las células en división (Fig. 17).



Figura 17. Óvulo fecundado, nótese que empieza la diferenciación del huevo.

Conforme continúa la segmentación, se forma una cavidad llena de líquido llamada *blastocela*, en el centro del embrión. Al terminar la segmentación existe una gran cavidad rodeada por una o más capas de células, esta esfera es conocida como *blástula*, creando un embrión multicelular a partir de un cigoto unicelular (Fig. 18)

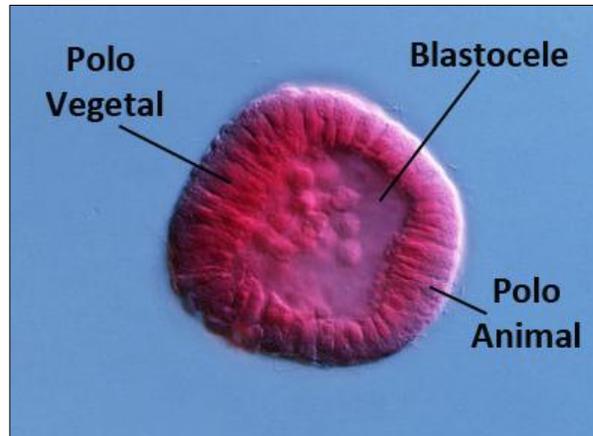


Figura 18. Micrografía de una blástula de un cordado; empieza la diferenciación de los polos.

En la blástula el embrión está dividido por un *polo animal* y un *polo vegetal*. El polo animal se le llama así por tener una mayor actividad de las células dividiéndose comparado con las células del polo vegetal que su ritmo de división es muy bajo y por lo general estas forman la yema del embrión.



Figura 19. Micrografía de una blástula de anfibio en división, las 4 células de arriba son del polo animal, abajo el polo vegetal.

La división celular de los polos puede ser *holoblástica* (toda la blástula se divide) que se da en deuterostomados (Lección 3) como mamíferos y moluscos, que son organismos con poca o moderada capa de yema. La división *meroblástica* (división incompleta de la blástula, generalmente solo una mitad) se da en peces, aves, reptiles, monotremas, además de ciertos artrópodos, cuya blástula posee una rica capa de yema (Fig. 20).

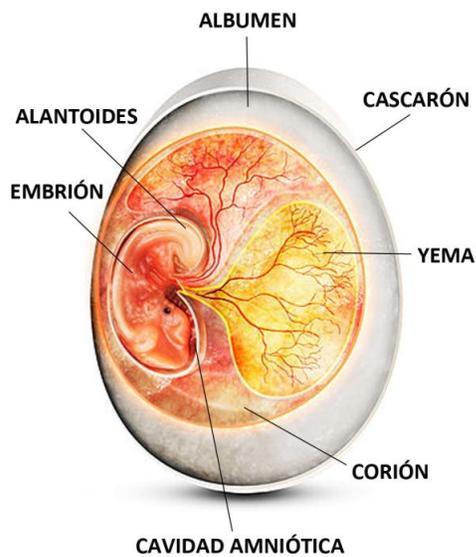


Figura 20. Embrión de ave, con sus capas extra embrionarias y su gran yema que lo nutre.

Luego viene la etapa de la *gástrula* donde uno de los extremos del embrión se pliega hacia el interior del blastocele llenándolo finalmente, este plegamiento produce las capas de tejidos embrionarios: *ectodermo* (capa externa), *mesodermo* (capa intermedia) y *endodermo* (capa interna) (Fig. 21).

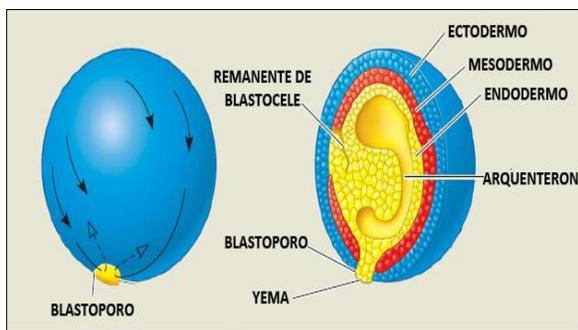


Figura 21. Esquema y vista interior del plegamiento del polo vegetal (capa amarilla) que será la yema y las tres capas del embrión.

Aunque los animales varían ampliamente en su morfología, los genes que controlan el desarrollo son similares en una gran gama de taxones. Todos los animales tienen genes que regulan la expresión de otros cientos. Muchos de estos reguladores contienen secuencias de ADN llamadas *homeobox*; la gran mayoría de animales contienen una familia única de estas secuencias de ADN conocida como *genes Hox* que juegan un papel importante en el desarrollo del embrión animal, controlando los genes que influyen en la morfología (Fig. 22).

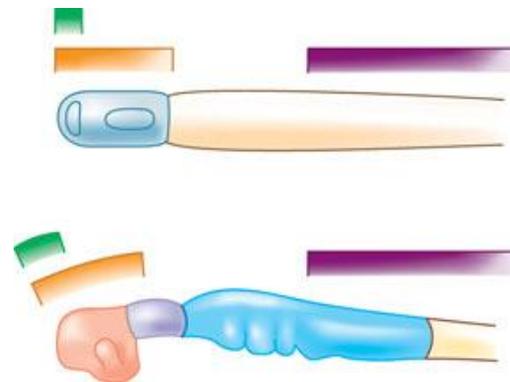


Figura 22. Dibujo sobre el arreglo morfológico dominado por genes (cada barra de color representa un tipo de gen) formando las zonas del cerebro en un embrión de cordado.

El ectodermo forma la capa externa del embrión (piel); el endodermo forma un tracto digestivo embrionario y el mesodermo llena en parte el espacio entre el ectodermo y endodermo. Finalmente estas tres capas se desarrollan en todas las partes del animal adulto (Tabla 1).

Tabla 1. Las tres capas embrionarias y los órganos que formarán en el desarrollo del embrión.

ECTODERMO (capa externa del embrión)

- Epidermis, la piel, incluyendo las glándulas sudoríparas y los folículos capilares.
- Sistema nervioso
- Glándula pituitaria
- Mandíbulas, dentaduras

MESODERMO (capa intermedia del embrión)

- Sistemas muscular y esquelético
- Sistemas circulatorio y linfático
- Sistemas excretor y reproductor
- Dermis de la piel

ENDODERMO (capa interna del embrión)

- Epitelio del tracto digestivo, páncreas e hígado
- Epitelio del tracto respiratorio, reproductor y excretor.
- Timo, Tiroides y glándulas paratiroides.

La gastrulación establece la etapa que da forma al animal, las células en cada capa comienzan a diferenciarse en tejidos y órganos embrionarios. En los animales cordados, el mesodermo forma el *notocordio* una estructura que se transformará en el cordón nervioso central, el cual a su vez formará el cerebro y la médula espinal (Fig. 23).

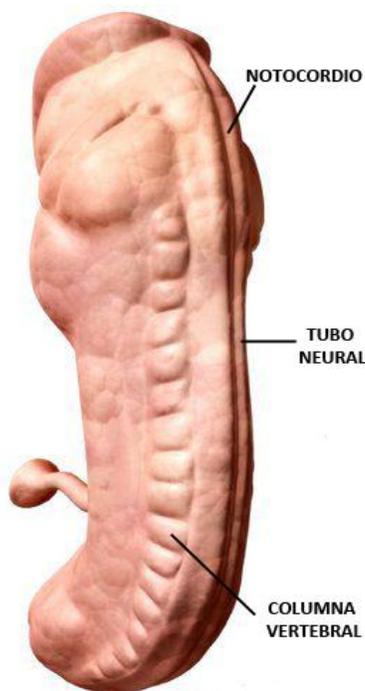


Figura 23. Embrión de vertebrado con el notocordio formado y el tubo neural, los segmentos que originarán la columna vertebral.

Las células realizan un proceso llamado inducción en el cual las capas adyacentes a otras influyen la diferenciación entre ellas mediante señales químicas. La formación por patrón, la emergencia de partes de una estructura en sus posiciones relativas correctas en el espacio tridimensional, involucra la respuesta de genes a sustancias químicas en el embrión, tales como el *factor de crecimiento óseo* (una familia de proteínas que controlan las áreas donde se

formarán los huesos), el *factor de crecimiento de fibroblasto* (proteínas que promueven el crecimiento especializado en las yemas del embrión) son ejemplos de muchos más grupos proteicos de señalización química involucrados en el desarrollo del embrión (Fig. 24).



Figura 24. Embriones de distintas especies en distintas etapas de desarrollo. Cada etapa embrionaria es regida por procesos bioquímicos influenciados por moléculas señalizadoras que dan la forma característica propia para cada especie

DESARROLLO HUMANO

Todo inicia igual que los demás animales cordados e incluso artrópodos, con la fusión de los gametos de dos progenitores. En el caso humano, los ovarios y testículos transportan los gametos, además de las estructuras copuladoras: la vagina y el pene.

La *espermatogénesis* produce células llamadas espermatozoides primarios diploides en los testículos que experimentan meiosis para formar cuatro espermatozoides haploides. Los Ovarios contienen toda la provisión de ovocitos que va a tener toda su vida, al momento del nacimiento.

Cada mes uno madura para formar un ovocito secundario que si es fecundado, completa la meiosis y se convierte en óvulo haploide (Fig. 25).



Figura 25. Micrografía electrónica de un tubo seminífero cortado transversalmente. Las células espermáticas se forman en las paredes del tubo. Al centro se observan los flagelos de espermatozoides haploides recién formados.

La fecundación reúne a los núcleos del espermatozoide y óvulo por la ruptura de la membrana del óvulo mediante el *acrosoma* (pequeño depósito situado en el extremo de la cabeza del espermatozoide que contiene *enzimas hidrolíticas*, sobre todo *hialuronidasa*) activando el huevo o cigoto, iniciando el desarrollo embrionario. Cambios en la membrana del óvulo previenen la entrada de otros espermatozoos (Fig. 26).

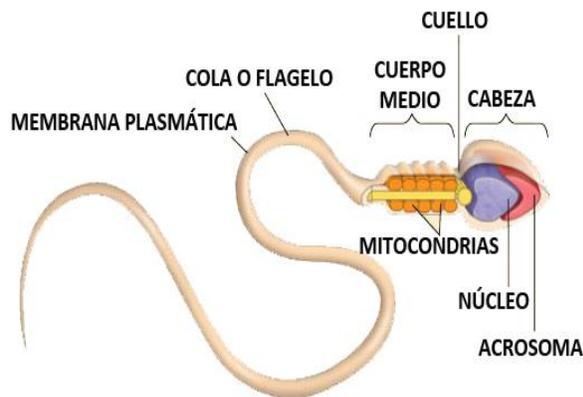
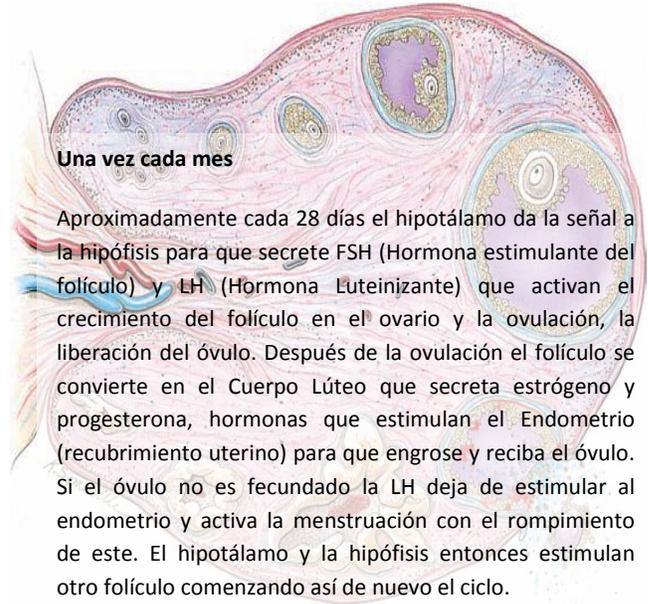


Figura 26. Esquema de un espermatozoide con sus partes anatómicas principales, incluyendo el Acrosoma.



El huevo se transforma en *blastocisto* cuyas capas internas forman el embrión. Este se adhiere a la pared uterina con una capa celular externa llamada *trofoblasto* (Fig. 26).

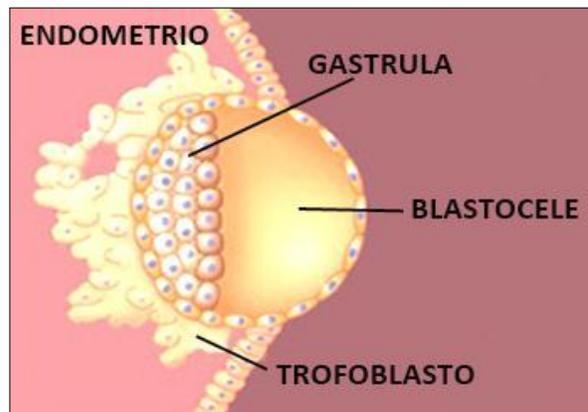


Figura 27. El Trofoblasto ayuda a la blástula a adherirse al tejido del endometrio en el útero.

El embrión humano, al igual que el de aves, reptiles y otros mamíferos, se desarrolla dentro de un saco lleno de líquido contenido dentro de una concha, o en el caso de humanos, el útero. En estos organismos, a parte de los tejidos embrionarios, se forman cuatro membranas extraembrionarias: *el amnios, corion, saco vitelino y alantoides* (Fig. 28)

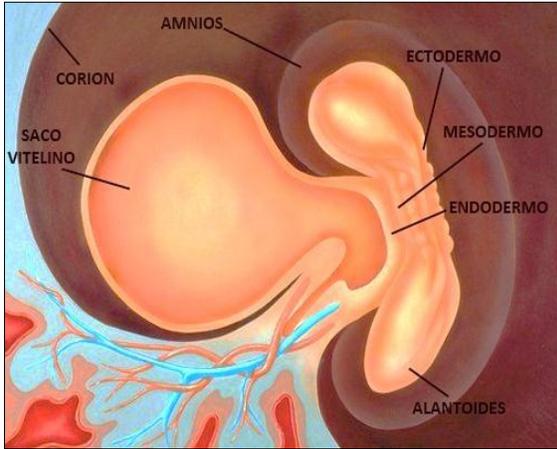


Figura 28. Esquema de embrión de tres semanas con las capas extraembrionarias ya formadas.

El embrión flota en la cavidad amniótica llena de líquido; el corion y mesodermo forman la parte embrionaria de la placenta; las vellosidades coriónicas de la placenta absorben alimento y oxígeno de la sangre de la madre. El saco vitelino funciona como sistema circulatorio embrionario antes que empiece la circulación interna (en peces, reptiles, aves y mamíferos primitivos provee alimento y oxígeno). La alantoides forma parte del cordón umbilical, así como de la vejiga urinaria.



Figura 29. Embrión de nueve semanas, con sus órganos formados, dentro de la placenta.

El desarrollo humano está dividido en tres trimestres, los mayores cambios ocurren durante el primer trimestre. En la novena semana todos los órganos están formados y el embrión es conocido como feto. Los siguientes trimestres son de crecimiento y preparación para el nacimiento (Fig. 29).

La *oxitocina* junto con las *prostaglandinas* se encarga de iniciar la labor de parto por contracciones musculares y la dilatación del cérvix. En mamíferos y el humano, la *oxitocina* y la *prolactina* estimulan además, la producción de la leche (Fig. 30).



Figura 30. El trabajo de parto de esta mujer es por las contracciones provocadas con la segregación de *oxitocina* desde la glándula pituitaria.

Los humanos comparten mucho de su desarrollo embrionario con los mamíferos, aves, reptiles y peces, lo que denota una similitud evolutiva compartida a partir de un ancestro común; de hecho, las fases embrionarias de todos estos organismos muestra los lazos genéticos que aun existen entre ellos en etapa embrionaria o larvaria, ya que utilizan los mismos tipos de genes para marcar su gastrulación y segmentación, así como en la intervención de similares señalizadores químicos para marcar los procesos de las capas celulares.

CÉLULAS MADRE

Las *células madre* son aquellas con capacidad de auto renovarse por medio de divisiones mitóticas y con capacidad de diferenciarse en otro tipo de células (especialización). Existen dos tipos: *células madre embrionarias*, que provienen del blastocisto del embrión y las *células madre adultas*, que están no diferenciadas en tejidos y órganos adultos con la capacidad de dar origen al tejido en el que se encuentran.

Por su *pluripotencia*, pueden ser usadas para convertirse en prácticamente todos los tipos de células del cuerpo humano. Su uso médico es sobre todo para regenerar tejido dañado. Se le induce a especializarse mediante procesos bioquímicos variados, que pueden ser desde la *criopreservación* con nitrógeno líquido, hasta insertar un retrovirus en una célula adulta para reprogramarla a célula madre (Fig. 31).

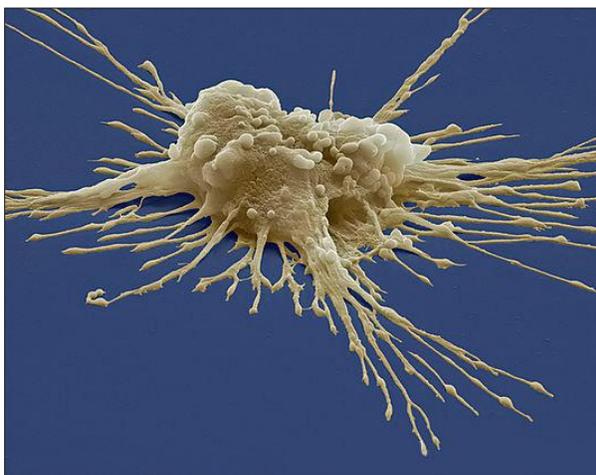


Figura 31. Micrografía electrónica de una célula madre pluripotente, extraída de un blastocito, que puede ser inducida a formar cualquier tipo de tejido.

El gran avance para la medicina desde su descubrimiento en 1981 ha sido muy importante para el desarrollo de técnicas de implantación de células madre en órganos que por enfermedad crónica o hereditaria son debilitados en sus funciones fisiológicas o anatómicas, regenerando tejidos que están atrofiados o que están muriendo; en casos como diabetes,

enfermedades coronarias y hepáticas han sido implantadas con resultados buenos. Sin embargo, los métodos más recientes aun son investigados y ensayados ya que los efectos colaterales suelen ser desastrosos, terminando en tumores, reactivación de genes cancerígenos y el alto costo económico que conlleva estos procesos (Fig. 32).

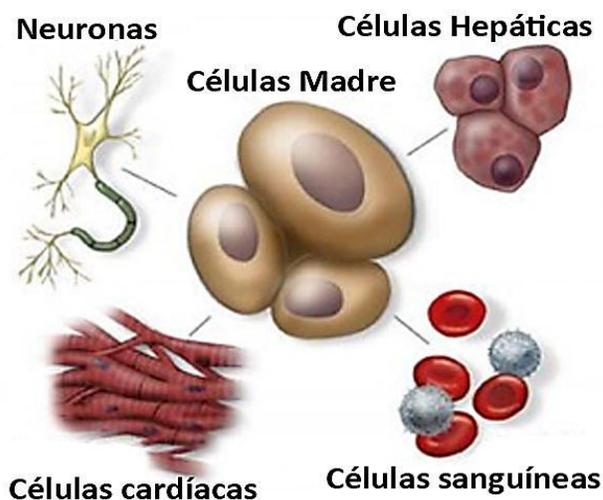


Figura 32. Modelo conceptual sobre las distintas especializaciones que se puede lograr con el cultivo de células madre y su uso médico.

Existen ya muchos tratamientos que involucran células madre embrionarias, así como de células madre adultas, en los cuales se han inyectado directamente sobre el órgano enfermo del paciente. Estos tratamientos ofrecen una perspectiva futura de una mayor esperanza de vida en la población, sobre todo las personas que padecen enfermedades cardíacas ya que hasta la fecha se han obtenido resultados satisfactorios en reemplazar células cardíacas muertas después de un infarto por células madre que han regenerado el tejido del miocardio (Fig. 33).

Es importante contar con el conocimiento de los avances médicos, ya que en países como El Salvador, poco se sabe acerca de métodos modernos que pueden salvar más vidas. A parte de eso, la importancia científica del tema como instrumento de desarrollo. Aquellos países que han perfeccionado esta tecnología podrían

mostrar solidaridad con las demás naciones, compartiendo su conocimiento y tecnología.

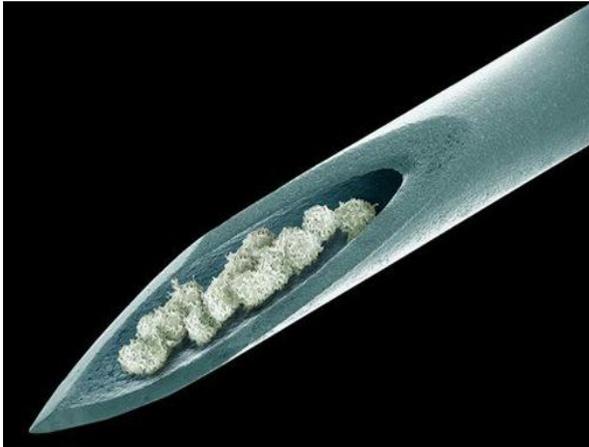


Figura 33. Micrografía electrónica de una aguja hipodérmica con células madre en su interior, listas para ser injertadas al tejido dañado.

Desafortunadamente en El Salvador no se cuenta aun con la tecnología necesaria para desarrollar cultivos a gran escala, esto en parte debido a que los avances médicos se encuentran a menudo en manos de farmacéuticas transnacionales, cuyo fin principal es el económico y relegan a segundo plano el compromiso con la sociedad.

RESUMEN



GLOSARIO

Acrosoma: Pequeño depósito situado en el extremo de la cabeza del espermatozoide que contiene enzimas hidrolíticas, sobre todo Hialuronidasa, activando el huevo o cigoto.

Anterozoide: Célula reproductora móvil de las plantas no vasculares y vasculares inferiores (Lección 3).

Blástula: cavidad rodeada por una o más capas de células embrionarias en forma esférica, que se produce cuando termina la segmentación del huevo fecundado.

Células Madre: Son células con capacidad de auto renovarse por medio de divisiones mitóticas con capacidad de diferenciarse en otro tipo de células (especialización). Hay dos tipos, las células madre embrionarias y las células madre adultas.

Embriofitas: Plantas que desarrollan a partir de un embrión que se formó mediante la fecundación del óvulo.

Embrión: formado a partir del cigoto o huevo, al principio es un grupo de células no diferenciadas que sufrirá diversos cambios para formar gradualmente un nuevo organismo dependiente de la madre.

Espermatozoo: Espermatozoide de los animales.

Esporas: Células reproductoras haploides que se convierten en gametofitos multicelulares haploides por mitosis.

Esporofilo: es una hoja modificada que lleva esporangios, por lo general en la parte inferior de su lámina, se les llama frondas.

Esporofito: Se producen por meiosis esporas haploides, células reproductivas que pueden convertirse en un organismo haploide nuevo sin necesidad de fusionarse con otra célula.

Gametofito: Llamado así por la producción de gametos haploides -espermatozoides y huevos- por mitosis, que se fusionan durante la fertilización formando cigotos diploides.

Gástrula: Sucede cuando los extremos del embrión se pliega hacia el interior del Blástula llenándolo

finalmente, este plegamiento produce las capas de tejidos embrionarios: *Ectodermo* (capa externa), *Mesodermo* (capa intermedia) y *Endodermo* (capa interna). Formará el intestino.

Heterospora: Plantas que producen dos tipos de esporangios que forman dos tipos de esporas: *Megaspora* que se transforma en gametofito femenino y *Microspora* que se convierte en gametofito masculino.

Hifas: Filamentos pequeños y numerosos que producen esporas haploides por mitosis. Su papel es importante en la reproducción sexual y asexual en el reino fungi.

Homospora: Son plantas que tienen un tipo de esporangio que produce esporas que desarrollan un gametofito bisexual.

Micelio: Conjunto de hifas que constituyen el cuerpo vegetativo de los hongos.

Miocardio: Tejido muscular cardíaco (Lección 6).

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Ireland Kathy (2004). *Visualizando la Biología Humana*. Estados Unidos: Sociedad National Geographic.

Mier, T.; C. Toriello y M. Ulloa (2002). *Hongos microscópicos, saprobios y parásitos: Métodos de laboratorio*. México: Instituto de Biología, UNAM.

Presentación sobre el desarrollo embrionario. (2011) Recuperado en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/HFDFO>

Sadler, T. y J. Langman. (2007) *Embriología médica: Con orientación clínica*. 10ª Edición. Buenos Aires: Editorial médica panamericana. Extraído en Noviembre de 2011, de <http://goo.gl/qSwh6>

Smith, V.; E. Ferrés; M. Montesinos. (2001). *Manual de Embriología y Anatomía general*. Valencia, España: Tipografía artística Puertes, Universidad de Valencia. Recuperado en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/P0aVr>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Pídale a sus alumnos traer la mayor cantidad de fotografías, dibujos, o esquemas sobre el desarrollo de un embrión de ave, reptil, mamífero y pez. En clase pueden reunirse en grupos de 4 ó 5 miembros, que ordenen las etapas en que están los que lograron llevar, a que especie pertenece y que haga una comparación con todos los embriones que tengan disponibles, que hagan una lista de similitudes y diferencias entre uno y otro embrión y que identifique las capas embrionarias y extraembrionarias. Luego que socialicen con los demás grupos lo que han investigado.

2. Explique en qué momento se forma la Blástula y en qué consiste esa etapa.

3. investigar sobre los hongos que son comestibles, los que son medicinales y los usados en la industria. De sus nombres científicos y explique brevemente cual es el papel que desempeña cada hongo en cada área ya mencionada.

4. ¿A qué tipo de célula dan origen la megaspora y la microspora? Explique su respuesta.

CONTENIDOS

1. Ecología como ciencia
2. Niveles de organización
3. Componentes abióticos
4. Componentes bióticos

INDICADORES DE LOGRO

1. Analiza la ecología como ciencia, así como su campo de estudio.
2. Examina los niveles de organización ecológicos.
3. Integra las relaciones que hay entre organismos productores y consumidores con sus niveles tróficos.

PALABRAS CLAVE:

Ecología, componentes abióticos, componentes bióticos, niveles de organización, organismo, biosfera, niveles tróficos, productores, consumidores primarios, consumidores secundarios, consumidores terciarios, omnívoros, Descomponedores, Detrívoros.

**¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?**

La ecología implica el conocimiento del entorno en que vivimos y cada elemento que compone al ambiente, incluidos los seres humanos, que influyen directa o indirectamente en todas las especies. Brinda las herramientas para comprender los ecosistemas y de cómo éstos, pueden y deben utilizarse adecuadamente, al ser la base de desarrollo para las sociedades humanas.

DESCRIPCIÓN

Se fundamenta lo básico de la ecología como ciencia, sus elementos principales, además de cómo clasifica a los seres vivos; se describen los principales componentes abióticos y bióticos. Posteriormente se analiza la relación de los organismos en los distintos niveles tróficos.

El término *ecología* proviene de las raíces griegas “oikos” casa y “logos” estudio o tratado; es la *ciencia biológica que estudia las interrelaciones de los seres vivos (factores bióticos), entre sí, y con su entorno (factores abióticos);* siendo estos sistemas naturales o sociales como el suelo, el aire, el agua, los poblados, etc.; así como la energía que proviene principalmente del Sol. En efecto, es el estudio de las conexiones en la naturaleza (Fig. 1).



Figura 1. Paisaje en Perquín, Morazán. Organismos vivos y su medio no vivo son el objeto de estudio de la Ecología.

En sus inicios, la ecología era una ciencia basada en el interés humano de la observación de otros organismos. Actualmente, se ha convertido en una ciencia rigurosamente experimental, que requiere una gran amplitud de conocimientos para generar hipótesis, manipular las variables ambientales y observar los resultados.

Tres factores para la vida

El primero de los factores es *el flujo unidireccional de energía* proveniente del sol, utilizada por los seres vivos en sus interacciones de alimentación, quienes la insertan en un ambiente donde hay baja calidad de energía, ya que esta se disipa como calor hacia el aire o el agua a baja temperatura y eventualmente se devuelve al espacio exterior (Lección 13).

No hay flujo de ida y vuelta debido a que la energía de alta calidad del sol no puede ser

reciclada. A este flujo de energía lo rigen la 1ª y 2ª ley de la termodinámica (Fig. 2).

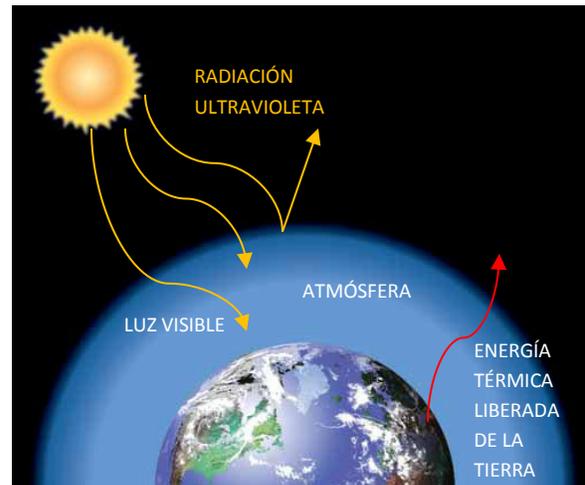


Figura 2. Esquema de la energía irradiada por el sol y como la Tierra libera el remanente en forma de calor a través de la atmósfera.

El segundo factor son *los ciclos de la materia y nutrientes* (los átomos, iones y todos los compuestos necesarios para la supervivencia de los organismos). Ya que la atmósfera es una barrera que impide el ingreso masivo de materia proveniente del espacio, es esencial la optimización del suministro de nutrientes, siendo reciclados continuamente para sustentar la vida (Fig. 3).



Figura 3. Una larva de libélula devorando un pez (A), ésta es luego devorada por un ave (B). Un ejemplo de la circulación de materia y nutrientes.

Por ello los nutrientes circulan en los ecosistemas (que contienen componentes vivos y no vivos), estos ciclos pueden completarse en un par de segundos o tomar siglos para lograrlo. La ley de Conservación de la Energía rige estos ciclos de nutrientes.

El tercer factor es la *gravedad de la Tierra* que le permite al planeta mantener su atmósfera y contribuye a que los ciclos de los compuestos químicos puedan ocurrir a través del aire, agua, suelo y en los organismos.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN

Para mejorar la comprensión del campo de estudio de la ecología, los científicos clasifican la materia en niveles de organización jerárquica que van desde los átomos hasta la biosfera; la ecología se concentra en los últimos cinco niveles que son organismo, población, comunidad, ecosistema y biosfera (Fig. 4).

Un *organismo*, es un individuo, considerado ser vivo, que presenta actividad fisiológica, conducta y evolución característica de su especie.

La *población* es el grupo de organismos de una misma especie que viven en un área determinada (se estudiará a detalle en la lección 11).

Una *comunidad* la constituye un grupo de poblaciones de distintas especies de organismos que viven en un área específica y que interactúan entre ellas (se analiza en la lección 12).

Los *ecosistemas* son comunidades de especies diferentes que interactúan entre sí y también con su ambiente no vivo: el suelo, aire, agua, así como la energía circulante que proviene del sol. Los ecosistemas pueden variar en tamaño; un charco de agua o un océano son ecosistemas. Además pueden ser naturales o artificiales; como ejemplo de estos últimos son los cafetales, las represas hidroeléctricas, los parques con plantaciones de árboles, etc. No poseen fronteras claras ya que no están aislados unos de otros,

sino que el flujo de materia y energía está circulando de un ecosistema a otro.

La *biosfera* es el ecosistema global, la suma de todos los ecosistemas del planeta en el cual todos los organismos existentes interactúan unos con otros.

COMPONENTES ABIÓTICOS

Hay dos tipos de elementos que componen la biosfera y sus ecosistemas: uno de esos son los componentes *abióticos* que son materia no viva, condiciones o energía presente en el planeta, como el agua, oxígeno, edificaciones, salinidad, luz solar y los suelos; tales elementos delimitan el crecimiento y distribución de las especies (Fig. 5).



Figura 5. Elementos como ríos, la atmósfera, la luz solar, la formación de suelos por medio de erupción volcánica; son muestras de componentes abióticos.

Temperatura

La temperatura ambiental es un factor determinante en la distribución de los organismos a causa del efecto que esta tiene en los procesos biológicos.

Las células sufren lisis (rompimiento de la membrana celular) si el agua que contienen dentro se congela (en un rango cercano a 0°C), las proteínas de muchos organismos se desnaturalizan a temperaturas por encima de los 45°C. Muchas de las funciones en animales son óptimas en ciertos rangos específicos de

NIVELES DE ORGANIZACIÓN O JERARQUIZACIÓN ECOLÓGICA

**BIOSFERA**

La ecología global examina cómo los intercambios de materia y energía en grandes regiones del planeta, influyen en el funcionamiento y la distribución de muchas especies a lo largo de toda la biosfera.

Por ejemplo: *¿cómo afecta el crecimiento de las ciudades en la cobertura vegetal que provee al tacuazín de alimentos y hogar, a lo largo de las regiones de América de donde es endémico?*

**ECOSISTEMAS**

La ecología de los ecosistemas hace énfasis en el flujo de energía y los ciclos de los nutrientes y también de los compuestos químicos que se dan entre los organismos y el ambiente donde se desarrollan.

Por ejemplo: *¿qué factores regulan el crecimiento de ciertas especies de árboles que son refugio para el tacuazín en el departamento de La Paz?*

**COMUNIDADES**

La ecología de comunidades examina cómo las interacciones entre especies como depredación o competencia afectan la estructura y organización de la comunidad.

Por ejemplo: *¿qué factores influyen en la distribución de *Didelphis marsupialis* (tacuazín) en el área del cantón San Bartolo en Chalatenango?*

**POBLACIONES**

La ecología de poblaciones estudia los factores que afectan el tamaño de la población, además de analizar por qué cambia con el paso del tiempo.

Por ejemplo: *¿qué factores ambientales afectan la tasa de reproducción del tacuazín?*

**ORGANISMOS**

En el nivel básico de la ecología, se incluye las subdisciplinas de ecología fisiológica, ecología evolutiva, ecología de conducta, llamada también etología, para comprender como la estructura fisiológica, evolutiva y conductual del organismo que le ayudará a enfrentar los retos que presenta el ambiente donde vive.

Por ejemplo: *¿de qué manera de selecciona pareja el tacuazín?*

Figura 4. Jerarquización que hace la ecología para estudiar sistemáticamente los factores bióticos y abióticos de la biosfera.

temperatura ambiental; de tal forma que, al salir de estos rangos, los animales se ven forzados a gastar energía para regular su temperatura interna, por ejemplo, los mamíferos y las aves.

Por otro lado, hay adaptaciones excepcionales como las bacterias termófilas que viven en temperaturas fuera de los rangos soportables para otros animales.

Agua y Oxígeno

La variación de la disponibilidad de agua entre los ecosistemas es otro factor que limita a las poblaciones. Especies que viven a la orilla del mar o en humedales de marea, se pueden desecar cuando esta se retira. En organismos terrestres, hay una constante amenaza de deshidratación, la distribución de estos denota la capacidad que poseen para conseguir y conservar el agua. Por lo tanto el agua de lluvia es una limitante en estos organismos (Fig. 5).



Figura 5. El río Lempa después de una lluvia. Ecosistemas como este poseen gran disponibilidad de agua.

La disponibilidad de oxígeno es determinante en el medio acuático y suelos inundados. Dado que el oxígeno se disuelve en el agua lentamente, su concentración puede ser baja en algunos sistemas acuáticos, limitando la respiración celular y otros procesos fisiológicos de los organismos que viven ahí; esta situación se da en el piso oceánico, fondos de lagos, donde además la materia orgánica sedimentada es abundante, limitando aun más la disponibilidad de oxígeno.

El mangle y otros árboles de especies afines a él han desarrollado raíces especializadas que se proyectan sobre el agua para ayudar al árbol a obtener oxígeno, llamadas neumatóforos (Fig. 6).



Figura 6. Un mangle negro (*Avicennia* sp.) rodeado de muchos neumatóforos saliendo del suelo inundado.

En contraste las aguas superficiales de ríos poco profundos y arroyos están bien oxigenadas gracias al rápido intercambio de gases con el aire a causa del movimiento de su caudal.

Salinidad

La concentración de sal en el agua, afecta el balance hídrico de los organismos a través de la osmosis. Muchos animales y plantas viven en sistemas de aguas dulces o aguas saladas dependiendo de su capacidad de osmorregulación. Aunque también hay organismos terrestres capaces de excretar los excesos de sal en su cuerpo mediante procesos fisiológicos como la orina en animales o la evapotranspiración y *gutación* en plantas.

Luz solar

Es absorbida por los organismos fotosintéticos, proveyendo la energía para poner en movimiento los ecosistemas. Donde hay poca luz solar, se limita la distribución de las especies fotosintéticas. En los bosques y selvas tropicales, hay gran competencia por alcanzar la mayor

cantidad de luz y por ello las copas de muchos árboles crecen a gran altura, esto se observa en reservas naturales como el bosque El Imposible, de Ahuachapán (Fig. 7).

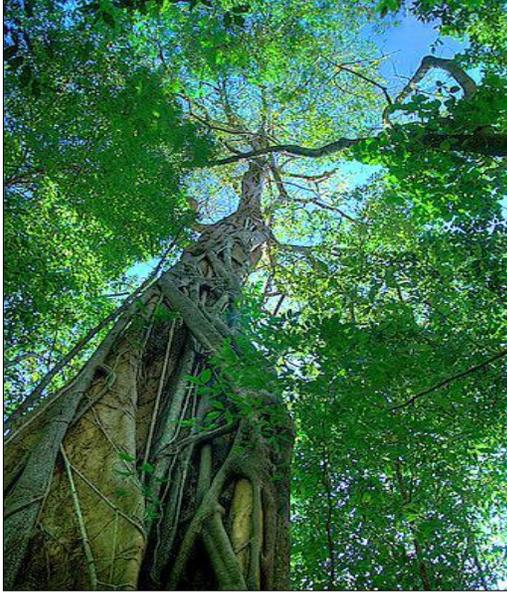


Figura 7. Un árbol de gran altura en el bosque El Imposible, compitiendo por alcanzar la luz del sol.

En ambientes acuáticos, con cada metro de profundidad el agua absorbe un porcentaje de la luz solar, como resultado la mayoría de la actividad fotosintética sucede cerca de la superficie; esto puede observarse en el lago de Ilopango con *Hydrilla verticillata* o “lama”, una planta acuática que crece cerca de la superficie del agua (Fig. 8).

Demasiada luz solar también limita la supervivencia de los organismos. En los desiertos y zonas con mucha incidencia de luz, las temperaturas altas causan estrés a los animales y plantas y los obliga a gastar energía para poder refrescarse. En zonas muy elevadas, existe mayor radiación ultravioleta debido a que la atmósfera es más delgada, esta radiación puede dañar el ADN y proteínas de los organismos.

Las limitantes abióticas evitan que los árboles crezcan hasta ciertas elevaciones; a mayor altura el número de especies disminuye, así como la altura de los árboles.



Figura 8. Habitantes del lago de Ilopango sacando “lama” del agua, debido a su abundancia en la orilla, los motores de sus lanchas se atascan con ella.

Suelos

El pH, la composición mineral, la estructura física y el tamaño de las rocas, limitan la distribución de plantas y, en consecuencia, la de animales que se alimentan de ellas (Fig. 9). El pH afecta directamente la distribución de los organismos cuando hay suelos muy ácidos o muy básicos o indirectamente al afectar la solubilidad de los nutrientes y toxinas.



Figura 9. Suelo expuesto en Comasagua, luego de una saturación de agua debido a las lluvias. Los minerales serán erosionados por el viento y las posteriores lluvias.

Como un ejemplo de lo mencionado (Fig. 10), si se siembra una milpa en suelo rico en nitrógeno, potasio, agua, pero pobre en fósforo; el maíz dejará de crecer al consumir el poco fósforo disponible en el suelo. En casos diferentes, el cultivo puede morir en exceso de agua o fertilizante.

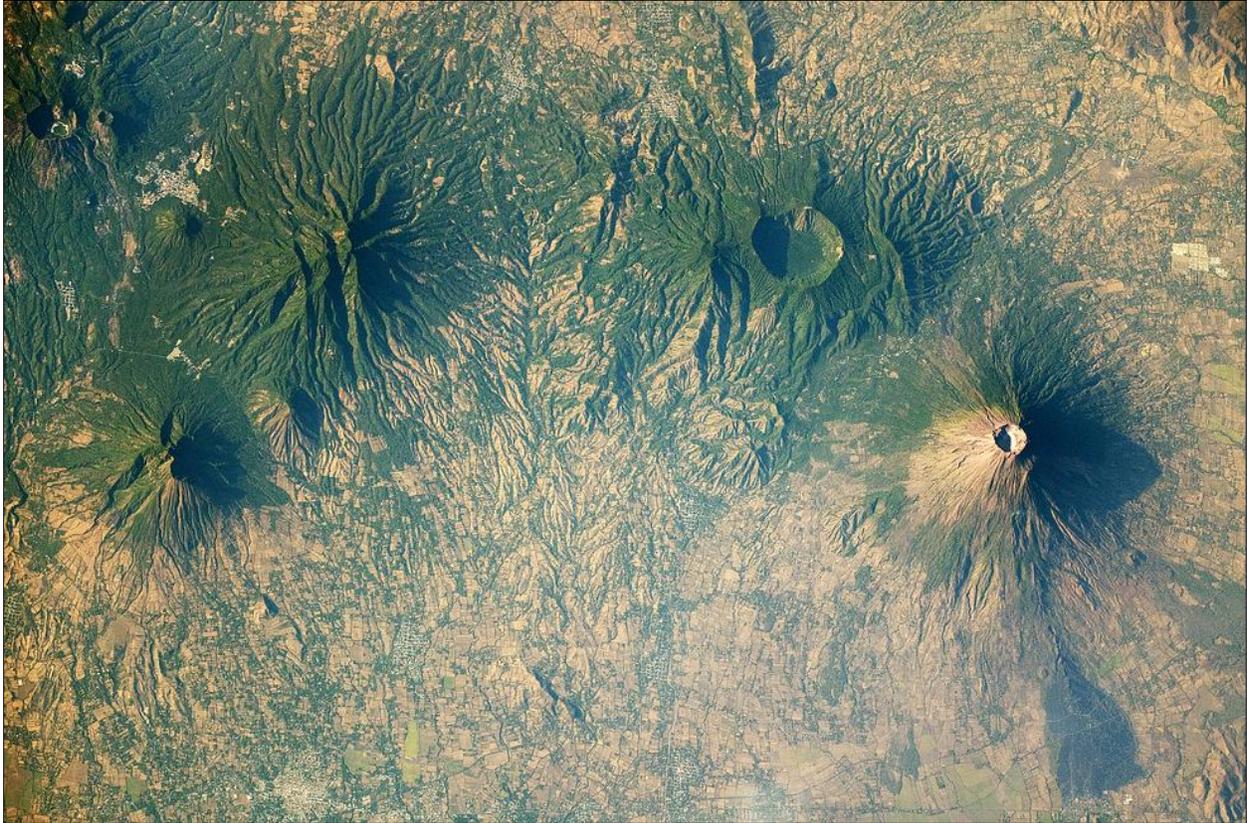


Figura 10. Imagen satelital de la zona de Usulután. Nótese la cobertura vegetal limitada solo a las cercanías de la cadena volcánica; debido al uso indebido de los suelos, esta zona del país está en proceso de desertificación.

En los ríos, la composición y el tamaño de las rocas y sus agregados, crea el cauce y el lecho de estos cuerpos de agua, afectando la química del mismo, que a la postre influye en los organismos que viven en él. Por otra parte, la estructura del sustrato en ambientes de agua dulce y marinos, determina que los organismos puedan adherirse o hacer sus escondrijos en el suelo o rocas (Fig. 11).

COMPONENTES BIÓTICOS

A menudo, interacciones con depredadores (organismos que matan a su presa) o con herbívoros (comedores de plantas o algas), restringen la habilidad de alguna especie para sobrevivir y reproducirse.

En adición a estos, la presencia o ausencia de polinizadores, recursos alimenticios, patógenos (agentes causantes de enfermedades), parásitos, otros organismos que compiten por los recursos;

todos actúan como limitantes bióticos en la distribución de una especie.



Figura 11. Barranca del Sísmico, San Vicente. El río muestra un lecho rocoso y favorable para refugio de los organismos que viven en él.

Los organismos vivos son clasificados en **niveles tróficos**, lo que significa que se organizan de acuerdo con su tipo de alimentación o nutrición en un ecosistema. Todos transfieren energía y nutrientes de un nivel trófico a otro por lo tanto

se agrupan en organismos *Productores* y *Consumidores* (Fig. 12).

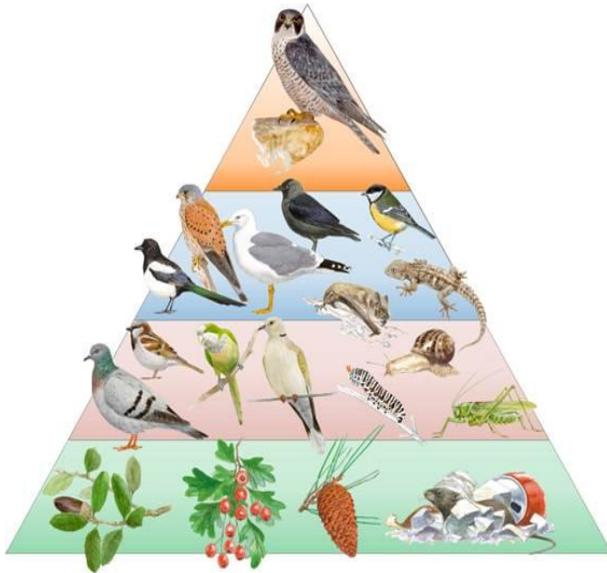


Figura 12. La Pirámide Trófica permite visualizar que organismos están en la base de la cadena alimenticia, así como identificar a los productores y consumidores.

Los organismos productores, llamados también *autótrofos*, obtienen su alimento de su entorno no vivo, tomando compuestos inorgánicos y, a través de la energía lumínica, construyen moléculas orgánicas altamente energéticas como los carbohidratos, tal es el caso de las plantas verdes terrestres que capturan alrededor del 1% de la luz solar que llega al planeta y la usan como el catalizador energético, a través de la fotosíntesis (Lección 4). En los ecosistemas de agua dulce y marinos, las algas y plantas acuáticas son los principales productores cerca de las costas. En los océanos, el fitoplancton (que son microalgas fotosintéticas) flota a la deriva y en las corrientes captando la luz solar (Fig. 13).

Todos los demás organismos son consumidores, también llamados *heterótrofos* que no pueden producir su propio alimento y deben consumir organismos (productores o consumidores) o sus restos, para obtener los nutrientes. Es decir, todos los consumidores (incluyendo al humano) dependen directa o indirectamente de los productores para alimentarse.

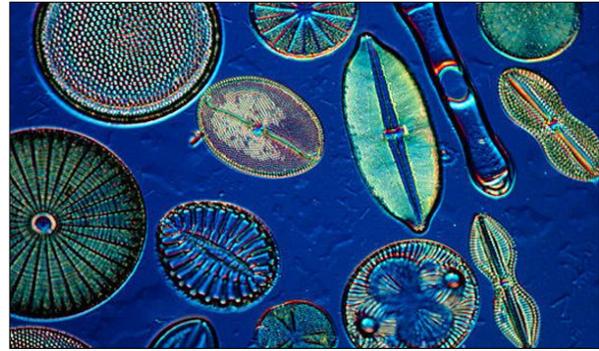


Figura 13. Micrografía óptica de diatomeas, algas microscópicas que forman parte del fitoplancton.



Algunas bacterias especializadas transforman compuestos inorgánicos simples a compuestos orgánicos para alimentarse, sin necesidad de luz solar a través del proceso de *quimiosíntesis*, estos organismos viven en los fondos oceánicos alimentándose del ácido sulfúrico que sale de fumarolas volcánicas submarinas.

Existen varios tipos de consumidores:

Consumidores primarios o herbívoros. Son animales como el conejo, saltamontes, venado, cotuza; el zooplancton que come fitoplancton.

Consumidores secundarios o carnívoros. Animales como las víboras, cocodrilos, gavilán, ranas, arañas, escorpiones, escarabajo tigre, tiburones y otros peces que comen zooplancton. Todos consumen carne de herbívoros.

Consumidores terciarios. Son animales como pumas, delfines, pez espada, águila pescadora, etc. Se alimentan de carne de otros carnívoros.

Los **omnívoros** como la cucaracha, el cerdo, el tacuazín y el ser humano, tienen un rol dual al consumir plantas y animales o derivados de estos.



Figura 14. La cucaracha es un insecto muy versátil y adaptado a todos los ambientes, a pesar que evolutivamente solamente ha sufrido pequeños cambios.

Los **descomponedores** son consumidores de cadáveres de animales y plantas usando enzimas para acelerar la descomposición de los organismos devolviendo al suelo, el agua o el aire los nutrientes liberados para que los usen de nuevo los productores (Fig. 15). Son buenos ejemplos de las bacterias y hongos



Figura 15. Los mohos como el hongo *Penicillium spp.* de color gris en la fotografía, son agentes importantes en el reciclaje de los nutrientes para todos los ecosistemas.

Detritívoros. Son los que se alimentan de residuos o cadáveres de otros organismos, llamados *detritus* o detritos. Algunos ejemplos son: ácaros, lombrices de tierra, cangrejos, camarones, curiles, caracoles, moscas, peces como el bagre y los carroñeros como zopes o buitres (Fig. 16).

En resumen, algunos organismos producen los nutrientes que necesitan, otros obtienen sus nutrientes mediante el consumo de diferentes organismos y los demás, reciclan los nutrientes en los desechos y residuos de organismos, para

que los productores puedan utilizar de nuevo estos y exista un flujo constante.



Figura 16. Los curiles (*Anadara tuberculosa*) son muy apreciados para alimento, sin embargo, se debe tener precaución al momento de consumirlos ya que poseen muchos microbios que pueden afectar la salud del que los come.

Productores, consumidores y descomponedores, utilizan la energía química almacenada en la glucosa y otros compuestos orgánicos para sus procesos vitales. A nivel celular, esta energía se libera por medio de la respiración aeróbica que utiliza oxígeno para producir glucosa (u otro nutriente) de nuevo en dióxido de carbono y agua (Lección 4).

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON...CIENCIAS SOCIALES (Tiempo 2 horas)

ECOSISTEMAS DE NUESTRO ENTORNO

Todos los ecosistemas poseen elementos abióticos y bióticos; con esta actividad se busca una comprensión integral de todos estos elementos y su importancia social.

Materiales: libreta de notas, lapicero, un pliego de papel bond o cartulina, marcadores de varios colores, plumones, lápiz.

Sección ex-aula

Que los estudiantes formen equipos de 4 miembros. Cada grupo elegirá una zona que sea considerada un ecosistema local (puede ser un jardín, una charca de agua, una milpa, cafetal, bajo una piedra, etc.). Esta indicación debe darla dos o tres días de anticipación.

Al elegir cada grupo su ecosistema, indíqueles que deben observarlo y anotar todos aquellos elementos que

consideren que son bióticos como abióticos, a continuación deben elegir un organismo (*animal o vegetal*) de ese ecosistema para desarrollar una jerarquización que inicie desde el nivel de organismo hasta el nivel de biosfera.

Al completar la jerarquización, el equipo debe esquematizarla en papel bond o cartulina explicando la relación que tiene ese organismo que han elegido con los elementos abióticos y bióticos del ecosistema que se ha seleccionado. El esquema debe seguir el mismo orden ascendente del esquema ejemplo de esta lección. Las interrelaciones del organismo pueden ser colocadas en una tabla o lista junto a su esquema de jerarquización.

Sección en el aula

Todos los equipos expondrán a la clase sus resultados. Si es posible pueden llevar algunas muestras de elementos abióticos y bióticos del ecosistema elegido. El tiempo de exposición sugerido es de 15 minutos para cada equipo (aproximadamente).

Luego de que todos hayan expuesto sus informes; diríjase a ellos e inicie un debate. Pregunte si es posible encontrar relaciones entre cada uno de los ecosistemas. Anote en la pizarra las ideas principales de los alumnos. Pregunte además, si los organismos son productores o de algún tipo de consumidores.

Finalice la actividad indagando con preguntas como por ejemplo: *¿Por qué existe relación entre un ecosistema y otro? ¿Qué elementos abióticos y bióticos tienen en común los ecosistemas? ¿Hay alguno de esos ecosistemas que se esté dañando con actividad humana? ¿Tendría alguna consecuencia para la comunidad si alguno de esos ecosistemas llegase a desaparecer o a ser muy dañado? ¿Cuál de todos los organismos que se mostraron, consideran que esta en mayor peligro de desaparecer? ¿Por qué? ¿Qué debemos hacer para conservar todos estos ecosistemas y a sus organismos? ¿Qué medidas proponen para conservarlos?*

En El Salvador se conoce poco sobre la ecología del territorio; dando énfasis a los conceptos mencionados en esta lección, se puede obtener una mejor comprensión sobre qué son los ecosistemas, qué y quiénes los componen, cómo funcionan y cómo están interactuando constantemente unos con otros.

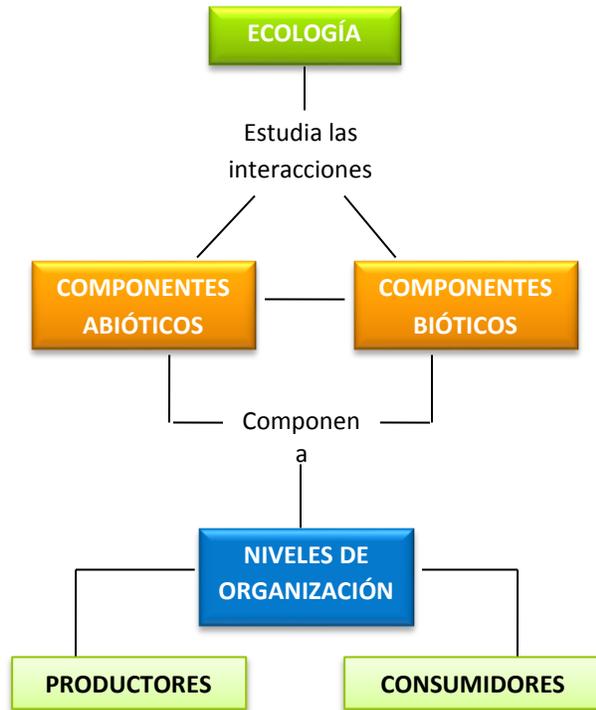
La comprensión de dichos términos ayudará a crear una conciencia enfocada a la conservación del ambiente; poder visualizar que el ser humano también tiene un rol en la ecología, el cual es la protección de las demás especies y el uso responsable y sostenible de los componentes bióticos y abióticos, para mantener el equilibrio complejo que poseen los ecosistemas (Fig. 17).



Figura 17. Las inundaciones en el país son consecuencias del uso inadecuado de elementos abióticos de ciertas zonas y por falta de información sobre lo importante que es su conservación.

En la actualidad, se sufren las consecuencias de la total ignorancia y nula atención a los estudios ecológicos con carácter rigurosamente científico. No se debe confundir estas investigaciones con estudios superficiales y descriptivos de áreas protegidas, o bien, con altercados ambientalistas que son movidos por pasiones, más bien que por un interés real en la conservación de los ecosistemas.

RESUMEN



GLOSARIO

Biosfera: es el ecosistema global, la suma de todos los ecosistemas del planeta en el cual todos los organismos existentes interactúan unos con otros.

Componentes Abióticos: son materia no viva presente en el planeta, como el agua, oxígeno, salinidad, luz solar y los suelos, tales elementos delimitan el crecimiento y distribución de las especies.

Componentes Bióticos: Todos los organismos de un ambiente y sus interacciones entre si y otras especies.

Gutación: Fenómeno por el cual se expele el exceso de agua de los tejidos de la planta, en forma de pequeñas gotas por los hidatodos y estomas acuíferos.

Ecología: es la rama de la biología que estudia las interrelaciones de los organismos (bióticos) con su medio (abiótico) donde se desarrollan, ya sea el suelo, el aire o el agua.

Niveles Tróficos: organización de los organismos de acuerdo con su tipo de alimentación o nutrición en un ecosistema.

Ecosistemas: son comunidades de especies diferentes que interactúan entre sí y también con su ambiente no vivo: el suelo, aire, agua, así como la energía circulante que proviene del sol.

Organismo: es un individuo considerado ser vivo que presenta actividad fisiológica, conducta y evolución característica de su especie.

Organismos Consumidores: no pueden producir su propio alimento y deben consumir organismos (productores o consumidores) o de sus restos, para obtener sus nutrientes.

Organismos Productores: obtienen su alimento de su entorno no vivo, tomando compuestos inorgánicos usando sus moléculas para producir carbohidratos.

Población: es el grupo de organismos de una misma especie que viven en un área determinada.

Si desea enriquecer su conocimiento, consulte:

Actividades interactivas sobre ecología y disciplinas afines. Consultado Enero de 2012. <http://goo.gl/eIYe3>

Ecología. Conceptos básicos y elementos. Extraído en enero de 2012, de <http://goo.gl/Q4qse>

Garmendia, A. y. (2005). *Prácticas de Ecología.* Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Jimenez, L., & Francisco, H. (2003). *Ecología y Economía para un Desarrollo Sostenible.* Valencia, España: La Nau Solidaria.

Teresa, V., Meave, J., & Carabias, J. y.-S. (2005). *Ecología y Medio Ambiente.* Ciudad de México: Pearson Educación.

Principios de Ecología, video. Extraído en enero de 2012, de <http://goo.gl/eIYe3>

Problemas de Ecología y otras actividades. Extraído en enero de 2012, de <http://goo.gl/xlQof>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Explique cómo los siguientes componentes abióticos cambian desde el nacimiento de un río hasta su desembocadura: temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, disponibilidad de nutrientes, sedimentos del lecho.
2. En Barra de Santiago, existe un ecosistema de *manglar*; mencione que tipo de organismos están clasificados como productores y que organismos se consideran consumidores, de ejemplos y establezca una cadena alimenticia con esos ejemplos.
3. ¿Cuáles son los niveles de organización que utiliza la ecología como su campo de estudio?
4. Un árbol fue derribado por vientos fuertes en una tormenta y se secó al quedar expuestas sus raíces. Con el paso del tiempo el tronco seco empezó a podrirse. Mencione que tipo de organismos intervienen en este proceso, según los niveles tróficos; de ejemplos de dichos organismos.
5. Un gavilán atrapa y devora a un conejo pequeño que estaba comiendo hierbas. Esquematice la cadena alimenticia identificando a los organismos productores y consumidores, además, explique qué sucedió con los nutrientes en este caso.
6. Una compañía recibe permisos ambientales para iniciar un proyecto de viviendas, en las laderas o faldas de un cerro; para tal construcción se talaron unas cuatro manzanas de árboles de la zona, quedando desnudo el terreno perimetral de la zona residencial. Indique que problemas tendrá esta colonia en época lluviosa y época seca, identifique los elementos abióticos y bióticos que fueron eliminados, así como los problemas a nivel social que pudieran surgir.

Lección 10.

LOS RECURSOS NATURALES

CONTENIDOS

1. La economía y el ambiente.
2. Los recursos naturales.
3. Clasificación de recursos naturales.
4. Bienes y servicios ambientales.
5. Situación de los recursos naturales.
6. Manejo de los recursos naturales: la gestión ambiental.
7. Legislación ambiental de El Salvador.



INDICADORES DE LOGRO

1. Comprende el significado y los tipos de recursos naturales.
2. Analiza críticamente la relación entre ambiente, sociedad y economía.
3. Identifica bienes y servicios ambientales.
4. Aplica apropiadamente los conceptos de ecología y economía al manejo de recursos naturales.

PALABRAS CLAVE

Recurso, beneficio, bien, servicio, crecimiento, modelo, desarrollo, normativa, tecnológías.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

Los recursos naturales constituyen la base de las sociedades humanas al proveer de los insumos necesarios para satisfacer las necesidades básicas de la población. La mayoría de los recursos se obtienen como bienes y servicios de los ecosistemas, pero estos son poco valorados y se observan únicamente como fuente de riquezas.

Actualmente se vive la mayor crisis ambiental de la historia basada en modelos fallidos de producción, sus consecuencias son ahora inevitables, pero pueden ser enfrentadas con el acoplamiento de la ecología, economía y sociedad, campos íntimamente relacionados en materia ambiental.

DESCRIPCIÓN

Se relacionan los conceptos económicos con el ambiente, se clasifican los diversos recursos naturales y su procedencia como bienes y servicios ecosistémicos para vincularlos con el estado actual de crisis. Se hace una revisión de medidas que permitan desarrollo a través de la conservación de recursos.

LA ECONOMÍA Y EL AMBIENTE

Cuando se habla de recursos naturales, se refiere directamente a la interacción entre el ser humano y la naturaleza, una dimensión netamente social enfocada al uso del ambiente. De hecho, el concepto de recurso proviene claramente de la economía; desde este punto de vista, *un recurso es una fuente o suministro del cual se produce beneficio* (algún tipo de ganancia).

Los recursos, entonces, pueden ser de diversa índole dependiendo del contexto; sin embargo, *se considera como recurso natural a todo aquel elemento presente en el ambiente sin intervención del ser humano, que puede ser aprovechado por este último para satisfacer sus necesidades*.

Normalmente, los recursos naturales son materiales u otros activos (bienes con valor) que se presentan en forma de materias primas (como madera, minerales, petróleo, gas, carbón, entre otros); las cuales, pueden ser transformadas para producir otros bienes muy diversos, de los cuales derivan múltiples beneficios (Fig. 1).

Todos los territorios, llámese países o regiones, sustentan sus actividades en base a, y de acuerdo con, los límites que presentan sus recursos naturales, así como en la capacidad que tengan para transformarlos (mano de obra y tecnología). Durante este proceso de utilización, los recursos pueden ser consumidos o no estar más disponibles.

Para la economía clásica, los recursos naturales representan fuentes de riqueza, pero la dimensión humana implica que esto debe traducirse en bienestar para la población, derivada de una mejora en la calidad de vida: esto es desarrollo. En teoría, debe haber una relación directa entre el suministro de recursos naturales y el desarrollo, donde ambos componentes son igualmente importantes; no

obstante, la sociedad se rige por su modelo económico, y los modelos económicos actuales apenas involucran la dimensión humana en la generación de riqueza, mientras que aíslan a la sociedad de los sistemas naturales, valorando parcialmente los beneficios que esta obtiene del ambiente donde ocurre.



Figura 1. Utilización de los recursos naturales en El Salvador. Vista del cerro Los Naranjos: se explota como producción agrícola, maderera y belleza escénica.

Ante los problemas ambientales causados por el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales, evolucionan nuevas corrientes económicas que buscan involucrar a sociedad y sistemas naturales, otorgando un valor específico a los bienes y servicios obtenidos del ambiente para lograr un punto de equilibrio entre la protección y la calidad de vida de las personas (Fig. 2).



Figura 2. El medio ambiente, de donde derivan los recursos naturales, se percibe en forma aislada de la sociedad, usualmente generando consecuencias dañinas para los ecosistemas.

LOS RECURSOS NATURALES

Por recurso natural se entiende a *todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado en su estado natural por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades*. Esto significa que para que los recursos naturales sean útiles, no es necesario procesarlos (Fig. 3). Al mismo tiempo, los recursos naturales no pueden ser producidos por el ser humano.



Figura 3. El Salvador cuenta con múltiples y abundantes recursos naturales.

Se debe aclarar que los recursos naturales no sólo satisfacen necesidades sino también preferencias. Así, los *bienes y servicios* derivados directa o indirectamente de ellos, se introducen en el mercado de conformidad con su demanda, de tal manera que constituyen la base de la economía de las sociedades humanas. Del uso adecuado de los recursos naturales depende la sostenibilidad de las actividades económicas, ante esto, se debe considerar que todo recurso posee tres características principales:

- **Utilidad:** Es la capacidad que tiene una mercancía o servicio (en este caso derivado del ambiente) para dar satisfacción a una necesidad (humana).
- **Disponibilidad limitada:** Existe un suministro específico de cada recurso para un momento dado y usualmente no es posible extraer todo un recurso natural de una vez.

- **Potencial de agotamiento o consumo:** El uso intensivo de bienes y servicios del ambiente puede llevar a su agotamiento.

CLASIFICACIÓN

Los recursos naturales son de muchos tipos y se pueden clasificar de varias maneras, siendo las más comunes:

Bióticos y abióticos



Los ecosistemas, al estar formados por factores bióticos y abióticos proveen de toda clase de recursos conocidos como *bienes y servicios ambientales*.

Renovables y No Renovables

Esta es la clasificación más extendida de los recursos naturales. Se encuentra basada en la relación entre la tasa de reposición y de extracción o uso, incluyendo tanto a bienes como servicios.

Los recursos renovables. Son aquellos que tienen la capacidad de regenerarse o volver a su estado original después de su utilización. Los ciclos de regeneración deben ser equiparables a los de su extracción, en el sentido de que se repongan a una tasa mayor a la tasa con que los recursos disminuyen mediante su utilización (Fig. 4).



Figura 4. Los bosques son recursos renovables.

Esto significa que ciertos recursos renovables pueden dejar de serlo si su tasa de utilización es tan alta que evite su renovación. El uso excesivo del mismo lo puede convertir en un recurso extinto. Usualmente los recursos renovables hacen referencia a recursos bióticos, como bosques o pesquerías, pero también los hay abióticos como el agua (dulce).



Recursos renovables “inagotables” o no limitados. Son aquellos que no se agotan con el uso o con el paso del tiempo, sin importar su utilización. Algunos ejemplos son: la luz solar, el viento y el oleaje.

Los recursos no renovables son recursos naturales que no pueden ser producidos, cultivados, regenerados o reutilizados, y aquellos

con ciclos de regeneración muy por debajo de los ritmos de extracción o explotación útil. Generalmente constituyen depósitos limitados de origen orgánico o inorgánico, por ejemplo los productos de la minería y los hidrocarburos (Fig. 5).

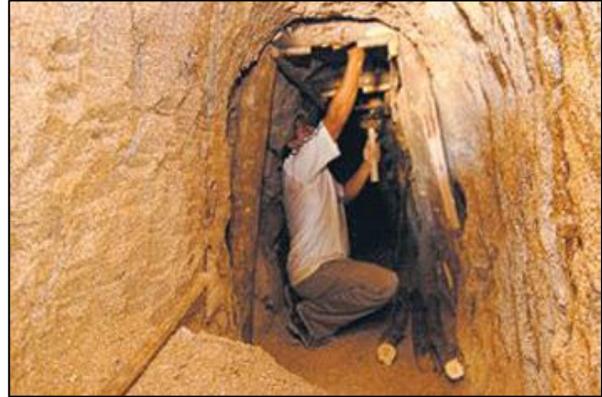


Figura 5. Mina de San Sebastián, en Santa Rosa de Lima, departamento de La Unión.

Potenciales y Reales

Esta clasificación involucra su estado de desarrollo, de la siguiente manera:

Potencial: Los que se encuentran en un territorio y podrían ser utilizados en el futuro, por ejemplo rocas sedimentarias aún no consolidadas.

Real: Recursos que han sido contabilizados determinando su cantidad y calidad, y que se encuentran en uso actual. El aprovechamiento del recurso real depende de la tecnología disponible para utilizarlo y del costo involucrado para su extracción.

De reserva: Es la parte de un recurso real que puede ser aprovechada de forma rentable en un futuro.

De reserva no explotable: Son los que han sido contabilizados pero que no pueden ser utilizados principalmente debido a la falta de tecnología. Por ejemplo el hidrógeno como combustible.

BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES

Los *bienes y servicios ambientales* hacen referencia todos a aquellos recursos naturales obtenidos de la actividad de los ecosistemas (derivados de la biodiversidad), por eso se conocen también como *bienes y servicios ecosistémicos*. Por su procedencia, aun cuando pueden ser inorgánicos, son renovables.

Los recursos obtenidos de los ecosistemas son diversos. Actualmente más del 40% de la producción primaria del planeta se desvía al uso de las sociedades humanas. Los beneficios de estos recursos incluyen a aquellos *extractivos*, tales como peces (Fig. 6), mariscos, animales de caza, madera, combustibles de *biomasa* y muchos productos precursores industriales y farmacéuticos. Estos son claramente *bienes ambientales*, que como todo recurso pueden ser reales o potenciales.



Figura 6. Banco de jureles (*Caranx sp.*) en aguas del arrecife de Los Cóbano, Sonsonate. La pesca es una actividad extractiva de bienes ambientales.

Independientemente de su procedencia, hasta ahora se han clasificado los recursos naturales haciendo énfasis en los bienes obtenidos del ambiente. Esto se debe a que son más fáciles de identificar y por supuesto de cuantificar, de tal manera que los modelos económicos priorizan este tipo de insumos por sobre todos los demás beneficios obtenidos en forma de *servicios ambientales*; los cuales, sirven como sustento tanto para las necesidades humanas como para las diversas actividades económicas en sí mismas.

Aunque la mayoría de los bienes y servicios que se producen en la economía tienen un precio, existe todo un conjunto de bienes y servicios que carecen de mercado y por lo tanto de precio. A estos se les denomina **externalidades**. Las *externalidades* pueden ser también daños o perjuicios que no pueden ser cuantificados y por ello quedan fuera de las normativas.

La mayoría de servicios prestados por los ecosistemas, así como algunos bienes potenciales que ofrecen se incluyen en la categoría de *externalidades*, debido a su carácter *no extractivo*.

Ya que la economía y el derecho son las ciencias dominantes en la sociedad, al carecer de precio, los *servicios ecosistémicos* pasan inadvertidos para la mayoría de personas y, por consiguiente, carecen de protección aun cuando suponen una influencia directa sobre su calidad de vida.

Servicios ambientales o ecosistémicos

Para identificar *servicios ambientales* de la biodiversidad, es necesario definir qué se entiende por *servicio ambiental* y qué se entiende por *función ambiental*. Así, las funciones ambientales se definen como posibles usos de la naturaleza de acuerdo con sus actividades intrínsecas.

Los servicios de los ecosistemas son los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa e indirectamente, de las funciones del mismo.

Para mostrar algunos de los servicios ambientales y sus bienes derivados que se obtienen de los ecosistemas terrestres, se utilizará como ejemplo un área boscosa como las que solían cubrir la mayoría del territorio de El Salvador (Fig. 7). Como se observa, la mayoría de sus servicios carece de valor económico.

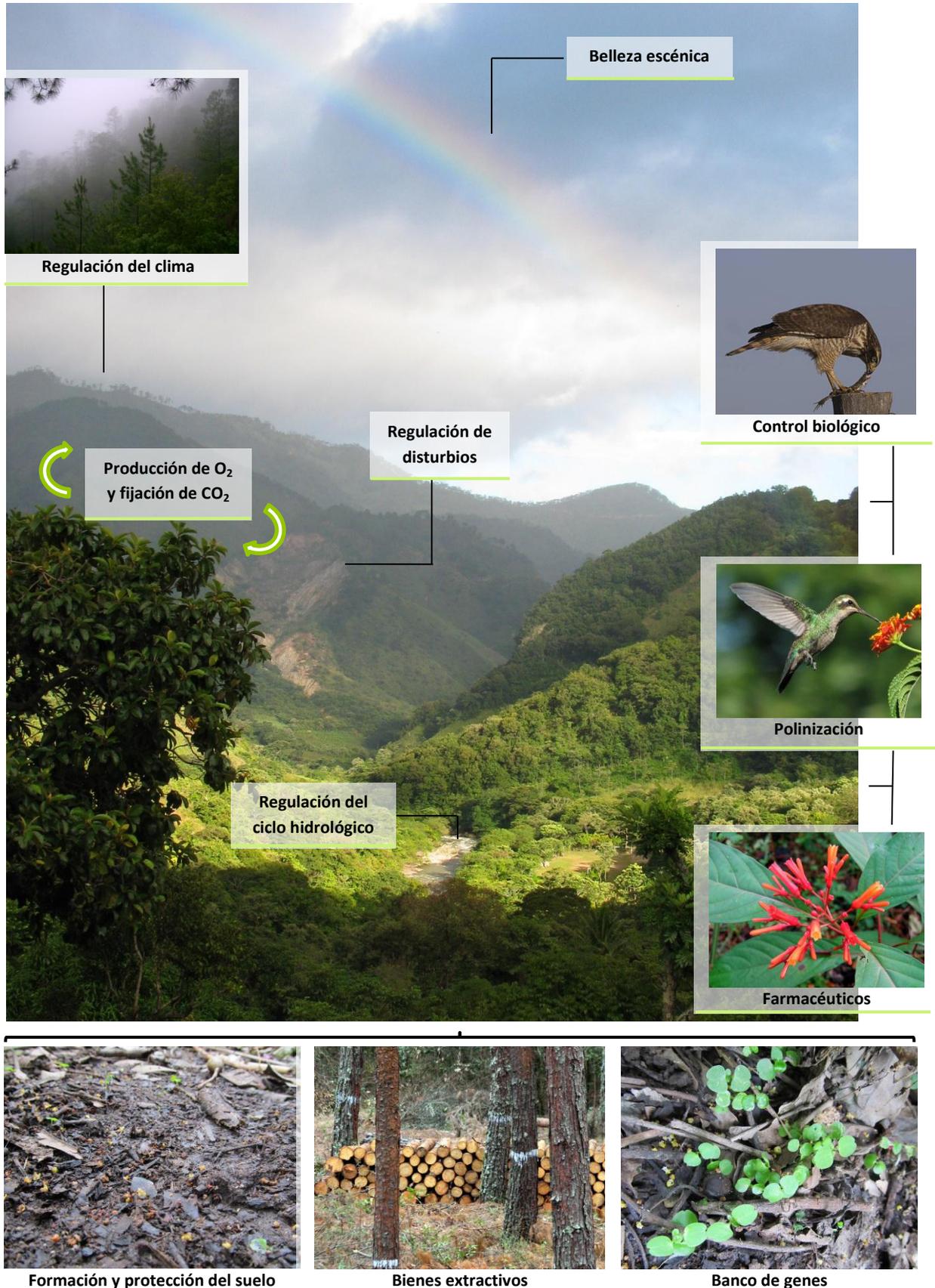


Figura 7. Servicios ambientales más importantes de los ecosistemas terrestres.

Se puede decir entonces que los ecosistemas brindan recursos por el solo hecho de mantenerlos saludables, simplemente que estos no son valorados. Desde el punto de vista económico, los servicios ambientales más importantes se resumen en:

Regulación de gases. Es un servicio ambiental que ofrecen los ecosistemas boscosos cuando fijan elementos contaminantes provenientes de las actividades productivas y a cambio proveen de oxígeno que también se transforma en ozono. Es una forma alternativa de disminuir la contaminación atmosférica que, de lo contrario, habría que hacerlo desarrollando la tecnología.

Producción y conservación de suelos. El suelo es indispensable para la producción de alimentos y la única forma de producir suelo es a través de la actividad biológica. Más del 99% de los productos consumidos por los humanos son producidos mediante el uso del suelo, y sólo el 0.6% proviene del océano y otros ecosistemas acuáticos. En los bosques, este no sólo se produce sino que se protege de la erosión.

Regulación del ciclo hidrológico. La disponibilidad de agua es resultado de la capacidad que tienen los ecosistemas boscosos para captarla. Es benéfico tanto en la utilización productiva como en el consumo natural del recurso.

Además, la disponibilidad de agua en los ecosistemas permite el desarrollo o presencia de otros bienes y servicios útiles para la sociedad. Por otra parte, al regular la escorrentía se previenen inundaciones y mediante la *evotranspiración* se controla el microclima.

Belleza/oferta escénica. Los ecosistemas naturales son recursos cuya belleza escénica es una opción de desarrollo para las comunidades donde se encuentran. Esa belleza escénica es un insumo importante para la actividad turística.

Conservación de biodiversidad/banco de genes.

La biodiversidad no se limita a especies sino que incluye también genes y ecosistemas. La presencia de ésta permite desarrollar investigaciones que pueden generar muchos beneficios potenciales. El ecosistema, al ser un banco de genes, provee bases de información para el cruzamiento y el desarrollo de híbridos útiles para alcanzar mayores rendimientos agropecuarios y el surgimiento de nuevos productos. Con la ingeniería genética, todos los genes útiles pueden patentarse y venderse. Pero la biodiversidad es también un recurso real brindando beneficios como productos medicinales, la polinización de cultivos y el control biológico de plagas.

SITUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Como se ha observado hasta ahora, los recursos naturales proveen el sustento a las sociedades humanas y permiten su desarrollo. Sin embargo, al utilizarlos se produce inevitablemente un efecto de alteración sobre los ecosistemas, llamado *impacto* (Fig. 8).



Figura 8. Construcción de la calle Diego de Holguín. Se observa un impacto transformador total del ecosistema, exterminando sus bienes y servicios.

La intensidad de explotación de un recurso se encuentra en relación directa con los impactos sobre el ecosistema del cual se deriva. Cada ecosistema en particular posee una capacidad natural de adaptarse o recuperarse de tales

impactos; esta es la *capacidad de carga*. No obstante, una alteración profunda (súbita o prolongada) puede fácilmente sobrepasar la capacidad de carga, degradando el ecosistema y por supuesto agotando el recurso.

Asimismo, entre más presionado se encuentre un ecosistema, más difícil es para este realizar sus funciones y, por consiguiente, más difícil será obtener sus bienes y servicios. Ya que estos son esenciales para las necesidades humanas, *la cuestión no es si los ecosistemas deben ser protegidos, sino las maneras de hacerlo, considerando que es necesario utilizar los recursos.*

En la actualidad, cada día se produce en el mundo una cantidad de bienes igual a la producción anual de 1900. Este crecimiento productivo continuo, realizado con técnicas extractivas no apropiadas y de dependencia en recursos no renovables (Fig. 9), ha resultado en una enorme presión sobre todos los ecosistemas mundiales, a tal punto que se ha cruzado el límite para su recuperación.



Figura 9. Planta productora de concreto en Metapán. Un ejemplo de dependencia en recursos no renovables.

Esta tendencia que no parece retroceder, obedece en gran medida a las demandas de una población creciente (7 000 millones de habitantes), pero sobre todo al modelo económico-social que comprende:

- *La abstracción de la naturaleza:* Se piensa que los ecosistemas se encuentran aislados de la sociedad como dos elementos independientes, cuando en realidad, esta depende de ellos no sólo para obtener recursos sino para alojar residuos; asimismo, los ecosistemas también pueden ser construidos con las actividades humanas.
- *Lo que se entiende por necesidad:* Las formas de consumo son muy superiores a las necesarias, esto se debe a que se ha perdido la noción entre necesidad y preferencia. Más grave aún, los recursos se distribuyen en función de las preferencias en lugar de las necesidades. Por ejemplo, la comunicación es una necesidad moderna, pero esta se confunde con la preferencia por un celular.
- *El concepto de crecimiento y desarrollo:* Estos se manejan como sinónimos, cuando en realidad el crecimiento es la simple acumulación de riquezas y el desarrollo una mejor calidad de vida.
- *Los límites de la tecnología:* Estos rigen los procesos de extracción y de reposición de los recursos, ya que pueden volver más eficiente un proceso y reparar daños ambientales. Al momento, la tecnología no avanza a un ritmo suficiente como para anular los impactos de una producción creciente sobre un ambiente con recursos finitos.

La presión por recursos naturales es asimismo una contradicción económica, dado que la superproducción inmediata produce riqueza (crecimiento), pero agota los medios para suplir necesidades futuras, lo que se traduce en un coste mayor. En efecto, uno de los mayores problemas en el mundo es la pérdida de ecosistemas, y con ellos, los bienes y servicios ambientales. El Salvador, por ejemplo, cuenta ahora con menos del 15% de cobertura boscosa y sólo el 1.8% pertenece a los bosques originales que alguna vez cubrieron más del 95% del territorio (Fig. 10); entonces *¿cómo es posible*

que tanta población subsista en el país? Y si esta situación es similar a una escala global ¿por qué existen sociedades crecientes?



Figura 10. Las planicies de Usulután, antes cubiertas de selvas, se han transformado en potreros.

La respuesta es simple: se consumen las reservas del planeta. Los recursos naturales de los que actualmente se dispone se han acumulado durante miles de millones de años, generando los grandes depósitos modernos. Se estima que en estos momentos se consume un 122% de los recursos del planeta. Países como El Salvador sobreviven comprando y prestando un poco de las reservas de los otros. Mientras exista comercio, puede haber crecimiento económico, o sea acumulación de riquezas; sin embargo, este no es una medida real del desarrollo.

El verdadero desarrollo implica sustentar las necesidades humanas sin comprometer los recursos que lo permiten. Esto es una mejora en la calidad de vida, reconociendo la dependencia social de los ecosistemas. Esto se logra con base en tres componentes principales:

- *Investigación y Educación:* Conocer el ambiente para utilizarlo de la mejor manera.
- *Incentivos y desincentivos económicos:* Valoración de los recursos.
- *Legislación o regulación:* Protección de los ecosistemas.

MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES: LA GESTIÓN AMBIENTAL

El manejo de recursos naturales se refiere a las diversas formas de apropiación sociocultural y explotación de los elementos naturales bióticos o abióticos. Es el conjunto de prácticas orientadas a la explotación planeada de algún recurso natural.

En la actualidad, el manejo de recursos naturales se orienta a obtener la mejor rentabilidad a largo plazo, con el precepto de que la *sostenibilidad* del recurso garantiza mayores ganancias que las obtenidas a menor tiempo de producción.

La gestión ambiental es el campo que busca equilibrar la demanda de recursos naturales con la capacidad del ambiente para soportar los procesos de extracción y producción.

Esto no siempre ha sido así, de hecho, la evolución de pensamiento sobre gestión del ambiente ha repercutido grandemente en el estado actual y pasado de los sistemas naturales, especialmente desde la revolución industrial y el subsecuente crecimiento poblacional humano. Las corrientes más importantes de gestión ambiental han sido:

- *Economía de frontera.* La naturaleza existía como un instrumento para beneficiar al ser humano, sin importar cómo se explote o manipule, siempre para mejorar la calidad de vida. Se pensaba que el daño generado era fácilmente reparado por la tecnología existente.
- *Ecología profunda.* Es el opuesto del anterior. El ser humano al servicio de la naturaleza, es más ético que práctico. El humano es igual a todas las especies, plantea la reducción de la población humana. Promueve la inclusión y la economía sin crecimiento. Fin de la dominación de la tecnología.
- *Protección ambiental.* Su enfoque planteaba la institucionalización del ambiente e internalizar

los costos y beneficios de la contaminación. Pretendía corregir el daño, no detenerlo. Los problemas ambientales todavía no son asimilados como límites reales, es unilateral y antropocéntrico con omnipotencia de la tecnología (Fig. 11).

- **Gestión de recursos.** Supone la incorporación de todo tipo de recursos a las cuentas nacionales. Permanece antropocentrismo. Plantea la eficiencia global y el concepto de que el contaminador debe pagar.
- **Ecodesarrollo.** El más adecuado para el futuro. Protección ambiental en sistema abierto. Preocupaciones culturales (como equidad social), propios de la ecología profunda. Se sustituye el principio de pagar por contaminar para invertir en prevención.



Figura 11. Representación de la omnipotencia tecnológica.

Valoración de los servicios ambientales

El pago por los servicios ambientales es parte de las medidas económicas que los gobiernos locales o nacionales están empleando para incentivar el uso adecuado de los recursos naturales. Básicamente se trata de internalizar las externalidades.

Recientemente, la escasez por los recursos naturales y la creciente demanda por servicios ambientales, ha repercutido en la necesidad de establecer indicadores monetarios para este tipo de bienes y servicios, que permita el intercambio

en los mercados respectivos. De este modo es posible comparar sus aportes al bienestar general de la población con respecto a los bienes y servicios que se producen en la economía (Fig. 12).

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... Estudios Sociales

Los PAE y la el manejo de los recursos naturales.

Procedimiento. Exponga la siguiente información a sus estudiantes:

La década de los ochenta fue para Centroamérica de revolución y guerra, pero el istmo también sufrió una de las más severas contracciones económicas. Como respuesta, la comunidad internacional impulsó los llamados Programas de Ajuste Estructural o PAE.

Un PAE es la condición impuesta sobre un país por el Fondo Monetario Internacional (FMI) y/o el Banco Mundial para otorgarle respaldo financiero destinado a afrontar un grave problema de pagos internacionales. Se trata de una receta única y de supuesta validez universal que se aplica con independencia de la situación de cada país.

Los PAE pretenden responder a la incapacidad de pagar deudas externas cambiando las reglas de la economía de un país en cuatro grandes pasos:

- 1. La privatización: el gobierno vende empresas e instituciones públicas a inversionistas privados.*
- 2. Liberalización de los mercados de capital: se reducen los controles sobre la entrada y salida de dinero del país. Para atraer inversionistas al país, se aumentan mucho las tasas de interés.*
- 3. La introducción de precios de mercado. El gobierno no regula los precios de productos incluyendo los alimentos básicos, el agua, y la energía.*
- 4. El libre comercio: Eliminación de las barreras a los productos extranjeros que protegen a productores locales.*

Pida a los estudiantes que, en grupos de cuatro, investiguen, extraigan y analicen las consecuencias que estas medidas económicas tuvieron y mantienen sobre los recursos naturales y el cuidado del ambiente en El Salvador.

Prepare un foro de discusión donde se expongan los resultados de los distintos grupos. Pida que elaboren un documento conjunto y consensuado sobre los hallazgos y conclusiones al respecto.

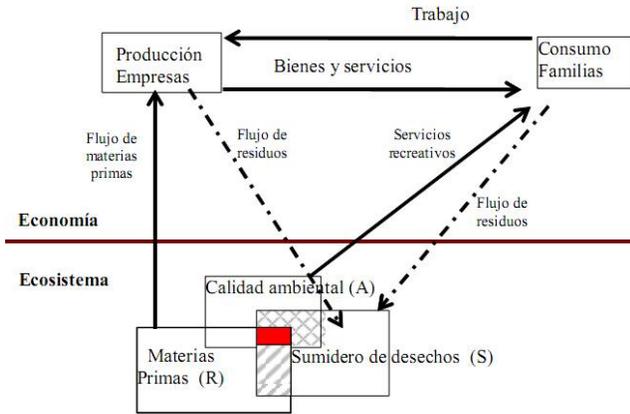


Figura 12. Relación entre economía y ambiente.

Hasta ahora sólo la fijación de carbono y la regulación del ciclo hidrológico han sido servicios con una integración real a la economía convencional debido a que son recursos enteramente reales. Por otro lado, los recursos potenciales como los bancos genéticos y la belleza escénica son los más difíciles de valorar (Fig. 13).

Si bien El Salvador no cuenta con suficientes ecosistemas boscosos, la venta de un servicio ambiental, por ejemplo la belleza escénica, no tiene que ser siempre sobre un ecosistema natural, puede ser un ecosistema modificado o incluso un sector urbano que genere una vista agradable. Esto se puede evidenciar con la plusvalía que adquieren las casas sobre colinas o en playas pintorescas.



Figura 13. Atardecer en el río Lempa. La belleza escénica es innegable y sus beneficios son diversos, pero aún no existe un modelo capaz de establecer una tarifa por observar el paisaje en sí mismo.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: opcional)

PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Procedimiento. Reúna a sus estudiantes en grupos de tres o cuatro personas y presénteles el siguiente párrafo demostrativo, tomado de Barrantes (2011):

“Cuando un empresario tiene que adquirir un terreno para instalar su planta, o contratar trabajadores, paga por ello: son insumos productivos que tienen un valor, y ello viene reflejado en el precio que hay que pagar para adquirirlos. La empresa que utiliza un curso de agua, o el aire, como recipiente de sus residuos no incurre, por el contrario, en ningún coste. La persona que quiere protegerse del frío, puede comprar un abrigo: al hacerlo emite una información sobre el valor que para ella tiene el ir abrigada, o cómoda o elegante. Si esta misma persona quisiera mejorar su nivel de bienestar elevando la calidad del aire que respira, o reduciendo el nivel de ruido que tiene que soportar, no encontraría un mercado explícito en el que pueda adquirir directamente estos bienes y servicios: no hay un mercado en el que pueda comprar la calidad del aire y, por lo tanto, no hay un precio explícito para esa calidad. Un análisis similar puede hacerse para otros beneficios que brinda la naturaleza a la sociedad, tal como la calidad y cantidad de agua, la fijación de gases contaminantes, la disponibilidad de suelos fértiles, el reciclado de nutrientes, las medicinas naturales, los productos alimenticios, entre otros”.

Escoja un área natural cercana a la comunidad (no importa su extensión). Indique a los grupos que, tomando en cuenta la lectura y de acuerdo con lo visto en clase, elaboren un listado de los recursos reales y potenciales que se obtienen o pueden obtener de los servicios ecosistémicos del área.

Pídales también realizar un listado exhaustivo de los usuarios actuales de esos servicios. Estipule un tiempo prudencial para realizar la investigación.

Cuando se cumpla el plazo acordado, ayude a consolidar los servicios ecosistémicos de todos los grupos en un cuadro resumen. Asimismo, reúnan en un listado a todos los actores identificados como usuarios de los servicios.

Con esta información, solicite que investiguen las actividades potencialmente dañinas que ocurren en el área natural. Indique que en una tabla relacionen estas actividades tanto con el servicio afectado como con el actor involucrado de la lista elaborada previamente.

Luego solicite elaborar por grupo una serie de propuestas para la utilización adecuada del recurso, considerando: Medidas de educación o capacitación, posibles normativas de uso del recurso y medidas de incentivo o desincentivos económicos.

LEGISLACIÓN AMBIENTAL DE EL SALVADOR

El Salvador cuenta con un amplio marco legal en materia de ambiente y recursos naturales. Sin embargo, la efectividad de las disposiciones legales ha sido limitada. Las principales razones que explican este fenómeno incluyen la falta de investigación y el diseño de instrumentos jurídicos con costo de aplicación muy elevados. Algunas de estas regulaciones ambientales son:

Ley de Medio Ambiente

Tiene por objeto la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental.

Ley de Conservación de Vida Silvestre

El objeto principal de esta ley es crear los mecanismos legales apropiados para proteger, restaurar, manejar, aprovechar y conservar la vida silvestre en El Salvador, regulando actividades como la cacería, recolección y comercialización de este recurso.

Ley General de las Actividades Pesqueras

Esta ley tiene como objeto fomentar y regular la pesca y la acuicultura, para un mejor aprovechamiento de los recursos y productos pesqueros e investigar y proteger los recursos pesqueros del país.

Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

Esta ley tiene por objeto regular el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano y rural del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

Ley Forestal

Tiene por objeto establecer disposiciones que permitan el incremento, manejo y aprovechamiento en forma sostenible de los recursos forestales y el desarrollo de la industria

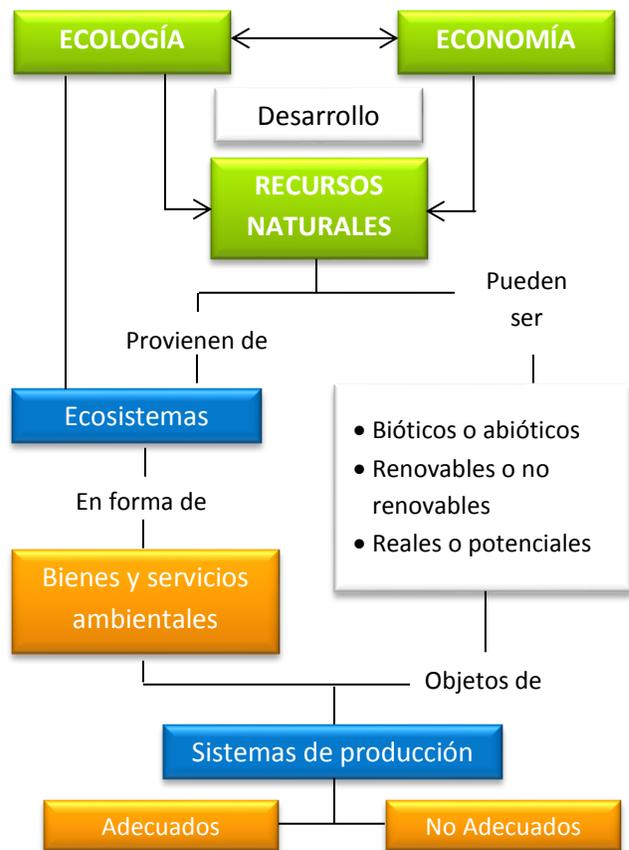
maderera; tratando los recursos forestales como parte del patrimonio natural de la Nación.

Por otro lado existen otras leyes en proceso como la ley de aguas y la ley de ordenamiento y desarrollo territorial que complementarían el marco legal existente para los recursos naturales.

En adición al marco nacional, El Salvador también ha firmado diversos tratados internacionales para la protección de los recursos naturales, especialmente para la biodiversidad, como por ejemplo la *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres* (CITES).

Finalmente, es importante mencionar que las leyes definen toda una serie de conceptos relacionados a su aplicación; los cuales, fuera del ámbito académico, reflejan lo que el país entiende sobre los distintos aspectos de la materia en cuestión.

RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Barrantes, G. (2011). *Elementos para el diseño de un plan de acción para la implementación de pagos por servicios ambientales*. Heredia, Costa Rica: Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS).

Bindé, J. (Dir.) (2007). *Firmemos la paz con la tierra. Coloquios del siglo XXI* (UNESCO). Guatemala: Oscar de León Palacios.

Conceptos básicos y manejo de los recursos naturales. (2007). Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/UgT7H>

Economía48. (2009). *La gran enciclopedia de economía: diccionario de economía*. Extraído en noviembre de 2011, de www.economia48.com/

Marcano, J. (s.f.). La educación ambiental. Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/HWS8i>

Rentería-Arrieta, L. (s.f.). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/u2TJc>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT). (s.f.). *Manejo de recursos naturales y planeación ambiental*. Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/KE52f>

Zonaeconomica.com. (s.f.). *Recursos naturales*. Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/AKIWy>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Traslade el literal de la izquierda al paréntesis de la derecha correspondiente a la definición del concepto.

- | | |
|---|------------------------------------|
| a) Todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado en su estado natural por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades. | () Utilidad |
| b) La capacidad que tiene una mercancía o servicio (del ambiente) para dar satisfacción a una necesidad. | () Recurso natural |
| c) Fuente o suministro del cual se produce beneficio. | () Externalidades |
| d) Parte de un recurso real que puede ser aprovechada de forma rentable en un futuro. | () Gestión de recursos |
| e) Conjunto de bienes y servicios que carecen de mercado y por lo tanto de precio | () Impactos ambientales |
| f) Beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa e indirectamente, de las actividades de los ecosistemas. | () Recursos |
| g) Posibles usos de la naturaleza de acuerdo con sus actividades intrínsecas. | () Reserva |
| h) Efectos de alteración sobre los ecosistemas. | () Bienes y servicios ambientales |
| | () Capacidad de carga |
| | () Funciones ambientales |

2. Identifique cuáles de los siguientes recursos son de tipo natural:

Aire, vehículos, viento, animales domésticos, atmósfera, plantas, animales, fuego, computadoras, suelo, agua, océanos, casas, lagos, ríos, electricidad.

Naturales	No naturales

3. Clasifique los siguientes elementos en recursos bióticos, abióticos, renovables y no renovables (pueden repetirse):

Madera, Agua dulce, Radiación solar, Hierro, Petróleo, Oro, Carbón mineral, Gas natural.

Biótico	Abiótico	Renovable	No renovable

4. Lea detenidamente la siguiente información:

El arrecife de Los Cóbano es un ecosistema acuático tropical formado alrededor de las estructuras sólidas que generan los corales. Provee refugio y alimento de una gran cantidad de especies marinas, por esta razón muchos peces y crustáceos de interés pesquero se reproducen cerca de la zona. La estructura sólida que funciona como rompeolas, permite asimismo el desarrollo de especies sésiles que filtran las partículas disueltas en el agua, entre ellas, moluscos como ostras y almejas cuyas conchas forman arenas doradas muy apreciadas por los turistas. Todo esto es posible gracias a una abundante producción primaria realizada por algas macroscópicas y microscópicas como las que alimentan a peces útiles para carnada.

Liste al menos 5 servicios ambientales del ecosistema y 5 bienes derivados de éste.

Lección 11.

ECOLOGÍA DE POBLACIONES

CONTENIDOS

1. Estudiando poblaciones.
2. Ecología de poblaciones.
3. Definición de la población.
4. El comportamiento poblacional
 - a. Características individuales y estructura poblacional.
 - b. La selección natural.
 - c. Adaptación y genética de poblaciones.
 - d. Tablas de vida.
5. Patrones de crecimiento y distribución.
 - a. Crecimiento poblacional.
 - b. Potencial biótico y resistencia ambiental.
 - c. Crecimiento exponencial.
 - d. Distribución poblacional.



INDICADORES DE LOGRO

1. Relaciona los conceptos de especie y población.
2. Vincula el mecanismo de selección natural con los procesos ecológicos y genéticos.
3. Utiliza variables poblacionales en la resolución de problemas.
4. Analiza los factores que influyen en el crecimiento y distribución poblacional.

PALABRAS CLAVE

Población, recurso, selección natural, evolución, fenotipo, alelo, abundancia, frecuencia, densidad, proporción, probabilidad, crecimiento.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La ecología de poblaciones es el vínculo entre los principios fundamentales de la biología, desde sus bases moleculares, hasta los niveles superiores de interacción ecológica. Su estudio permite entender no sólo el funcionamiento de los sistemas naturales, sino también el de las poblaciones humanas a través de modelos descriptivos, analíticos y predictivos. Como consecuencia, brinda herramientas para la toma de decisiones en aspectos diversos como economía, salud, conservación, demografía, agricultura, entre otros.

DESCRIPCIÓN

Se introducen los conceptos poblacionales haciendo una retroalimentación con distintas áreas de la biología. Se definen las variables de estudio en una población, utilizando ejemplos cotidianos. Se abordan aspectos clave sobre el comportamiento, estructura y distribución poblacional, enfatizando en las bases teórico-prácticas, sin abuso de estadísticos y modelaje matemático.

ESTUDIANDO POBLACIONES

En biología, una definición sencilla de *población* es un conjunto de individuos pertenecientes a una misma especie que habitan en un espacio determinado. Como se observó en taxonomía y sistemática (Lección 3), puede considerarse a la especie como una categoría lógica integrada por sistemas vivientes que comparten atributos comunes, entre ellos, sus requerimientos de desarrollo y reproducción como alimento, clima, conducta, etc., que inevitablemente los condicionan a interactuar entre sí y a distribuirse en forma similar. Este es el campo de la ecología, y específicamente, de la **autoecología**: estudio de las adaptaciones de las especies individuales a su ambiente y de las interacciones que mantienen con él.

Fuera del ámbito estrictamente conceptual, en los ecosistemas, las poblaciones constituyen las “unidades funcionales” de las especies, ya que un elevado número de individuos con la respectiva variabilidad genética que esto representa, provee una amplia gama de *fenotipos* necesarios para soportar distintas variaciones (o alteraciones) ambientales y así permitir la supervivencia de la especie. Los rasgos funcionales se consideran *adaptaciones al ambiente* (Fig. 1), y pueden ser distintos entre poblaciones de una misma especie. Resulta claro entonces que el estudio de las especies es en realidad el estudio de sus poblaciones; por ello, se acuñó antes el término **bioespecie**: un grupo de poblaciones naturales cuyos individuos se cruzan entre sí de manera real o potencial y que están reproductivamente aislados de otros grupos. La manera en cómo se comportan tales poblaciones es el objeto de estudio de la **ecología de poblaciones**.

Debido a su carácter práctico y a las relaciones que adquiere con campos de estudio diversos como la genética, evolución y biología de la conservación, los elementos de la *ecología de poblaciones* constituyen una de las formas más

generalizadas de investigación biológica y de mayor incidencia. Es una poderosa herramienta en la gestión de los recursos bióticos, en la evaluación de las consecuencias ambientales de acciones humanas y también en campos de la investigación médica relacionados con las infecciones y la dinámica de las poblaciones celulares.



Figura 1. Los mangles (*Rhizophora* sp.) poseen raíces especializadas para colonizar sustratos inestables. Sus poblaciones forman bosques salados que ofrecen diferentes servicios como formación de suelo y protección natural. El uso adecuado de estos recursos se logra únicamente a través de su estudio grupal.

ECOLOGÍA DE POBLACIONES

Es el estudio de la estructura, tamaño y dinámica de las poblaciones de una misma especie, y de cómo estas variables son condicionadas por las interacciones existentes entre los individuos que las conforman y el ambiente.

El tamaño poblacional se refiere a la cantidad de individuos que conforman el grupo. La estructura es la proporción de organismos de distintos sexos en sus diferentes edades o estadios; mientras que la dinámica, se refiere a cómo se comportan tales variables a través del tiempo.

Dado que estas características se representan usualmente con modelos matemáticos, la ecología de poblaciones ha sido también llamada *biología matemática* y se encuentra relacionada a la *bioestadística*. En un enfoque simplista, es sinónimo de *demografía*, pero esta no contempla

las relaciones evolutivas esenciales de un estudio biológico y centra su atención en humanos.

DEFINIENDO UNA POBLACIÓN

Antes de estudiar poblaciones, conviene definir las dimensiones y significados ecológicos que estas adquieren a distintas escalas espaciales. Los términos más importantes son:

- **Población de la especie:** Son todos los individuos pertenecientes a la misma categoría de especie.
- **Población:** Es un grupo de individuos de la misma especie que se encuentran separados demográfica, genética o espacialmente de otros grupos de individuos. En ocasiones se denomina *población* a todos los individuos de la especie; en tal caso, esta categoría se conoce como *subpoblación*.
- **Metapoblación:** Es un conjunto de poblaciones discontinuas (de la misma especie), a través de las cuales puede ocurrir migración.
- **Población local:** Es un conjunto de individuos delimitados arbitrariamente en un área de estudio más pequeña que el rango geográfico de distribución de la especie. Pueden estar inmersos en una población mayor o bien constituir una población aislada.
- **Agregación:** Es un grupo de individuos aglomerados.
- **Deme:** Es un conjunto de individuos más similares genéticamente entre sí que entre otro conjunto de individuos de su misma especie. Lo que se debe usualmente a reproducción activa entre sus miembros fruto del aislamiento.
- **Subpoblación:** Definida población como un grupo separado de organismos, la subpoblación es un subconjunto arbitrario de individuos, delimitado espacialmente dentro de una población.

Para contextualizar los conceptos anteriores se hará una analogía con una especie habitual de El Salvador: la ardilla gris (*Sciurus variegatoides*). La

población de la especie está constituida por todas las ardillas grises que habitan desde México hasta Colombia (Fig. 2). Tan amplio rango geográfico brinda un paisaje diverso, conteniendo cordilleras elevadas, diferentes bosques, cuerpos de agua, ciudades, etc., que restringen el paso libre de ardillas grises. Como consecuencia, la mayoría de ardillas se asientan en sitios con condiciones apropiadas para su desarrollo y forman grupos aislados entre sí, estos son las *poblaciones*. Considerando que ciertas ardillas se aventuran sobre los obstáculos para conseguir nuevos territorios, más alimento o una pareja; eventualmente habrá intercambio de individuos entre poblaciones vía migración, estas poblaciones serán entonces una *metapoblación*.



Figura 2. Mapa de distribución estimada de la ardilla gris *Sciurus variegatoides* (área amarilla-naranja), población de la especie endémica de Centroamérica.

Algunas ardillas pueden llegar a separarse totalmente de la *metapoblación*; por ejemplo, si se construye una represa, el agua comenzará a llenar las tierras bajas y las ardillas tendrán que refugiarse en el punto más alto, donde puede formarse una isla que les brinde condiciones apropiadas de sobrevivencia. Ahora las ardillas solo pueden reproducirse entre sí mismas, reduciendo las posibilidades de recombinación genética. Con el tiempo, sus genes se irán uniformizando hasta formar un *deme*.

Desde un punto de vista antropocéntrico, puede que se obtenga un beneficio estudiando las ardillas o que haya cierto interés en su conservación, en tal caso, es posible retomar grupos incluidos dentro de las fronteras políticas; por ejemplo, las ardillas grises de El Salvador. Esta división arbitraria no obedece a una distribución natural sino más bien a fines prácticos o de conveniencia, y ya que el espacio es más pequeño que el rango de distribución de la especie, puede considerarse una *población local*, pero al mismo tiempo es una *subpoblación* del total de ardillas.

Como se ha evidenciado, la escala de trabajo altera los conceptos poblacionales; así se observa

que dentro de las ardillas de El Salvador, existen varios subgrupos aislados, por ejemplo las ardillas del volcán de San Salvador, las del cerro de San Jacinto y las del parque Cuscatlán se encuentran separadas por el área metropolitana de San Salvador (Fig. 3). Todas constituyen poblaciones locales donde puede existir migración, por lo tanto, teóricamente son una *metapoblación*. En el caso de las ardillas del parque Cuscatlán, estas bien podrían quedar atrapadas por la ciudad y con el tiempo formar un *deme*; así también, si el propósito es estudiar la conducta en esta población local, puede utilizarse para ello a sus *agregaciones*, que en este caso serían las familias de ardillas.

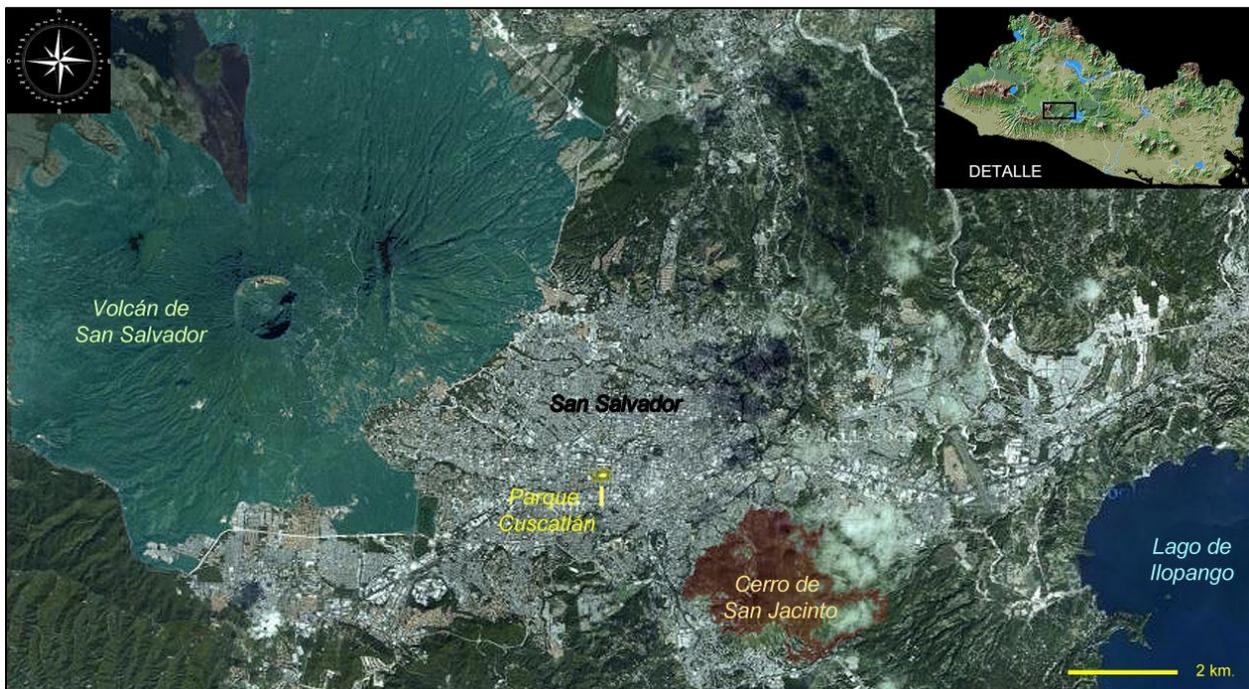


Figura 3. Ejemplo de una metapoblación de ardillas grises en el área metropolitana de San Salvador. La zona en verde-azul representa el área donde se distribuyen las ardillas del volcán de San Salvador, las zonas en marrón y amarillo representan a las ardillas que habitan en el cerro de San Jacinto y el parque Cuscatlán, respectivamente.

EL COMPORTAMIENTO POBLACIONAL

Como se mencionó antes, el estudio ecológico de las poblaciones es en realidad el comportamiento de las especies, de cómo estas varían en cuanto a distribución y abundancia en función de sus características, que les permiten adecuarse a condiciones específicas del medio.

La principal dificultad en la ecología poblacional es derivar las características poblacionales a partir de las características individuales, y derivar los procesos poblacionales desde los procesos de organismos individuales. Esta proyección se realiza siguiendo el siguiente axioma: “*en una población, los organismos son ecológicamente equivalentes*”. La equivalencia ecológica significa:

- *Los individuos atraviesan el mismo ciclo vital.*
- *Los organismos en un estadio particular de su ciclo vital se ven envueltos en el mismo conjunto de procesos ecológicos.*
- *Las tasas de los procesos (o las probabilidades de eventos ecológicos) son básicamente las mismas si los individuos se encuentran en el mismo ambiente (no obstante que exista cierta variación individual).*

Las características individuales y la estructura poblacional

Es de hacer notar que ciertas especies poseen un número elevado de individuos, por ejemplo, los zancudos forman grandes poblaciones. Otras especies muestran poblaciones con pocos representantes, como los gatos sontos o los micoleones. De igual manera, las poblaciones varían en el tiempo; por ejemplo, el número de zompopos de mayo y chicharras es distinto año tras año.

Si se quiere conocer el motivo de estas variaciones será necesario consultar la biología de cada especie, observando que cada una tiene distintos requerimientos como espacio, alimento, luz, parejas, refugio, agua, etc., los cuales, constituyen determinantes en la supervivencia y reproducción de los individuos, lo que se traduce en la estructura poblacional de su especie.

En otras palabras, *la cantidad de individuos a distintas edades y durante períodos específicos de tiempo, está directamente relacionada a la capacidad que estos tengan para suplir sus requerimientos en un ambiente específico.* Esto es un principio de la *selección natural*.

El papel de la Selección Natural

La íntima conexión entre los cambios numéricos que sufren las poblaciones de seres vivos y sus ulteriores cambios evolutivos fue expresada y fundamentada en un primer momento por *Charles Darwin* a través de lo que él llamó *la selección natural*.

Para entender el concepto de la *selección natural* y de cómo opera en las poblaciones, se puede retomar el ejemplo de las ardillas grises. Básicamente, el primer parámetro por analizar en una población es la *abundancia*, o sea el número de sus integrantes (en este caso la cantidad de ardillas). La *abundancia poblacional* es siempre determinada por cuatro causas:

- *Natalidad (nacimientos).*
- *Mortandad (muertes).*
- *Emigración (quienes se van).*
- *Inmigración (quienes llegan).*

La *migración* (emigración + inmigración) es relativa al área delimitada de la población y el número de individuos existentes en dicha área constituye la *densidad poblacional*.

Si específicamente se estudian las ardillas de un parque en medio de la ciudad, por ejemplo las del Parque Cuscatlán (Fig. 4), es posible suponer que se encuentran aisladas de otros grupos de ardillas debido a lo ancho y transitado de las calles y avenidas circundantes, así que la probabilidad de *migración* es casi nula. En tal caso, el número de individuos o *abundancia* varía únicamente por la razón entre nacimientos y muertes.

Si la cantidad de ardillas en el parque en un momento dado es de 100 individuos, este dato corresponde a su *abundancia absoluta*; no obstante, las poblaciones se delimitan en un espacio (área del parque), así que su cantidad se expresa en *densidad*. Si las 100 ardillas están en 116 000 m² habrá 0.000 862 ardillas/m² o, lo que es igual, 862 ardillas/km².

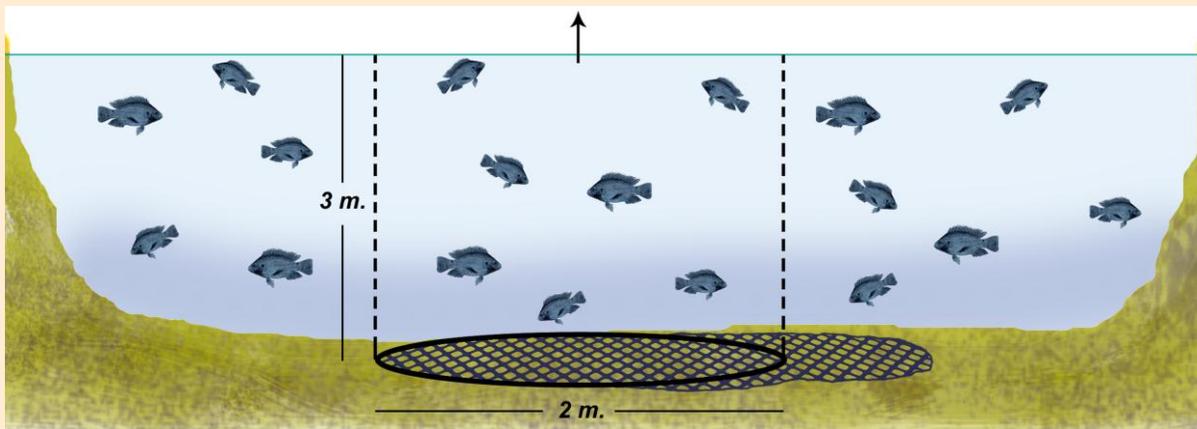
Así como la abundancia representa con cantidades un momento estático, los datos numéricos de natalidad y mortalidad se analizan mediante herramientas demográficas y, en particular, con *tablas de vida* (que se analizarán más adelante).

ACTIVIDAD INTEGRADORA CON... MATEMÁTICA

Cálculo de densidades. Establecer la densidad poblacional es el primer paso en el estudio de poblaciones. Esta variable brinda información multipropósito, pero su cálculo puede resultar complejo ya que requiere de una delimitación precisa del área poblacional, diseño de métodos de muestreo y el uso de estadísticos, entre otros cálculos. En esta actividad se presenta una muestra de su utilidad.

Procedimiento: Plantee a la clase el siguiente problema que puede ser resuelto de manera individual o grupal.

Problema. Un acuicultor desea saber cuántas tilapias (*Oreochromis niloticus*) puede cosechar de un estanque de tierra, donde se tiene una tasa de reproducción *per cápita* mayor a 1; para ello, idea un método de muestreo donde sumerge una red circular de 2 m de diámetro a una profundidad estándar de 3 m (profundidad del estanque), y luego de un tiempo, la eleva verticalmente extrayendo los peces de talla comercial (Figura inferior).



Los resultados de los lances de muestreo se tabularon así:

Nº de redada	Lance 1	Lance 2	Lance 3	Lance 4	Lance 5
Peces capturados	14	13	17	15	16

1. ¿Cuál es la densidad promedio de peces de talla comercial en el estanque?
2. Si se sabe que el estanque tiene 50 m³ de agua, ¿cuál es la cantidad aproximada de peces de talla comercial en el estanque?
3. Suponiendo que los alevines (peces jóvenes) reponen el 30% de los adultos actuales en 1 mes, y esto fuera constante los otros meses, ¿cuántos peces de talla comercial podrá cosechar en 4 meses?

Solución sugerida

Se propone resolver el problema en los siguientes pasos:

Primero. Ordenar la información del problema. Por un lado, se pide encontrar el valor de la densidad de peces en el estanque y una abundancia estimada de éstos, y por otro, la extracción viable cada 4 meses. Para ello se proporcionan datos:

- Tasa de reproducción > 1.
- Las dimensiones de la red = 2 m de diámetro.
- La distancia del lance (profundidad) = 3 m.
- Número de lances y peces capturados.
- Volumen total del estanque = 50 m³.
- Reposición de adultos = 30% mensual.

Segundo. Calcular la densidad promedio. Recuerde que la densidad es un valor de individuos por unidad de área; en este caso, el medio acuático es tridimensional así que los peces se mueven en 3 planos, por lo que es necesario calcular un volumen. Para ello, note que la red filtra una cantidad vertical de agua formando un cilindro y solo pueden atraparse peces que pasen a través de la apertura. Es válido entonces relacionar la cantidad de peces por lance y el volumen de agua muestreado en cada uno.

El volumen de un cilindro viene dado por la fórmula:

$$V = \pi r^2 \cdot h$$

Donde V = volumen, r = radio, y h = altura.

El valor del radio es 2 m/2 = 1 m. y la altura = 3 m.

Ahora se sustituye en la ecuación:

$$V = \pi (1 \text{ m.})^2 (3\text{m}) = \pi \text{ m}^2 (3\text{m}) = 9.42 \text{ m}^3$$

Ya que cada lance siempre filtró 9.42 m³, basta promediar los peces capturados para obtener la densidad:

$$(14+13+17+15+16)/5 = 15 \text{ peces}$$

La densidad promedio es de **15 peces cada 9.42 m³**. Para obtener un número estándar, puede calcular el valor en 1 m³, así: (15 peces/ 9.42 m³) = **1.6 peces/m³**.

Tercero. Calcular los peces de todo el estanque. Para esto, puede extrapolar la densidad promedio al volumen del estanque. Entonces si hay 1.6 peces cada m³, en 50 m³ habrá **1.6*50 = 80 peces aproximadamente**.

Cuarto. Calcular cuántos peces se pueden cosechar a los 4 meses. Como el crecimiento poblacional es constante y los alevines producen el 30% de adultos en talla comercial en 1 mes, significa que cada mes habrá:

$$\text{Mes 1} = 80 + 80 \cdot 30/100 = 80 + 24 = 104 \text{ peces.}$$

$$\text{Mes 2} = 104 + 104 \cdot 30/100 = 104 + 31.2 = 135 \text{ peces.}$$

$$\text{Mes 3} = 135 + 135 \cdot 30/100 = 135 + 40.5 = 176 \text{ peces.}$$

$$\text{Mes 4} = 176 + 176 \cdot 30/100 = 176 + 52.8 = 229 \text{ peces.}$$



Figura 4. Vista aérea del parque Cuscatlán. Obsérvese cómo calles y avenidas lo delimitan y aíslan de otras zonas arboladas. Para estudiar a las ardillas es esencial calcular su densidad, para ello se necesita conocer el área del parque.

Para la ecología de poblaciones es tan importante el valor numérico, como las causas de su fluctuación. Conviene recordar que el número de nacimientos y muertes está determinado por diversos factores. El simple hecho de suplir sus requerimientos básicos como nutrirse, conseguir pareja y eludir depredadores, supone múltiples obstáculos para los individuos de una especie, quienes deben superarlos para sobrevivir y luego dejar descendencia.

Para las ardillas del parque, si los vientos de un frente frío desmenuzan toda la floración de los almendros o de los mangos, los árboles no producirán suficiente alimento para ellas y sus crías, sufriendo una mortandad mayor de la acostumbrada.

Lo mismo sucede si la temporada de lluvias es muy copiosa y las ardillas enferman; si la población de zanates se duplica y consumen muchas frutas; o si los gavilanes que anidan en edificios cercanos descubren que hay una buena cantidad de ardillas en el parque y lo visitan más a menudo para alimentarse de ellas. Todos estos factores aparentemente no relacionados, tienen consecuencias en la abundancia de ardillas.

Habrán entonces parques más adecuados para la población de ardillas (con menos zanates, menos gavilanes y buen clima), así como parques menos convenientes. Ahora bien, mientras existan ardillas significa que algunos individuos sobreviven a los obstáculos, pero *¿qué es lo que determina cuáles ardillas sobreviven?*

Ni el éxito al reproducirse ni la capacidad de sobrevivir hasta la edad adulta y de permanecer en la población es igual en todos los individuos de una misma especie. En efecto, aunque todas las ardillas pudieran parecer iguales, un examen cuidadoso revela diferencias fundamentales. Algunas son más robustas, otras más ágiles, otras de color más oscuro. Incluso sus gustos alimenticios no son idénticos: algunas prefieren mangos y otras almendras.

Tal variabilidad, común a todos los seres vivos, fue llamada por Darwin "*descendencia con variación*" y significa que todos los seres vivos tienden a tener progenie parecida, pero no idéntica a sí mismos (Fig. 5). Es uno de los más profundos y esenciales rasgos de la naturaleza viva, donde actúa la *selección natural*.



Figura 5. Las ardillas *S. variegatoides* son especialmente diversas, se conocen cerca de quince subespecies, cada una con múltiples variaciones en coloración. Dentro de una misma población, las diferencias son menos evidentes.

Que no todos los individuos de la misma especie (o población) son idénticos, significa que la mortalidad y el éxito reproductivo no están determinados puramente por el azar. Aunque son ecológicamente equivalentes, ciertos individuos tendrán ventaja en determinadas condiciones. Continuando con el ejemplo: los gavilanes se han dado cuenta de las ardillas y la mortalidad de ellas ha resultado mayor; no obstante, un grupo de descendientes de una ardilla espalda manchada (Fig. 6) han sido ligeramente más exitosos eludiendo gavilanes porque a estos se les hace más difícil distinguirlas y calcular sus movimientos, siendo ahora proporcionalmente más abundantes en la población. Si los gavilanes continúan cazando de manera prolongada, el aspecto general de las ardillas comenzará a cambiar, al predominar los descendientes de las ardillas manchadas más difíciles de capturar por los gavilanes. De manera similar, si las lluvias copiosas fueran una causa importante de muerte para las crías, aquellas ardillas que construyeran los mejores nidos (por su habilidad motriz, uso de materiales más resistentes o por detectar una mejor ubicación),

dejarían más descendientes en términos proporcionales y, paulatinamente, cambiarían ciertos hábitos en la población.



Figura 6. Fenotipo de la espalda manchada. Se observa cómo el patrón de coloración ayuda al camuflaje.

Las posibles causas de fluctuación poblacional no son necesariamente secuenciales. Los años lluviosos pueden coincidir con los de baja actividad de los gavilanes, o viceversa. Las ardillas macho más atractivos para las hembras pueden también ser los manchados, o los mejores constructores, etc. Sin embargo, todos estos factores determinan, después de muchas generaciones, que las poblaciones estén formadas por individuos adaptados, es decir, ajustados al medio. Para el ejemplo, esto significa ardillas de aspecto inconspicuo ante sus enemigos y con buenas técnicas de construcción. Es claro que cambios subsecuentes en el medio, como por ejemplo un incremento en la cantidad de zanates, traerán como consecuencia un cambio en las probabilidades de sobrevivir. Así, una adaptación nunca será perfecta porque el medio nunca permanece estático.

El mecanismo ejemplificado se conoce como **selección natural** y, en resumen, supone que:

1. Los seres vivos son parecidos a sus progenitores, pero existe variación con respecto a los caracteres propios de la especie. Parte de esta variación es heredable.

2. La variación natural determina que, en un medio ambiente dado, algunos individuos de la población tengan mayores probabilidades de sobrevivir, dejar descendencia, o ambas.
3. Las características ventajosas y heredables, tenderán a predominar en la población. Este proceso sostenido permite la adaptación de los organismos a su medio.

La selección natural tiene un papel fundamental en la evolución de los seres vivos; a causa de esto, ha sufrido diversas críticas, usualmente derivadas de la malinterpretación de sus premisas. Al transmitir esta idea es importante entonces reconocer los siguientes aspectos recopilados por Soberón (1995):

- *La selección natural opera únicamente sobre la variabilidad heredable*, o sea la que se encuentra codificada en los genes. Como se mencionó en la Lección 7 (Fundamentos de Genética), algunos fenotipos se alteran por acción ambiental; retomando aquel ejemplo, la estatura es determinada en gran medida por la nutrición, entonces, la afirmación de que esta es signo de superioridad étnica o de que tal grupo es genéticamente inferior a otra por su mala alimentación, carecen ambas de fundamento biológico. Las deficiencias alimenticias de los padres no quedan codificadas en los genes y por lo tanto no son objeto de la selección natural.
- Hasta ahora se conoce que *la variabilidad genética se origina fundamentalmente en el azar*. Ni las mutaciones ni el entrecruzamiento de la meiosis parecen dirigidos por las necesidades ambientales. Es el grado de variabilidad de las especies y su capacidad de reproducción sexual lo que determina la dirección y velocidad de la selección natural.
- *La selección natural puede actuar a varios niveles de organización biológica*. Por ejemplo, se pueden seleccionar *alelos* (colas con pelo corto o pelo largo), o diferentes tipos de

individuos (los manchados y buenos constructores) o incluso grupos completos de individuos relacionados (como un caso de ardillas donde los juveniles ayuden también a cuidar de las nuevas crías).

- Muchas veces los libros, documentales, etc., utilizan un *lenguaje metafórico* que podría interpretarse como si los genes, animales o plantas, tuvieran “inteligencia” o “poderes de adivinación”. Por ejemplo, se podría haber dicho: *“mediante una piel manchada las ardillas eluden a sus depredadores”*. Esto en ningún momento quiere decir que las ardillas conscientemente hayan decidido adoptar una piel manchada. Aquella frase se utiliza en lugar de la correcta *“cuando los gavilanes cazan, las ardillas con el fenotipo de piel manchada tendrán mayores probabilidades de no ser vistas y así sobrevivir para dejar descendencia, por tanto, el genotipo responsable de la piel manchada predominará en las generaciones futuras”*. En biología usualmente se prefiere la frase incorrecta debido a que se asume la comprensión de estos principios y a que simplemente las correctas son demasiado largas.

Adaptación y genética de poblaciones

La genética de poblaciones es *el estudio de la distribución y cambio de la frecuencia alélica dentro de una población, bajo la influencia de cuatro procesos que impulsan la evolución: la selección natural, deriva genética, mutación y flujo genético*.

Anteriormente se ha explicado el mecanismo de selección natural, y en qué consisten las mutaciones (Lección 7), así como el papel que cumplen ambos procesos en la evolución. La **deriva genética**, en cambio, es una tercera fuerza evolutiva que actúa de manera opuesta y puede definirse en forma simple como *la tendencia natural de las poblaciones a homogenizar la frecuencia de sus alelos*.

La *deriva genética* implica una pérdida de los alelos menos frecuentes y una fijación de los más frecuentes. El mecanismo se atribuye a que durante la reproducción, los *gametos* contienen solo una “muestra” del conjunto de alelos de los progenitores. Aquellos alelos que sean menos frecuentes, tendrán menos posibilidades de ser “seleccionados” durante la *segregación* y, por consiguiente, habrá menos gametos que contengan tales formas alélicas.

A su vez, los gametos menos frecuentes tienen menos posibilidad de participar en la fecundación. Como resultado, las características menos comunes se pierden y la población tiende a componerse de individuos *homocigotos* (Fig. 7).

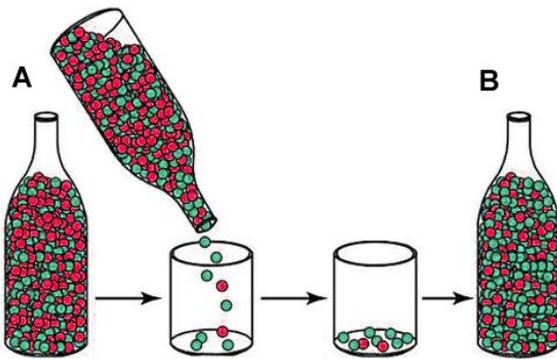


Figura 7. El efecto cuello de botella permite explicar la deriva genética. La botella A representa un individuo X, las canicas su frecuencia alélica (verdes o rojas), y el vaso los gametos que produce. Cuando se forma un gameto, este muestrea los alelos del individuo cuyas proporciones varían (más verdes y menos rojas), si el gameto origina un individuo Y (botella B), tendrá proporcionalmente más formas alélicas verdes que rojas.

La deriva genética encuentra un balance con la acción de la selección natural, la aparición de *mutaciones* y el **flujo genético**; este último consiste en *la entrada o salida de genes en una población, debido a los procesos de migración*. Cada individuo que abandona una población, se lleva consigo su “carga” genética que a menudo es un conjunto único de alelos, algunos de los cuales, ya no estarán disponibles para el grupo; sin embargo, nuevos individuos pueden llegar,

trayendo consigo distintas formas alélicas que antes no existían en la población.

El cambio en la frecuencia alélica poblacional permite explicar de mejor manera cómo las características individuales contribuyen a la adaptación, aceptando que *la evolución es un cambio genético*. Desde este punto de vista, la evolución es un proceso de dos pasos básicos: *primero, la variación genética crece y, segundo, algunas variantes genéticas incrementan su frecuencia, mientras que otras variantes la disminuyen*.

Ya que los procesos adaptativos en las poblaciones ocurren a través de largos períodos, la mayoría de estudios se enfocan en la descripción y análisis cuantitativo de la estructura poblacional, para así realizar extrapolaciones que permitan determinar su dinámica y anticipar sucesos. La información poblacional se recaba con base en el propósito del estudio, usando distintos métodos de muestreo (dependiendo de la biología de la especie) y los datos obtenidos se procesan con modelos matemáticos. Como se mencionó antes, los cambios numéricos (de interés demográfico), se manejan a través de *tablas de vida*.

Tablas de vida

La tabla de vida es *un registro de las muertes y los nacimientos en las diferentes categorías de edad (o de tamaño, o estadio) de una población*. Por ejemplo, una mariposa pasa por los estadios de huevo, cinco fases larvales, una de crisálida y la de adulto. Una tabla de vida para esta mariposa es un recuento de la cantidad de huevecillos que sobreviven de la puesta original; después, de cuántas larvas de cada estadio, cuántas crisálidas y finalmente cuántos adultos, hasta la muerte del último. Además, se incluye la información de los huevecillos depositados por los adultos. En el caso del ser humano, las tablas de vida se dividen en grupos de edades, generalmente de 5 en 5

años. Hay diferentes técnicas para estimar las probabilidades de que un individuo que entra a un grupo cualquiera de edades pase al siguiente, así como la fecundidad promedio de los individuos de cada uno de estos grupos (Tabla 1).

La importancia de las tablas de vida radica en que además de ser un resumen de los nacimientos y muertes de un grupo de organismos, permiten calcular parámetros tan importantes como la tasa de crecimiento de la población y su estructura de edades final. En poblaciones humanas, salud pública utiliza tablas de vida para medir la mortalidad y la sobrevivencia; en estudios demográficos, para estudiar la longevidad, la fertilidad, las migraciones y para calcular proyecciones de población, así como los años de vida sin discapacidad.

Tabla 1. Ejemplo de una tabla de vida.

x	l(x)	d(x)	q(x)	e(x)
0-1	1000	750	75	1.30
1-2	250	210	84	1.22
2-3	40	30	75	1.35
3-4	10	7	70	1.40
4-5	3	2	67	1.33
5-6	1	1	100	1.00
6-7	0	-	-	-

- x = número de individuos al inicio de la edad específica.
- l_x = Probabilidad de supervivencia desde la edad 0 a la edad x (ax/a0).
- d_x = proporción (o número) de individuos muertos de la cohorte original, durante el intervalo de edad.
- q_x = probabilidad de mortalidad entre el intervalo (x, x+1), que tienen aquellos que se hallaban vivos al comienzo del intervalo. También puede referirse como tasa de mortalidad.
- E_x = expectativa de vida de la clase de edad x.

PATRONES DE CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

Definición de crecimiento poblacional

Es el cambio en el número de individuos que tiene una población a través del tiempo. Por lo tanto, este factor depende directamente de la *densidad*

por unidad de tiempo. Las poblaciones pueden presentar diversos patrones de crecimiento, por ejemplo si los individuos se reproducen en estaciones específicas, si los padres mueren después de procrear o si se reproducen continuamente (crecimiento exponencial). En cualquier caso, toda población tiene un potencial máximo de crecimiento y una serie de factores que lo limitan, ambos conceptos se conocen como *potencial biótico* y *resistencia ambiental*.

Potencial biótico y resistencia ambiental

El **potencial biótico** es la máxima capacidad de reproducción de una población en condiciones óptimas. Esto significa el aumento poblacional hipotético que se produciría si todos los individuos se reprodujeran hasta su límite biológico (condición intrínseca), sin que hubiera procesos como muertes o migración, ni carencias de recursos, ni presiones que pudieran alterar la natalidad de la población (condición extrínseca).

La reproducción a velocidad máxima en un ambiente sin restricciones podría conducir a un número increíble de individuos, por ejemplo, dos moscas comunes, en el lapso de un año, podrían producir seis billones de individuos, suponiendo que toda la descendencia sobrevive y se reproduce, dando lugar a hijos que sobreviven y se reproducen y así sucesivamente.

El aumento en el número de individuos que integran la población se contrarresta con la **resistencia ambiental**, esta es, *la influencia de todos los factores del ambiente que evitan que la población crezca desmesuradamente*. La *resistencia ambiental* constituye un obstáculo para el crecimiento poblacional, a través de los *factores limitantes* que pueden ser de dos tipos:

- *Factores dependientes de la densidad*. También llamados de naturaleza biológica, o intrínsecos, son los que aumentan en afectividad conforme aumenta la población (Fig. 8); por ejemplo, entre más ardillas, más

gavilanes llegarán a cazarlas; la población de sus parásitos, como garrapatas, también aumenta; las enfermedades se transmiten más fácilmente, etc.

Esto también puede incluir cambios en la naturaleza reproductiva, por ejemplo, en la mosca de la fruta cuando la población crece demasiado, las hembras comienzan a retener sus huevecillos, al no encontrar alimento ni lugar suficientes para depositarlos.

- **Factores independientes de la densidad.** Son conocidos también como de naturaleza física, o extrínsecos. Como su nombre lo indica limitan el tamaño de la población sin considerar la densidad. Se relacionan con el rango de las condiciones físicas que las especies soportan, así como de eventos extremos. Estos factores pueden ser: luz, humedad, agua, sales en el suelo o el mar, diferencias de presión en ambientes acuáticos, la precipitación pluvial, sequía, inundaciones, erupciones volcánicas, la destrucción de hábitats, contaminación, etc.

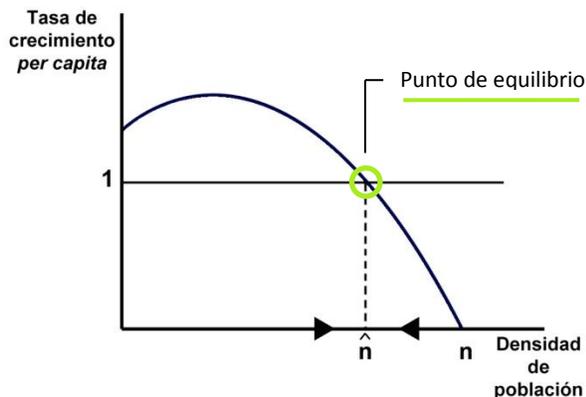


Figura 8. Gráfica de los cambios densodependientes en la tasa de crecimiento *per cápita* (R). Al aumentar mucho la densidad poblacional (N) se produce una disminución de R . A una cierta densidad N , la tasa R vale 1 y la población está en equilibrio.

Se puede considerar al crecimiento poblacional como una resultante de la interacción entre el potencial biótico y la resistencia ambiental. Esto es un sistema con retroalimentación negativa que tiende a mantener la población en un cierto

tipo de “equilibrio”: cuando aumenta la densidad de una población, aumenta también la resistencia ambiental; lo cual, a su vez origina una disminución de la densidad de la población.

Alcanzar el equilibrio significa estabilizar la población al tamaño máximo que puede sostener el ambiente por tiempo indefinido. Este tamaño se conoce como **capacidad de carga** del ambiente. La velocidad con la que una población alcanza la capacidad de carga no solo depende del ambiente, sino de sus requerimientos como especie y del tipo de crecimiento poblacional.

Crecimiento exponencial

El modelo más simple de crecimiento de una población, cuyo número de individuos se incrementa a una tasa constante, se conoce como *crecimiento exponencial*. El primer abordaje de este crecimiento fue realizado por *Thomas Malthus*, quien argumentaba que la población humana crecía en forma geométrica, mientras que los alimentos lo hacían en forma aritmética, augurando un futuro caótico.

Actualmente se conoce que el crecimiento geométrico de *Malthus* no es más que un crecimiento con una tasa de reproducción *per cápita* constante y mayor que uno. Esto significa que cada adulto está siendo remplazado por más de un adulto en la siguiente generación (Fig. 9). La ecuación que describe el crecimiento poblacional de tipo exponencial es:

$$X = X_0 e^{rt}$$

Donde (X_0) es la población original; la constante matemática: logaritmo natural ($e = 2.718$), representa el parámetro maltusiano. La población incrementará su tamaño hasta X a través del tiempo (t), si la tasa de crecimiento (r) es positiva (r mayor que 0). Por ejemplo, si $rt = 0.693$ ($e^{0.693} = 2.0$), la población se duplicará en el tiempo (t): $X = 2X_0$. El tiempo en el que se duplica esa población será $t = 0.693/r$.

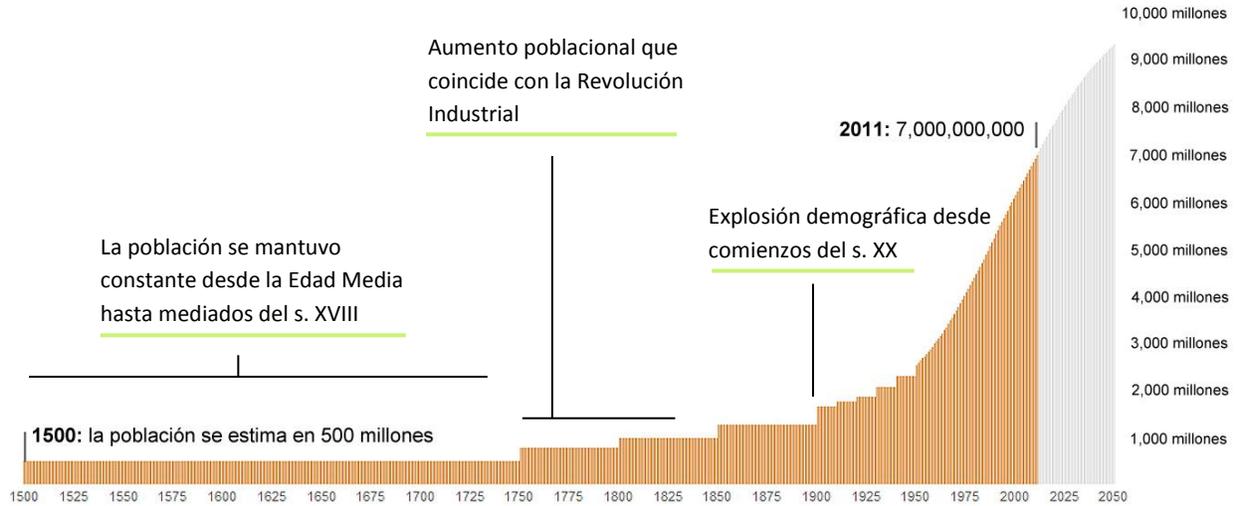


Figura 9. Crecimiento exponencial de la población humana mundial. Se observa un aumento significativo y sostenido desde el siglo pasado, lo que coincide con grandes avances en biología que potenciaron campos como la medicina y agricultura.

La población no crece si por ejemplo $r = 0.0$, así $rt = 0.0$ y por ley exponencial $e^{0.0} = 1$, entonces $X = X_0$. Esta es una condición altamente improbable en la naturaleza. La población decrece cuando r es negativa.

Luego de un crecimiento exponencial las poblaciones tienden a estabilizarse de acuerdo con la capacidad de carga. En este equilibrio, el índice de nacimientos se aproxima con el índice de mortalidad y se estabiliza el tamaño de la población. Este tipo de crecimiento, se denomina *crecimiento logístico*.

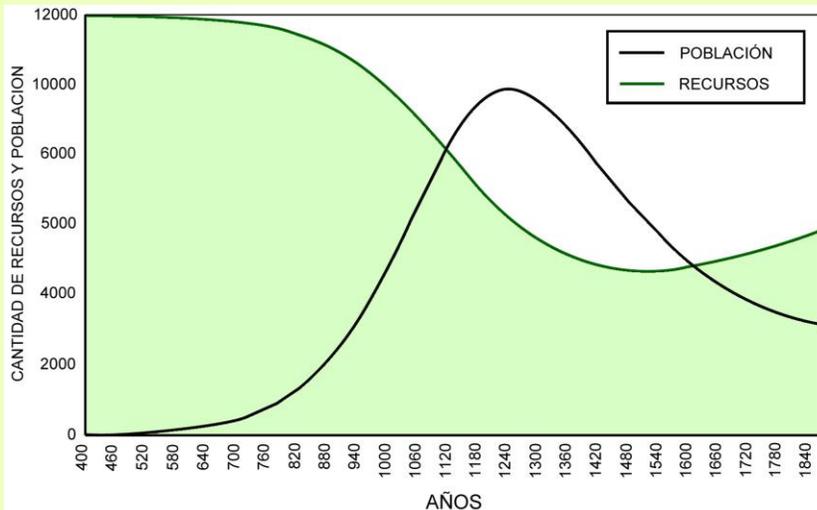
ACTIVIDAD 1: (Tiempo: 40 minutos)

ANÁLISIS GRÁFICO DEL IMPACTO POBLACIONAL

Procedimiento

Presente a la clase la siguiente aseveración “En ningún caso es posible mantener un crecimiento exponencial por tiempo indefinido. Tarde o temprano la fecundidad o la sobrevivencia per cápita (o ambas) disminuirán debido a uno o varios factores como la disminución de los recursos”.

Con la premisa anterior en mente, pida a sus estudiantes que analicen de forma grupal el siguiente gráfico de crecimiento poblacional y cantidad de recursos.



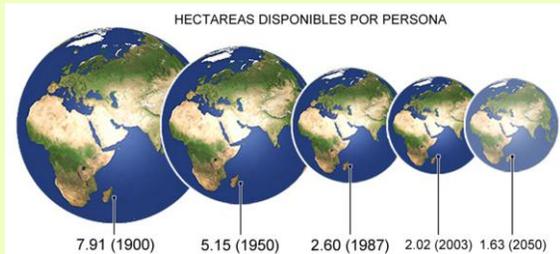
Interroga a la clase:

- ¿Qué tipo de crecimiento muestra la población? Exponencial.
- ¿Qué se puede decir acerca del tipo de recurso representado? Es renovable, de origen biótico.
- ¿Qué relación se observa entre la población y el recurso?
- ¿A qué se deben las fluctuaciones de ambas variables con respecto a la capacidad de carga?

Pida que anoten sus respuestas y luego modere una discusión entre grupos haciendo énfasis en las últimas dos preguntas.

Cuando se haya llegado a un acuerdo de conceptos, introduzca el concepto de **huella ecológica**: *la cantidad de hectáreas productivas (terrestres y acuáticas) que necesita una persona promedio de una población X, para mantener su nivel de vida actual.*

Pida que relacionen la huella ecológica con el gráfico siguiente, de acuerdo con lo observado referente al crecimiento poblacional y el consumo de recursos.



La huella ecológica de El Salvador es de **1.6 hgpc** (hectáreas globales per cápita), esto significa que una persona salvadoreña promedio necesita un área de 1.6 hectáreas (1 600 m²) para mantener su estilo de vida actual. Por otro lado, la huella ecológica de los Estados Unidos de América es de **9.4 hgpc**. Someta a discusión estos nuevos datos.

El Salvador en datos poblacionales

Actualmente, El Salvador cuenta con más de 6 206 000 habitantes dispersos en 20 742 km² de territorio, lo que supone una densidad poblacional de casi 300 habitantes/km².

Se estima que la población crece a una tasa anual del 0.5%. Esto supone que cada hora existen en el país: 14 nacimientos, 5 muertes y -7 personas migrantes.

La esperanza de vida general es de 71.4 años. Para los hombres es de 66.6 años y para las mujeres de 76.1 años.

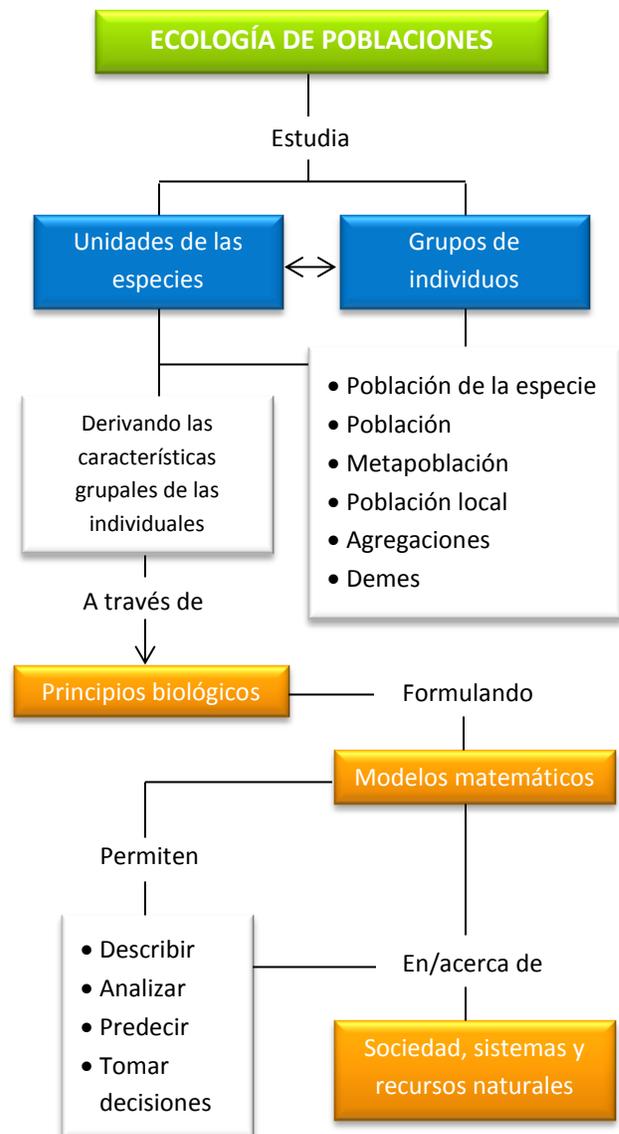
Distribución Poblacional

Es la forma en que los individuos están dispersos dentro del área habitada por la población. La descripción de la distribución espacial suministra información adicional sobre la población; por ejemplo, donde se encuentra la mejor fuente de sus suministros, los patrones de conducta, lugares de anidación, suelos más fértiles, etc.

En general, se distinguen tres tipos o patrones de distribución:

- **Azar**: los especímenes se distribuyen en forma irregular y la presencia de un individuo no afecta directamente la ubicación de otros.
- **Agrupado**: los individuos se encuentran agrupados en agregados o manchones, por lo que la presencia de un organismo aumenta la probabilidad de encontrar a otro.
- **Regular**: los individuos están uniformemente espaciados dentro del área, y la presencia de uno disminuye la probabilidad de encontrar otro en su proximidad.

RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Bilenca, D. y R. Gürtler. (s.f.). *Tablas de vida*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/AcAXX>

British Broadcasting Corporation –BBC– (2011). *The world at seven billion*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/SS8ll>

Farias, A. (s.a.). *Ecología: población y comunidad*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/LpMna>

Index mundi. 2001. *El Salvador, tasa de migración neta*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/ryuod>

Sharov, A. (s.f.). *Cuantitative population ecology*. Extraído en noviembre de 2011, de <http://goo.gl/V7qyH>

Soberón, J. (2005). *Ecología de poblaciones*. México DF: Fondo de cultura económica.

State of the planet (2007). Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/VwydZ>

Radcliff, E. (2009). *Introduction to Population Ecology*. University of Minnesota. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/jDIUY>

Organización Panamericana de la Salud –OPS– (2003, diciembre). *La tabla de vida: Una técnica para resumir la mortalidad y la sobrevivencia*. Boletín epidemiológico Vol. 24. N° 4. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/sptkp>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. Traslade el literal de la izquierda al paréntesis de la derecha correspondiente a los conceptos estudiados dentro de una población

- | | |
|--|---------------------------|
| a) Cantidad de individuos que conforman el grupo. | () Densidad |
| b) Proporción de organismos de distintos sexos en sus diferentes edades o estadios. | () Tamaño |
| c) La forma en cómo se comportan las variables poblacionales a través del tiempo. | () Crecimiento |
| d) Cantidad de individuos por unidad de área o volumen. | () Estructura |
| e) Cambio en el número de individuos a través del tiempo. | () Potencial biótico |
| f) Máxima capacidad de reproducción | () Dinámica |
| g) Influencia de todos los factores del ambiente que evitan un crecimiento desmesurado | () Resistencia ambiental |

2. Escriba el término correspondiente a las definiciones

- Es el estudio de las adaptaciones de las especies individuales a su ambiente y de las interacciones que mantienen con él: _____
- Es el estudio de la estructura, tamaño y dinámica de las poblaciones: _____
- Es un grupo de poblaciones naturales cuyos individuos se cruzan entre sí de manera real o potencial y que están reproductivamente aislados de otros grupos: _____
- Son todos los individuos pertenecientes a la misma categoría de especie: _____
- Es un conjunto de poblaciones discontinuas (de la misma especie), a través de las cuales puede ocurrir migración: _____

3. Resolución de problemas

- Una comunidad costera tiene problemas con la entrada de marejadas. Un estudio del fenómeno reveló que la disminución de la barrera natural de mangles (*Rhizophora mangle*) era uno de los factores claves para el incremento de estos eventos en la zona. Dentro de las medidas propuestas, se decide destinar un área de 10,000 m² para reforestación con mangles al cuidado de la comunidad. Si cada mangle necesita un área de 25 m² para desarrollarse hasta la edad adulta, pero existe una tasa de mortalidad del 20% de sus plántulas (arbolitos de mangle) ¿cuántos mangles se deben sembrar?
- Las lombrices de tierra habitan en una franja de profundidad del suelo entre 0 y 25 cm. Se ha comprobado que sus actividades generan suelos muy fértiles, oxigenados y con mayor humedad, lo que favorece el crecimiento de las plantas, por ello se utilizan para producir humus o directamente en cultivos orgánicos. Suponiendo que unas 100 lombrices adultas en 0.25 m³ es una cantidad apropiada para el cultivo orgánico de repollo ¿cuántas lombrices adultas debe sembrar un agricultor en una parcela de 625 m² para lograr la cantidad apropiada en 2 meses?
Tome en cuenta que la población de lombrices adultas se duplica cada 60 días hasta alcanzar su equilibrio.

LECCIÓN 12.

COMUNIDADES BIOLÓGICAS

CONTENIDOS

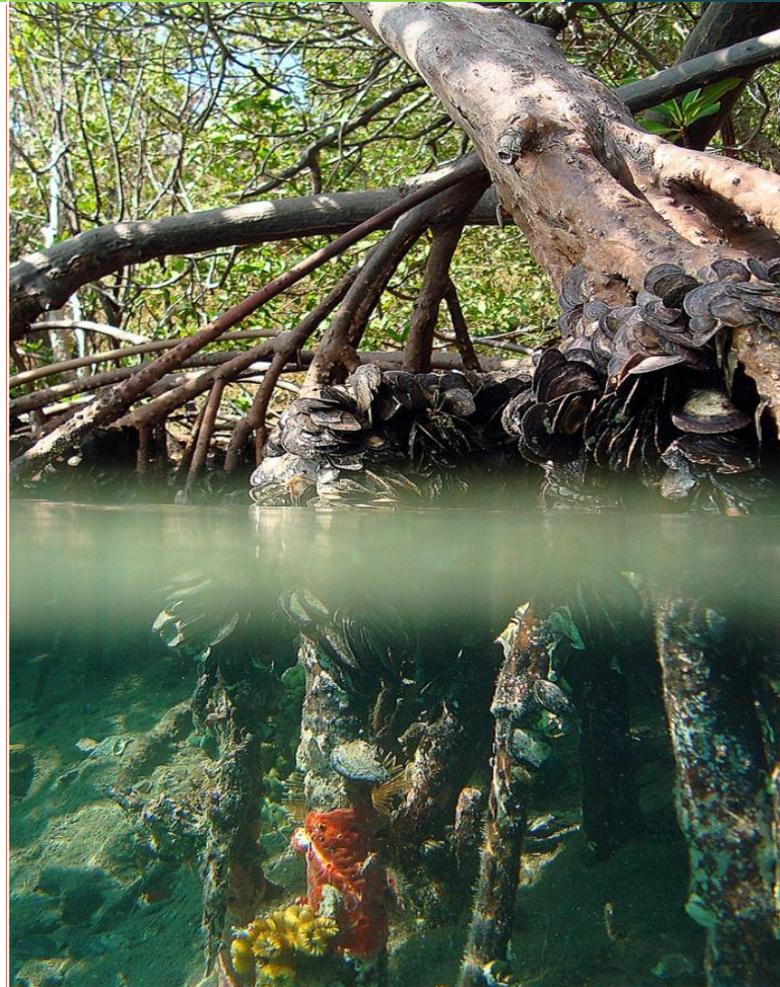
1. Hábitat y nicho ecológico.
 - a. Competencia.
 - b. Depredación.
 - c. Simbiosis.
 - d. Parasitismo.
 - e. Mutualismo.
 - f. Comensalismo.
2. Sucesiones ecológicas.
3. Comunidades acuáticas.
4. Comunidades terrestres.
5. Situación ecológica de El Salvador.

INDICADORES DE LOGRO

1. Comprende que es un nicho ecológico.
2. Comprende que es hábitat.
3. Identifica los diferentes tipos de simbiosis.
4. Analiza en qué consiste una comunidad ecológica.
5. Indaga los factores bióticos y abióticos que intervienen e influyen en las comunidades ecológicas.

PALABRAS CLAVE

Nicho ecológico, hábitat, bioma, simbiosis, sucesión ecológica, comunidad clímax, comunidad acuática, oligotrófico, eutrófico, comunidad terrestre, región biogeografía, ecotono, perfil de suelo.



¿PORQUÉ ES IMPORTANTE?

El planeta es una suma de diversos ecosistemas delimitados las condiciones ambientales terrestres y oceánicas; conocer las comunidades que ocupan los diversos ecosistemas, es necesario para alcanzar un desarrollo sostenible, ya que brinda información sobre la capacidad de los recursos naturales de un territorio, promovándose además la conservación de especies de importancia ecológica, médica, económica y científica.

DESCRIPCIÓN

Se describe el nivel ecológico de población, sus características y componentes. Se introducen elementos de hábitat y nicho ecológico, incluyendo las interacciones entre individuos. Se analiza el proceso de sucesión ecológica, para finalmente hacer una comparación entre comunidades acuáticas y terrestres.

Cuando las poblaciones son muchas, conforman comunidades. Por ello una *comunidad* la constituye, de manera general, el total de poblaciones de organismos que viven juntos y de las interacciones potenciales entre sí en una zona determinada.

Asimismo, es válido decir que una comunidad la conforma una población junto con todas las interacciones que esta tiene con otros organismos y con los factores abióticos de una zona en particular (Fig. 1).



Figura 1. Manglar en la Bahía de Jiquilisco. En esta zona hay diversas comunidades vegetales y animales interactuando entre sí.

Las poblaciones se estudiaron en la Lección 11 (Ecología de poblaciones), donde se aprendió sobre su tamaño y la dinámica que poseen; como se esbozó, un ecosistema no está constituido solamente de una especie o una sola población, sino que existe un ensamblaje de muchas poblaciones formando comunidades, las cuales, poseen diversos tamaños y sus propias dinámicas, como se detalla a continuación.

1. HÁBITAT Y NICHO ECOLÓGICO

El *hábitat* es el espacio que reúne los factores abióticos y bióticos adecuados para que una especie o comunidad pueda residir, reproducirse y crecer (Fig. 2).

Un hábitat es un ambiente único que puede ser cambiante, dependiendo del clima o de la intervención humana.

Al igual que una población cuenta con sus propias características como la dispersión y densidad. Las comunidades poseen características propias definitorias como son la *diversidad*, la *forma prevaleciente de vegetación*, la *estabilidad* y la *estructura trófica*.



Figura 2. Fotografía de un área en un manglar, el cual es un hábitat para diversas especies. Así también lo es una charca para muchos tipos de microorganismos.

La *diversidad*, o sea, la variedad de clases de organismos que la conforman, tiene dos componentes: la riqueza de especies o número total de especies diferentes en la comunidad y la abundancia relativa de especies distintas (Fig. 3).

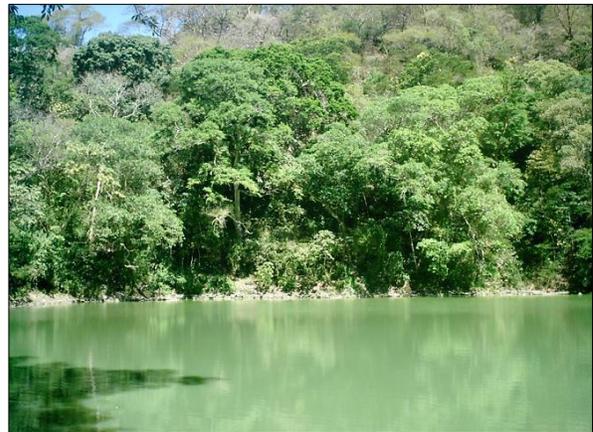


Figura 3. Cráter del volcán Laguna Caldera en La Libertad. La diversidad de especies arbóreas es grande, sin embargo se observa poca abundancia relativa de cada especie presente.

La *forma prevaleciente de vegetación* depende de las condiciones del terreno y posee dos componentes: las *clases* de plantas dominantes y la *estructura* particular (Fig. 4). Los tipos y

características estructurales de las plantas determinan en gran medida la clase de animales que viven en una comunidad terrestre.



Figura 4. Esquema de un perfil de vegetación, en el que se observa la cobertura arbórea y herbácea de una zona de chaparral.

La **estabilidad** se refiere a la capacidad de la comunidad para resistir el cambio y regresar a la composición original de sus especies después de haber sido alterada. Esta capacidad depende tanto del tipo de comunidad como de la naturaleza de la alteración (Fig. 5).



Figura 5. Vista aérea de una zona de cultivo inundada en San Vicente a causa de la depresión tropical 12 E en 2011.

Por ejemplo, el bosque de Montecristo en Santa Ana, por ser un bosque nebuloso con árboles centenarios dominantes y otras especies que crecen bajo sus copas, se presenta como una comunidad estable porque no habría mayor perturbación si un rayo impactara en un árbol.

Pero si un incendio terminara con el bosque, este sería menos estable que una zona de sabana o chaparral, ya que esta última tardaría menos tiempo en volver a su composición original que el bosque a tener su estructura compleja antes de ser arrasado (Fig. 6).



Figura 6. Comparación de incendios en una zona de bosque (arriba) y en una zona de sabana (abajo). El bosque tardará más años en recuperar su estructura anterior al siniestro.

La **estructura trófica** (del griego *trophe* "alimentación") es el conjunto de todas las relaciones alimenticias entre las diferentes especies que conforman la comunidad. Determina el paso de energía y los nutrientes desde las plantas y otros organismos fotosintéticos a los herbívoros y luego a los carnívoros; de igual forma hacia los detritívoros y carroñeros.

Un **nicho ecológico** se define como la suma de los recursos bióticos y abióticos de un entorno

determinado y los usos que una especie les da. Por ejemplo, el rango de temperatura dentro del cual vive una población, el momento del día en que se alimentan los individuos y qué tipo de alimento consumen, todos estos son parte de su nicho (Fig. 7).



Figura 7. Una “tortolita” (*Columbina talpacoti*) en su nido. El nicho de esta ave en particular, es el árbol donde vive y se reproduce.

Se podría decir que si el hábitat de una especie es su “dirección”, el nicho ecológico es comparable a la “profesión” o rol que cada especie juega en una población y en la comunidad.

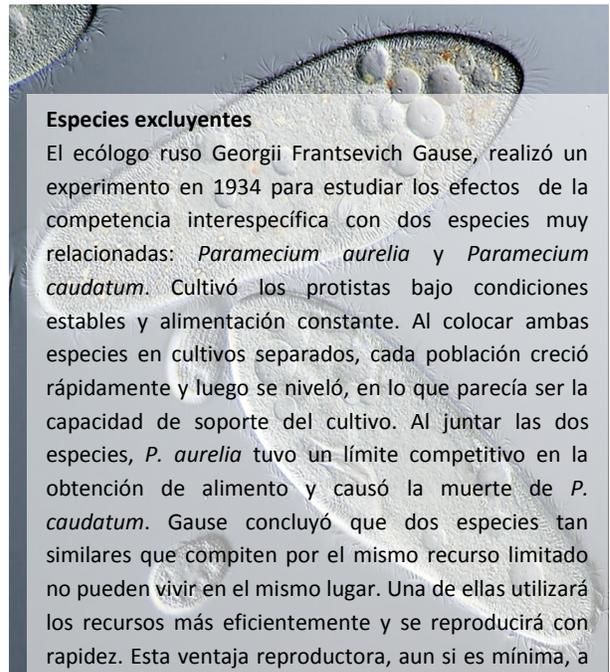
Existen interacciones que se dan entre los organismos de una comunidad, las cuales son: la competencia, la depredación, simbiosis (*parasitismo, mutualismo y comensalismo*), que a la vez, son fuerzas que mantienen unidas a las poblaciones en las comunidades. Al abordar estas interacciones se puede observar que están todas influidas por la evolución a través de la selección natural (Fig. 8).

a. Competencia

Esta interacción se da cuando individuos de distintas especies compiten por los recursos que determinan su crecimiento y supervivencia. Por ejemplo las semillas de árboles que crecen en el bosque El Imposible, compiten para ocupar un espacio en el suelo para germinar y crecer antes que las otras germinen y oculten con sus hojas la luz solar que necesitan para sobrevivir.



Figura 8. Grupo de “Cusucos” (*Dasypus novemcinctus*) interactuando entre sí en su nicho ecológico.



Especies excluyentes

El ecólogo ruso Georgii Frantsevich Gause, realizó un experimento en 1934 para estudiar los efectos de la competencia interespecífica con dos especies muy relacionadas: *Paramecium aurelia* y *Paramecium caudatum*. Cultivó los protistas bajo condiciones estables y alimentación constante. Al colocar ambas especies en cultivos separados, cada población creció rápidamente y luego se niveló, en lo que parecía ser la capacidad de soporte del cultivo. Al juntar las dos especies, *P. aurelia* tuvo un límite competitivo en la obtención de alimento y causó la muerte de *P. caudatum*. Gause concluyó que dos especies tan similares que compiten por el mismo recurso limitado no pueden vivir en el mismo lugar. Una de ellas utilizará los recursos más eficientemente y se reproducirá con rapidez. Esta ventaja reproductora, aun si es mínima, a la larga provoca la eliminación del competidor inferior.

A esto se le llamó *principio de exclusión competitiva*.

b. Depredación

Cuando una especie mata e ingiere a otra especie, al consumidor se le llama depredador y a la especie del que se alimenta se le llama presa. Este término alude a una amplia variedad interacciones. Un animal que mata a una planta para comer sus tejidos se considera depredador (el caso de una vaca y pasto). Por la razón de comer y evitar ser comido, la depredación es una interacción que por medio del éxito reproductivo se da un refinamiento a través de la selección natural en ambas especies, tanto depredadoras como presas, a esto se le conoce como *coevolución* (Fig. 9).



Figura 9. La araña “lobo” o “saltadora” ha adaptado su visión, también sus extremidades para capturar presas tan ágiles como la mosca doméstica.

Cripsis, del griego *kriptos* “oculto”, es una adaptación de muchas especies en la coloración de la piel, pelo o plumaje de tal forma que se confundan con su entorno y sea casi imposible identificarlas; su postura también contribuye a su invisibilidad (Fig. 10).



Figura 10. Un ejemplar de “pájaro troncón” (*Nyctibius jamaicensis*) descansando en la punta de la rama con su cría. Observe el perfecto mimetismo de sus plumas con el color de las ramas.

El **aposematismo** es lo contrario a la cripsis; las especies advierten mediante veneno, sabor desagradable, mal olor o una señal de advertencia; además, poseen colores que los

hacen resaltar de su entorno como si de un rótulo anunciando peligro se tratase (Fig. 11).



Figura 11. Una serpiente venenosa “coral” (*Micrurus nigrocinctus*) que advierte a sus enemigos de lo mortal que es a través de la exhibición de colores intensos para evitar ser perturbada. Posee anillos negros y rojos anchos, separados por anillos amarillos angostos.

c. Simbiosis

Cuando los individuos de dos o más especies viven en contacto directo y de forma íntima, se dice que poseen una relación simbiótica.

d. Parasitismo

Interacción en la cual un organismo, obtiene su alimento a costa de otro, el anfitrión u hospedero, el cual se ve perjudicado en el proceso. Los parásitos que viven en el interior del cuerpo del anfitrión se llaman *endoparásitos*; los que se alimentan de la superficie externa del anfitrión se llaman *ectoparásitos* (Fig. 12).



Figura 12. Un “matapalo” (*Psittacanthus* sp.) parasitando un árbol. Sus raíces *haustoriales* se aprecian incrustadas en la rama del árbol mostradas en detalle en el corte transversal magnificado. Esta planta es un ejemplo de un endoparásito.

Parásito amigable

El ácaro *Demodex folliculorum* vive en los folículos capilares del rostro en humanos. De cuerpo alargado y angosto, es considerado un parásito muy antiguo del hombre, al grado que no causa molestias en la piel. De hecho estudios indican que cerca de un 100% de personas mayores de 40 años de edad están infestadas de este “compañero antiguo” que come células muertas y ayuda a regenerar la piel; sin embargo, algunos investigadores lo asocian con el acné y otras enfermedades cutáneas; aun así, prefiere vivir en los rostros más limpios y cuidados.



e. Mutualismo

Del latín *mutualis* “recíproco”. Es una relación interespecífica que beneficia a ambas especies. Tales relaciones algunas veces envuelven la coevolución de adaptaciones entre ambas especies que afectan la supervivencia y la reproducción de ellas (Fig. 13).

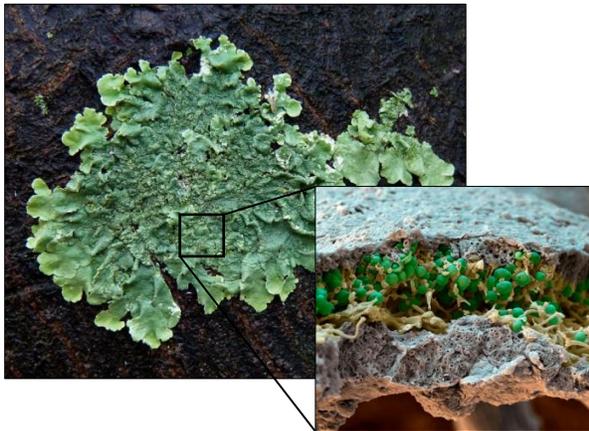


Figura 13. Un líquen, es una asociación de un hongo (hifa) con un alga, donde ambas especies salen beneficiadas al obtener su alimento. En la micrografía de primer plano se observan las hifas parecidas a fibras de color crema y las algas como esferas verdes.

f. Comensalismo

Del latín *com* “conjunto” y *mensa* “mesa”. Una especie se beneficia sin afectar a otra, sin embargo, la asociación de los organismos afecta en una medida muy pequeña a cada uno de los socios. Por ejemplo algunas especies de aves se alimentan de los insectos que se levantan de la

hierba cuando el ganado esta pastoreando. Es difícil imaginar cómo eso podría afectar al ganado, pero la relación puede ayudarles o perjudicarlos de alguna manera aun desconocida (Fig. 14).



Figura 14. Escena subacuática de un manglar. Los peces, que nadan, los organismos microscópicos en el lecho y los mangles son comensales de este nicho en particular.

2. SUCESIONES ECOLÓGICAS

Las comunidades pueden cambiar de forma drástica luego de una inundación, un incendio o después de una erupción volcánica que acabe con la vegetación. Una especie puede colonizar la zona que fue perturbada y consecuentemente, otras especies arriban al lugar aumentando la diversidad. Este proceso de regeneración de las comunidades, que resulta de alguna clase de perturbación, se conoce como *sucesión ecológica*. Una **perturbación** es una fuerza que altera una comunidad biológica y que por lo general retira organismos de ella (Fig. 15).



Figura 15. Un flujo de lava quemando la vegetación y suelo de un ecosistema; esta perturbación dará paso a una sucesión ecológica en un futuro.

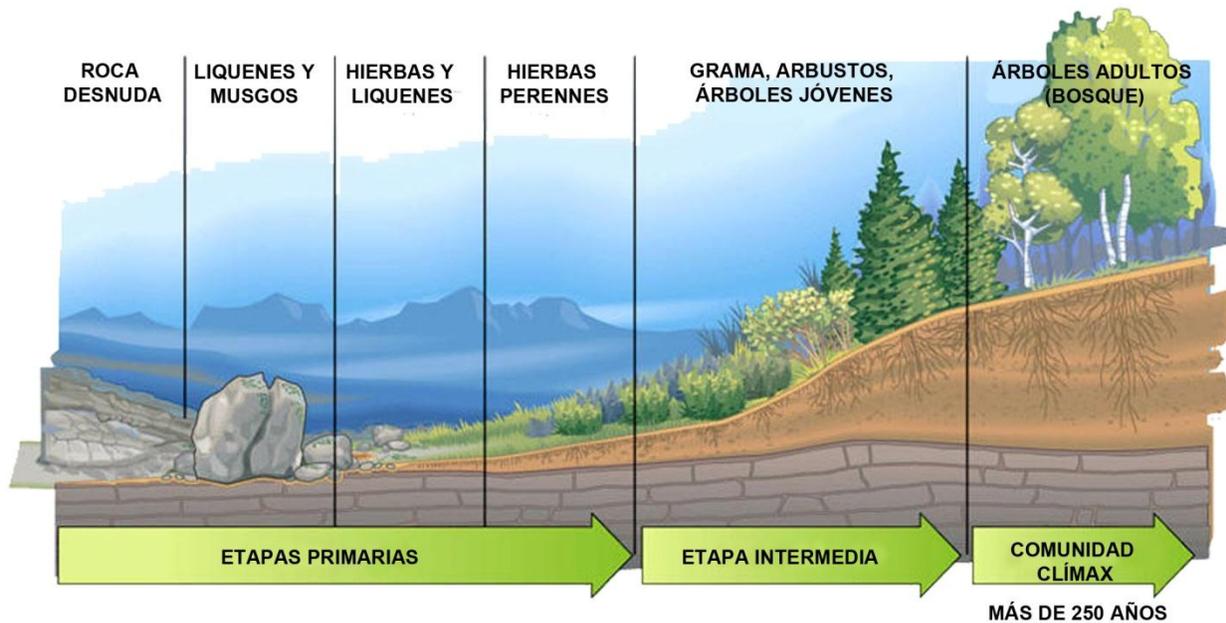


Figura 16. Esquema sobre las etapas de una sucesión primaria y la vegetación característica de cada periodo. Dicho proceso tarda en alcanzar su máximo desarrollo en cientos de años en condiciones estables, y sin otras perturbaciones intermedias.

Se tomará como ejemplo una zona arrasada por la lava de una erupción volcánica. Las sucesiones de este tipo inician con la llegada de los microorganismos autótrofos a una zona devastada, sin una capa orgánica en el suelo. Esta es la **sucesión primaria** (Fig. 16). Luego llegan otras especies de líquenes y musgos cuyas esporas son transportadas por el viento.



Figura 17. Líquenes sobre rocas ígneas. Estos organismos simbióticos *meteorizan* (desintegran) la roca para formar las primeras capas de sustrato que facilitará la llegada de otros organismos vegetales.

Con ayuda de las lluvias y las corrientes de viento, los líquenes y musgos inician en proceso de meteorización (desintegración de roca ígnea) en la zona de lavas; siendo los primeros

organismos fotosintéticos macroscópicos que llegan a la zona estéril (Fig. 17). Este proceso se desarrolla de forma gradual formando y acumulando la materia orgánica, constituyendo las primeras capas de sustrato que será en un futuro el suelo. Los líquenes y musgos son superados gradualmente por las gramíneas, los arbustos y árboles cuyas semillas llegan también gracias al viento. Muchas semillas que germinan, se convertirán con el tiempo en la especie vegetal dominante de la comunidad (Fig. 18).



Figura 18. El volcán de Izalco posee zonas de lava donde gramíneas han germinado gracias a los líquenes y musgos.

En la etapa final dentro de la zona que fue perturbada, los árboles desarrollan copas grandes y mucho follaje y las demás especies vegetales como arbustos y hierbas, se presentan en gran número también; esta situación favorece la llegada de muchas especies animales como mamíferos, aves, reptiles, anfibios, artrópodos; así también, las poblaciones de microorganismos que llegaron como pioneros a formar esta comunidad siguen presentes.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 1 hora)

Para realizar esta actividad, puede notificar a sus estudiantes uno o dos días antes de desarrollarla para que presenten alguno de los materiales sugeridos.

Considere el siguiente caso con sus estudiantes:

“Una zona de bosque caducifolio cercano a un volcán, lleva cientos de años sin perturbación, hasta que ocurre una erupción y su flujo de lava acaba con la vegetación; la lava se solidifica dejando un área extensa de roca ígnea que cubre todo el terreno que ocupó el bosque.”

Que los estudiantes analicen el caso en grupos de tres integrantes. Consideren que tipo de organismos serán los primeros en llegar a la zona; a partir de ese punto, que estimen una escala de tiempo en la que detallen los tipos de vegetación que se van sucediendo hasta llegar a la comunidad clímax, teniendo en cuenta el tipo de vegetación anterior a la erupción y el clima de la zona.

Materiales: pizarra, pliegos de papel bond o cartulina, marcadores, muestras de vegetales (puede llevarlos el docente o estudiantes).

Indíqueles que: al finalizar su análisis, cada grupo expondrá sus conclusiones a la clase. Puede finalizar con preguntas como: *¿qué clase de sucesiones han visto? ¿En nuestra comunidad sucederá alguno de los dos tipos de sucesión? ¿De qué manera puede alterarse o interrumpirse una sucesión?*

NOTA: si existe la posibilidad de realizar un viaje de campo a alguna zona de lavas (por ejemplo carretera al Cerro Verde en Sonsonate o el Playón en Quezaltepeque), se sugiere que pueda programarse con antelación.

El proceso de regeneración y formación de una nueva comunidad luego de una perturbación que acabo por completo con la comunidad anterior, puede tardar varios cientos de años; sin embargo, se tiene como promedio unos 150 a 200 años para su recuperación.

Una **sucesión secundaria**, se da cuando una comunidad es perturbada causando la desaparición de la mayoría de las especies, donde el suelo es afectado pero no se elimina.

En la primera etapa de la sucesión, serán las especies herbáceas las que dominarán la zona, luego llegarán las arbustivas reemplazándolas hasta que eventualmente muchos árboles sustituyan a los arbustos. Las zonas perturbadas pueden ser terrenos arrasados por incendios o campos abandonados que se usaron para agricultura (Fig. 19).



Figura 19. Un bombero lucha contra un incendio en las faldas del volcán de San Salvador. Eventos como este son los causantes de que las comunidades ecológicas sufran una sucesión secundaria.

Las primeras especies en llegar a la zona perturbada, facilitan la aparición de nuevas especies más tarde, al hacer las condiciones del suelo más favorables para el crecimiento y desarrollo de ellas (por ejemplo, incrementan la materia orgánica del suelo).

Cuando la comunidad se ha desarrollado de tal forma que hay poco crecimiento de **biomasa** y las especies están especializadas (como una selva), se considera una **comunidad clímax**: un ecosistema auto sostenible y muy estable.

Las sucesiones son la respuesta a una perturbación en un ecosistema, actualmente el más fuerte y principal agente perturbador es la actividad humana. El desarrollo de la agricultura,

el crecimiento de zonas urbanas, la minería y las tierras para ganado, reducen enormes áreas de bosque a pequeños parches aislados entre sí; pero no solo los sistemas terrestres, también las comunidades acuáticas (océanos, lagos, ríos y demás cuerpos de agua) se ven afectados en gran manera por las actividades del humano (Fig.20).



Figura 20. El crecimiento de las ciudades y poblados, junto con la agricultura desmedida, son las principales causas de la presión que sufren las comunidades ecológicas. Fotografía satelital cerca de la bocana del río Lempa, Usulután; se observa una comunidad vegetal que tardó cientos de años en formarse, aislada por tierras de cultivo que amenazan con eliminarla debido a la demanda que tiene el crecimiento demográfico.

3. COMUNIDADES ACUÁTICAS

La vida se originó en los océanos y evolucionó en el agua por casi tres mil millones de años hasta que las plantas y los animales pudieron salir a poblar la tierra seca. Cubriendo un 71% de la superficie del planeta, los océanos tienen un impacto enorme sobre la biosfera (Fig. 21).



Figura 21. Playa Los Cóbano, Sonsonate, una playa con arrecife coralino que alberga gran diversidad de organismos, de mucha importancia ecológica y científica para El Salvador.

Los océanos regulan la temperatura global y crea las corrientes oceánicas y atmosféricas; los organismos fotosintéticos de los océanos producen la mayor parte del oxígeno en la Tierra y absorben la mayor cantidad de dióxido de carbono que se expulsa a la atmósfera.

Además de los océanos existen los sistemas de aguas continentales, que poseen una relación directa con los suelos y componentes abióticos que rodean al cuerpo de agua dulce, por tanto están expuestos a las condiciones físico-químicas locales y se ven afectados por éstas (Fig. 22).

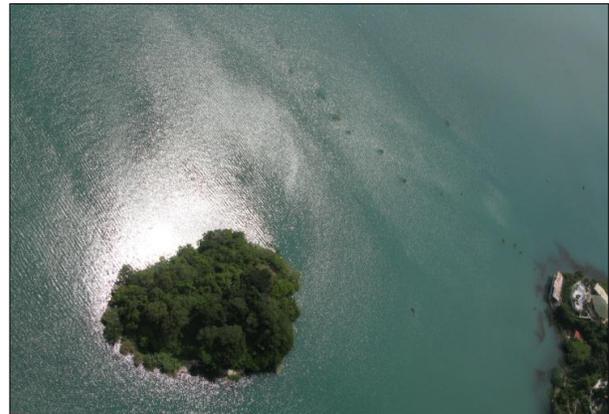


Figura 22. Fotografía aérea de la Isla Quemada en el lago de Ilopango. Este cuerpo de agua no solo se ve afectado por el clima local, sino que en mayor escala por la actividad humana.

Las aguas continentales son física y químicamente estratificadas en forma vertical y horizontal. Por ejemplo, la luz que incide en el agua es absorbida por organismos fotosintéticos en la superficie; conforme se desciende, la luz es menos intensa hasta que ya no penetra a cierta

profundidad. A esta capa donde hay luz solar se le llama **zona fótica**.

En el caso de las corrientes de agua (los ríos, riachuelos, arroyos, etc.) la variación de las poblaciones y comunidades en los distintos estratos, poseen adaptaciones peculiares que generan una clase de sucesión ecológica muy propia de estos sistemas de agua (Fig. 23).



Figura 23. Detalle del caudal del río Guayapa en el bosque El Imposible, Ahuachapán. Por ser corrientes de agua, los ríos poseen comunidades muy adaptadas a su nicho con dinámica constante.

Donde la luz ya no logra penetrar, inicia la zona oscura hacia abajo, llamada **zona afótica**. Ambas zonas conforman lo que se conoce como **zona pelágica** (Fig. 24).

En aguas continentales, la zona fótica está subdividida en dos zonas: la cercana a la costa donde la luz penetra fácilmente, con presencia de plantas con raíz, denominada **zona litoral**; en el área siguiente, la luz penetra hasta cierta profundidad, no hay crecimiento de plantas que se anclen al lecho que es profundo; a esta zona se llama **zona limnética**.

La principal diferencia entre el agua de mar y el agua dulce es la salinidad. La diferencia de iones disueltos en el agua dulce tiene efecto profundo en los organismos que viven ahí, los cuales se han adaptado a estas condiciones cambiantes que varían constantemente por influencia de la geografía (ampliarse en la Lección 14).

En la profundidad de los océanos donde la visibilidad es nula, se encuentra la llamada **zona abisal** a unos 2,000 a 6,000 m por debajo de la superficie del agua.

La **zona béntica** o **bentónica** es la parte más profunda de todos los sistemas acuáticos.

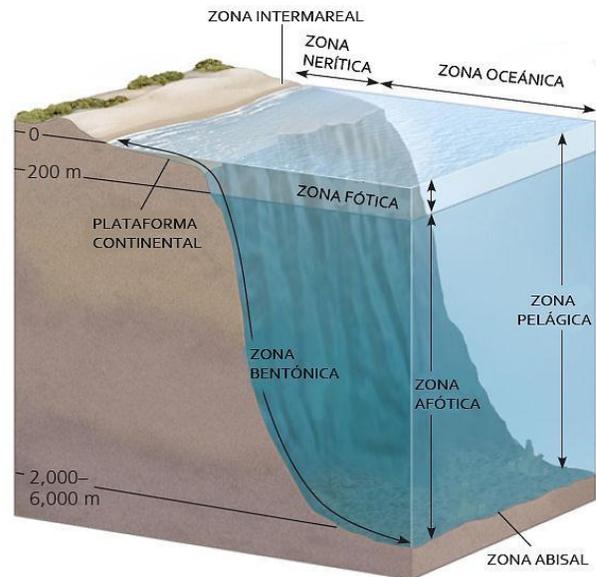


Figura 24. Modelo de la diferente zonificación de los océanos. En la zona pelágica se encuentran la mayoría de organismos marinos, mientras que la zona abisal es la menos explorada.

Sea cual sea la composición de esta zona, ya sea por arena o sedimentos de origen orgánico, las especies que viven en ella se conocen con el nombre genérico de **bentos** (Fig. 25).

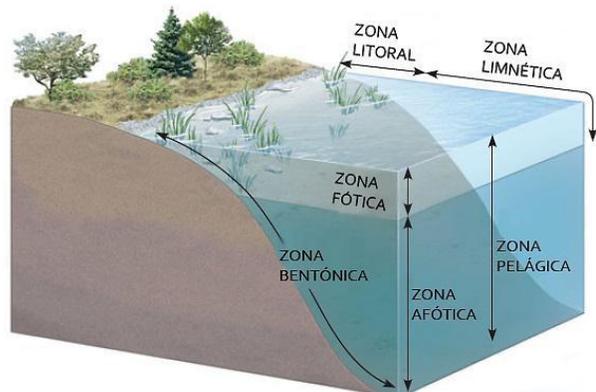


Figura 25. Modelo de zonificación en un cuerpo de agua continental (lago). Posee varias zonas en común con las aguas oceánicas; aquí es la zona fótica en donde se encuentra la mayor variedad de especies acuáticas.

El fitoplancton crece en la zona fótica de los océanos como en agua dulce. En la zona bentónica de los lagos, lagunas y ríos profundos, los organismos que descomponen la materia orgánica muerta que llega ahí, extraen oxígeno disuelto del agua por la respiración, es por eso que en algunos de estos cuerpos de agua, las áreas bentónicas no son aptas para cualquier organismo, excepto los anaerobios (Fig. 26).



Figura 26. Un tramo del Río Grande de San Miguel; nótese la presencia de gran cantidad de sedimento fangoso en el lecho del río. Esto es producto del asolvamiento del cauce, la actividad microbiana y el impacto del hombre, lo que disminuye en gran cantidad el oxígeno disuelto en el agua.

La ecología de las corrientes de agua es muy singular de los demás sistemas acuáticos, generando un hábitat único. El flujo de agua es unidireccional, presenta un estado de cambio físico continuo, con grados de heterogeneidad espacial y temporal a todas las escalas (micro hábitats); los organismos están adaptados para vivir en condiciones fluviales cambiantes.

Las aguas de ríos, riachuelos y otras corrientes de agua pueden tener diversas formas, de un manantial con unos cuantos centímetros de largo a los grandes ríos de cientos de metros o kilómetros de ancho. Por lo tanto, las comunidades de ríos son muy diferentes a las de lagos y estanques (Fig. 27)

En general, la energía del sol, produce cambios en la temperatura de los ecosistemas acuáticos, siendo las aguas superficiales las que poseen

temperaturas más altas en comparación con las aguas más profundas que se mantienen frías.



Figura 27. Río Venado en El Imposible, Ahuachapán. Todas las corrientes de agua como esta, poseen un caudal y cauce singular, dándole un microclima particular con especies adaptadas para vivir en el flujo constante.

La **Termoclina** es una línea o capa estrecha que separa las aguas calientes de la superficie de las aguas mas frías en lo profundo; es un cambio brusco en la temperatura y se da en aguas oceánicas y lagos profundos (Fig. 28).

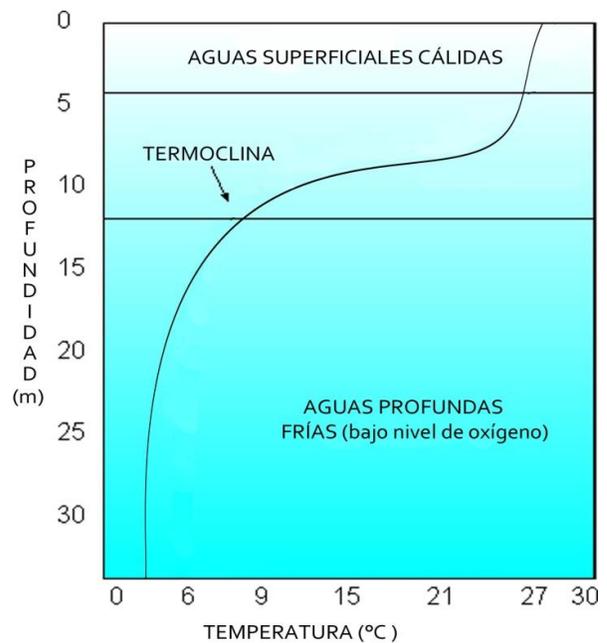


Figura 28. Gráfica que muestra la termoclina como un cambio brusco en la temperatura del agua, debido a que la luz solar solo logra calentar la superficie del cuerpo de agua.

Los estuarios son zonas donde se mezclan el agua salada con el agua dulce. Su salinidad fluctúa

desde la de agua dulce hasta la del océano (Lección 14). Las zonas litorales varían desde marismas (pequeñas pozas de agua atrapada en depresiones de rocas que quedan al bajar la marea), hasta playas arenosas o pedregosas golpeadas por olas (Fig. 29).



Figura 29. Vista aérea de la bocana el Bajón en la Bahía de Jiquilisco, al fondo se divisa el volcán Chichontepec. Este es el sistema estuarino más grande del país. En este cuerpo de agua hay muchas fluctuaciones de salinidad por diversos factores físico químicos, topográficos y antropogénicos.

El sistema estuarino más importante de El Salvador es la Bahía de Jiquilisco, que a la vez es el más grande en extensión. Este sistema alberga a una gran variedad de especies de aves, mamíferos pequeños, reptiles, peces, moluscos, crustáceos y microorganismos, que forman la comunidad estuarina más grande y más compleja del país.

La calidad del agua en los lagos, ríos y demás cuerpos de agua dulce, depende de la zona que rodea la cuenca, además del agua que entra o la profundidad de éste.

Un lago profundo, que posee baja cantidad de sedimentos y nutrientes en el fondo y sus aguas son claras, se considera un lago **oligotrófico**; muchas especies de peces prefieren lagos de este tipo para vivir en ellos por la buena cantidad de oxígeno disuelto que está disponible en el agua. Como ejemplo, tenemos al lago de Coatepeque (Fig. 30).



Figura 30. Detalle de la playa del lago Coatepeque, Santa Ana. Las aguas claras indican poca sedimentación, no hay floraciones algales, lo que indica la presencia de oxígeno disuelto disponible.

Un lago **eutrófico**, es un cuerpo de agua, en general menos profundo, con mayor contenido de nutrientes en su fondo, lo que aumenta las poblaciones de microorganismos fotosintéticos en la zona fótica y de microorganismos anaerobios en la zona bentónica; este fenómeno disminuye al mínimo la cantidad de oxígeno disuelto y como consecuencia no habrá muchas poblaciones de peces que puedan sobrevivir en estas condiciones.



Figura 31. Laguna Chanmico, La Libertad. Este cuerpo de agua presenta gran crecimiento de microorganismos fotosintéticos, lo que le da el color verde al agua e indica gran cantidad de nutrientes disueltos y por ende mucha sedimentación. Esta laguna está en proceso de eutrofización debido en mayor parte por la actividad agrícola y azucarera de la zona.

4. COMUNIDADES TERRESTRES

Para todas las comunidades terrestres, el suelo es el componente abiótico constante en todos los tipos de ecosistemas terrestres. Además, a

diferencia de los océanos, estos ecosistemas son fragmentados en continentes e islas, todo rodeado por los océanos que son una barrera infranqueable para gran número de animales y plantas.

Como resultado de este aislamiento, los organismos se han convertido en algo particular de cada continente o área; estas zonas de flora y fauna se llaman **regiones biogeográficas** (Fig. 32).



Figura 32. Mapa de El Salvador con detalle en relieve de las cadenas montañosas y cuerpos de agua. La geología del país hace que posea sus regiones biogeográficas particulares.

Los principales ecosistemas terrestres se llaman **biomas**, los cuales reciben sus nombres particulares por sus **características físicas y climáticas propias y por su vegetación predominante**.

Los biomas terrestres están estratificados verticalmente en varias capas. Por ejemplo, en un bosque bien definido, la primera capa es la que forman la capa de los árboles más altos del bosque (*dose*l), justo abajo, se encuentra la siguiente capa formada por la cobertura de plantas arbustivas de escasos metros de altura, finalmente esta la capa de herbáceas y la hojarasca a nivel del suelo

Los biomas deben su distribución en gran medida al clima, siendo con frecuencia la temperatura y la precipitación los factores clave para determinar la clase de comunidad terrestre puede existir en una región en particular. El bosque tropical perennifolio (los árboles

conservan sus hojas durante todo el año), es el ecosistema terrestre más diverso del planeta. Un ejemplo de estos bosques, es el bosque El Imposible, en Ahuachapán (Fig. 33).



Figura 33. Vista panorámica del bosque El Imposible, Ahuachapán, este tipo de bosque es un ejemplo de bosque perennifolio o “siempre verde”.

Cada bioma está caracterizado además por los microorganismos, los hongos y los animales que están adaptados a su particular ecosistema. Los biomas no poseen fronteras marcadas entre sí; por otro lado, existen áreas que se consideran fronteras de un tipo de ecosistema a otro llamadas **ecotono** (Fig. 34).



Figura 34. Un ecotono entre manglar y tierra seca. En esta frontera ecológica se encuentran especies de ambos tipos de ecosistema. En la imagen se aprecia el impacto de la agricultura en estas zonas que están siendo deforestadas y marcando una frontera abrupta.

En praderas, sabanas o chaparrales, también hay una estratificación vertical que parte desde las gramíneas más conspicuas, siguiendo con las herbáceas (hierbas de hoja ancha); en el nivel

más bajo está la capa de hojarasca y la última capa, la de raíces.

El establecimiento y desarrollo de las comunidades animales, es favorecida gracias a la estratificación de capas vegetales en los ecosistemas terrestres. Así se tiene a las aves y murciélagos en las capas superiores de los bosques; mamíferos y reptiles en las capas intermedias y una enorme variedad de artrópodos, insectos y microorganismos en la hojarasca y raíces (Fig. 35).

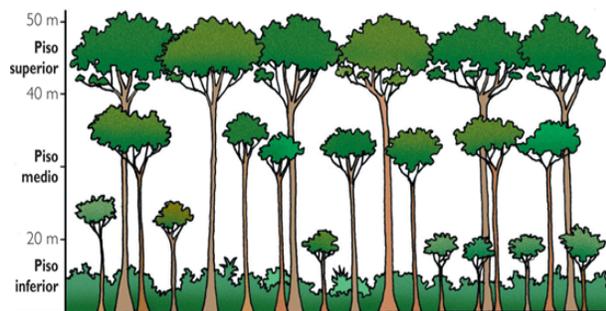


Figura 35. Esquema general de los estratos o capas de la cobertura vegetal de un bosque tropical. En cada estrato existen variedad de organismos adaptaciones para vivir y desarrollarse en su nicho.

El suelo está formado por varias capas dispuestas una encima de la otra, siendo la inferior, la capa de roca madre, mientras que la capa superior la compone la materia orgánica en descomposición (Fig.36).



Figura 36. Un perfil básico de suelo, posee las tres capas diferenciadas que se señalan en la fotografía. Todas son importantes para los biomas.

Por lo tanto, el otro factor que influye en los biomas terrestres es el tipo de suelo. Se sabe que el suelo, es producto de la erosión de rocas y acumulación de capas de limo (por acción del viento, el agua y el hielo), a través de millones de años y los subproductos de plantas y animales que viven sobre y debajo del suelo.

ACTIVIDAD 2. INTEGRADORA CON... Ciencias de la tierra

Para realizar esta actividad, pida a sus alumnos traer muestras de “tierra” no húmeda de distintas zonas a la clase

Materiales: pizarra, pliegos de papel bond o cartulina, marcadores, muestras de suelo (puede llevarlos el docente o estudiantes), recipientes transparentes de vidrio o plástico con capacidad para 500 ml ó más, varillas o agitadores. Lupa o lente de magnificación.

Formar grupos de cuatro cinco integrantes.

Indíqueles que: deben depositar las muestras de suelo en el recipiente seco, posterior a eso, agregar aproximadamente unos 50 ml de agua; con el agitador revolver la mezcla un poco y luego esperar a que las partículas se depositen en el fondo.

Cuando ya estén depositadas pida a sus estudiantes esquematizar las capas que puedan distinguir y analizar el tamaño de las partículas que componen cada capa con la ayuda de la lupa. Pregunte si conocen como se le llama a cada capa que observan. Luego genere un debate entre los grupos formados para sacar conclusiones sobre el tema.



Pueden obtener resultados como el mostrado en la figura anterior. Al fondo esta la arena, luego la capa de limo y la arcilla es la capa superior. Este suelo es franco arenoso, posee tres cuartos de arena y limo y una tercera parte de arcilla. Además puede preguntarles: ¿conocen de que está hecha la capa orgánica del suelo (la llamada “tierra negra”)? ¿Por qué las partículas más grandes se depositaron en el fondo del recipiente? ¿Por qué están ordenadas las capas de esa manera? ¿En cuál capa se almacena el agua? ¿Qué utilidad tiene el hecho de conocer las capas del suelo?

5. PANORAMA SOBRE COMUNIDADES ACUÁTICAS Y TERRESTRES DE EL SALVADOR

Las represas en los ríos producen energía eléctrica para las ciudades lo cual es un beneficio; sin embargo, hay un precio que pagar. Una presa crea grandes cambios en el ecosistema local y también en la flora y fauna del río sobre el que se construirá.

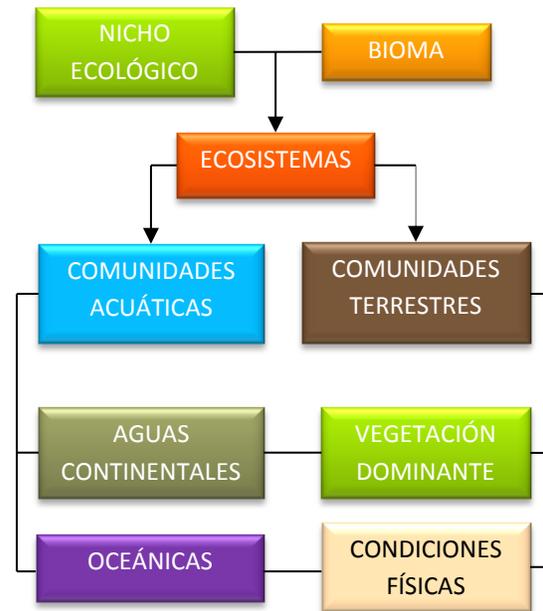
Las represas de El Salvador, están siendo enterradas por los sedimentos que arrastra la escorrentía, lo que disminuye la vida útil de estas cada día menos. La falta de información a la población sobre las consecuencias de una presa, genera conflictos sociales ante la ausencia de un buen estudio ambiental, ni mantenimiento adecuado de represas para garantizar un menor impacto ecológico (Lección 15).

El uso del suelo en el país, es indiscriminado. El perfil de suelo en el territorio es inestable, cubierto en su mayoría por tierra blanca compactada producto de erupciones. Por tanto, el riesgo de desastres como deslizamientos o inundaciones, aumenta sobre todo en áreas urbanas muy pobladas como San Salvador, donde la construcción de viviendas se realiza en terrenos inestables (Fig. 37).



Figura 37. Carretera panamericana, un talud de tierra blanca yace sobre un costado de la calle. Esta enorme capa es la ceniza de la erupción del volcán de Ilopango. En San Salvador, es sobre sustrato inestable el cual descansan todas las construcciones de la capital.

RESUMEN



GLOSARIO

Bioma. Es cualquier región u ecosistema terrestre con sus características físicas y climáticas propias al igual que cuenta con su vegetación predominante.

Biomasa. Materia orgánica, de origen reciente, que haya sido producida por los seres vivos, incluyendo la que conforma sus cuerpos.

Comunidad acuática están presentes en los océanos y todos los cuerpos de agua continental.

Comunidad terrestre presentes en tierra seca, continentes e islas, hay diversos tipos de acuerdo a la zona terrestre que pueblan, que va desde la costa, hasta las zonas montañosas y la atmósfera.

Hábitat es el espacio que reúne los factores abióticos y bióticos adecuados para que una especie o comunidad pueda residir, reproducirse y crecer.

Lago eutrófico, es un cuerpo de agua, en general menos profundo, con mayor contenido de nutrientes en su fondo, lo que aumenta las poblaciones de microorganismos fotosintéticos en la zona fótica y de microorganismos anaerobios en la zona bentónica.

Lago oligotrófico es un lago profundo, posee baja cantidad de sedimentos y nutrientes en el fondo y sus aguas son claras.

Nicho ecológico se define como la suma de los recursos bióticos y abióticos de un entorno determinado y los usos que una especie les da.

Región biogeográfica cada región terrestre del planeta, posee flora y fauna característica y adaptada a las formaciones y accidentes geográficos presentes en esa región.

Simbiosis Cuando los individuos de dos o más especies viven en contacto directo y de forma íntima, se dice que poseen una relación simbiótica.

Sucesión ecológica proceso de regeneración de las comunidades, que resulta de alguna clase de perturbación, se conoce como *sucesión ecológica*.

Si desea enriquecer su conocimiento, consulte:

Flores R., y L. Herrera (2006). *Ecología y Medio Ambiente*. México D.F.: Thompson Learning división Iberoamericana. Extraído en febrero de 2012 de <http://goo.gl/D1Kji>

Kundu H. (2006). *Ecología para millones*. Nueva Delhi; Madrid: New Age Publishers.

Miller T. y S. Spoolman (2009). *Ecología Esencial*. Belmont California: Brooks/Cole, Cengage Learning.

Lección interactiva sobre ecología de comunidades (s.f.). Extraído en Febrero de 2012, de <http://goo.gl/VOoX2>

Lección interactiva sobre el comportamiento animal. (s.f.). Extraído en febrero de 2012, de <http://goo.gl/wAIPp>

Obsolescencia programada, artículo sobre consumismo y ecología. Extraído en febrero 2012, de <http://goo.gl/kp2dR>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. De acuerdo con el siguiente esquema, indica que tipo de sucesión ecológica representa y describe cada etapa o período de la sucesión indicando los principales tipos de vegetales que aparecen en cada uno.



2. ¿Qué tipo de relación guardan las orquídeas con los árboles donde se desarrollan? Explica tu respuesta.

3. ¿Cuál es la principal diferencia entre los ecosistemas oceánicos y los de aguas continentales?

4. ¿Qué es un Bioma?

5. Nombra cinco regiones biogeográficas de El Salvador

6. ¿Cuál es el origen de la llamada “tierra blanca” y porque representa un riesgo construir sobre ese tipo de suelo? Explica tu respuesta.

7. ¿Qué sucederá cuando una represa hidroeléctrica alcance el proceso de eutrofización?

CONTENIDOS

1. Introducción al flujo de energía en los ecosistemas.
 - a. Eficiencia en la transferencia de energía.
2. Ciclos Biogeoquímicos.
 - a. Ciclo del Carbono.
 - b. Ciclo del Nitrógeno.
 - c. Ciclo del Fósforo.
3. Ecosistemas de El Salvador.

INDICADORES DE LOGRO

1. Comprende el flujo de energía que se da en los ecosistemas.
2. Analiza los factores bióticos y abióticos que están involucrados en las cadenas alimenticias.
3. Describe de forma lógica los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y fósforo.
4. Observa de forma crítica los tipos de ecosistemas de El Salvador y su situación actual.

PALABRAS CLAVE

Niveles tróficos, detritívoros, Producción Primaria Bruta, Producción Primaria Neta, Producción Neta del Ecosistema, Biomasa, ciclo Biogeoquímico.

**¿PORQUÉ ES IMPORTANTE?**

Los ecosistemas son entidades dinámicas conexas entre sí y con sus similares, los cuales sólo pueden comprenderse estudiando sus relaciones de flujo de energía y materia. Este análisis de la dinámica ecosistémica conlleva una amplia relación de conceptos físicos y químicos a los modelos biológicos, regidos por las mismas leyes naturales, tales como la termodinámica y los principios de conservación de la materia. En adición, la temática permite comprender cómo los procesos de producción afectan a los sistemas naturales.

DESCRIPCIÓN

Se introduce la dinámica de ecosistemas, analizando como ocurre el flujo de energía en los ecosistemas y repasando distintos conceptos ecológicos. Se introducen nociones de eficiencia energética y productividad biológica. Se describe el flujo de materiales a través de los ciclos biogeoquímicos y su importancia, para finalmente esbozar la clasificación de los ecosistemas locales.

En toda la jerarquización ecológica, existe un flujo continuo de energía, cuya fuente principal proviene de la estrella más cercana a la Tierra: el Sol, el cual la irradia en forma de energía lumínica (Fig. 1).



Figura 1. El sol es la primera y principal fuente de energía del planeta Tierra.

La energía se introduce y fluye a través de los ecosistemas en sujeción a las leyes de la termodinámica. Este flujo de energía y materia se conoce como **dinámica de los ecosistemas**.

Anteriormente se han analizado las relaciones ecológicas que ocurren dentro y fuera de las comunidades; éstas, al organizarse dentro de los niveles tróficos, permiten seguir la pista de las transformaciones energéticas en un ecosistema, y también, el movimiento de los diferentes elementos químicos –materia– (Fig. 2).



Figura 2. Laguna Verde de Apaneca. Este ecosistema acuático inicia su flujo interno de energía con la producción de las plantas y algas en sus aguas.

1. INTRODUCCIÓN AL FLUJO DE ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS

La primera ley de la termodinámica indica que *la energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma*. Las plantas y otros organismos fotosintéticos capturan la energía solar para convertirla en energía química, pero la cantidad total de energía no cambia: la cantidad total de energía almacenada en moléculas orgánicas debe ser igual al total de energía solar interceptada por la planta, menos las cantidades reflejadas y disipadas en forma de calor (Fig. 3).



Figura 3. La fronda de un helecho recibiendo luz para almacenar energía química: se presentan pérdidas, sin embargo, por la reflexión y el calor disipado.

Una de las implicaciones de la segunda ley de la termodinámica indica que *todo intercambio de energía aumenta la entropía del universo*, ya que ninguna conversión de energía es totalmente eficiente, “ningún proceso cíclico puede convertir completamente calor en trabajo”, siempre se pierde cierta cantidad (Fig. 4). Por lo tanto, potencialmente se puede distinguir el flujo de energía desde que es irradiada por el sol, hasta que un organismo disipa la energía como calor.



Figura 4. A la vez que estas gramíneas acumulan energía química, están perdiendo energía en forma de calor disipado al realizar su metabolismo para crecer.

Bajo este concepto, en última instancia, la energía que fluye a través de los ecosistemas se disipa en el espacio en forma de calor, así que si el Sol no continuara con su suministro de energía, la mayoría de los ecosistemas desaparecerían.

Como la energía, *la materia tampoco se crea ni se destruye*; esta es la ley de la conservación de la masa y es tan importante en los ecosistemas como las leyes de la termodinámica (Fig. 5).



Figura 5. Los elementos abióticos como el agua y el suelo, son parte esencial de la conservación de la masa en la dinámica de los ecosistemas.

A diferencia de la energía, los elementos químicos son reciclados constantemente en los ecosistemas. Un átomo de carbono (C) es tomado del aire por una hierba a través en el proceso de la fotosíntesis, que a la vez la consume un herbívoro; posteriormente este átomo de carbono ingresa al suelo en los desechos de este animal. Los descomponedores se encargan de liberar a la atmósfera el carbono como producto de su metabolismo. La medición y el análisis de los ciclos químicos, es un aspecto importante en la conservación de los ecosistemas (Fig. 6).



Figura 6. El humus es materia orgánica descompuesta por los descomponedores, de esta manera el carbono vuelve al suelo para ser usado nuevamente.

En términos de pérdidas, algunos elementos vuelven a la atmósfera en forma de gas, otros salen del ecosistema llevados por las corrientes de agua. Al igual que los organismos, los ecosistemas son sistemas abiertos absorbiendo la energía y masa, al tiempo que liberan calor y productos residuales (Fig. 7).



Figura 7. En este bosque la energía química fluye de manera tal que existe pérdida de ésta por diversos factores abióticos y bióticos, liberándose en forma de calor.

Las cantidades de materia ganada o perdida, son pequeñas comparadas con la cantidad de materia reciclada dentro de los ecosistemas; sin embargo, el equilibrio de la entrada y salida de un mineral, determina si un ecosistema es una fuente o un sumidero de ese elemento. Si las salidas de un nutriente son mayores que las entradas, con el tiempo se limitan la producción de ese nutriente en el ecosistema. Las actividades humanas a menudo cambian el balance de entrada y salida de nutrientes considerablemente (Fig. 8).



Figura 8. La dinámica de los diversos ecosistemas del planeta, depende en gran medida del reciclaje de la materia, que a su vez limita la producción de cada uno de ellos.

En la ecología se agrupa a los organismos en base a su principal fuente de alimento y energía en *niveles tróficos*. El nivel trófico que sustenta a todos los demás, está conformado por los autótrofos; este grupo es conocido por el nombre de *productores primarios* (Fig. 9).

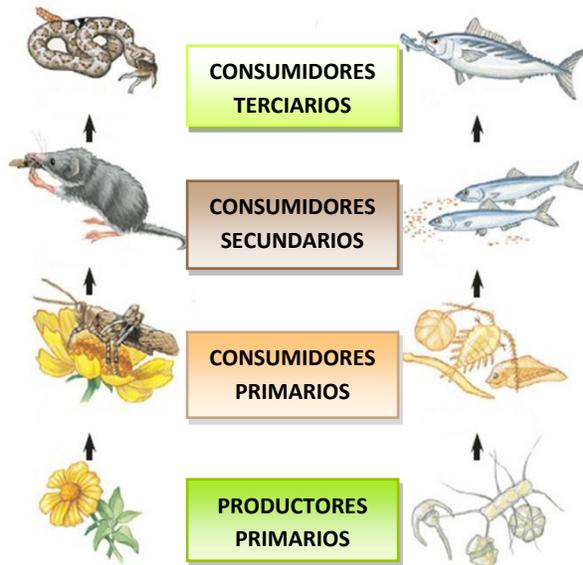


Figura 9. Esquema de los niveles tróficos. Los productores primarios son la base donde descansan los demás niveles en los ecosistemas terrestres y marinos.

Los organismos fotosintéticos, son la mayoría de los autótrofos que utilizan la energía del sol para fabricar azúcares y otros compuestos orgánicos que luego usan como combustible para su respiración celular y como material estructural para su crecimiento (Fig. 10).

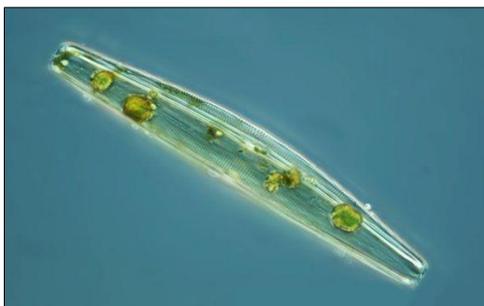


Figura 10. Micrografía de una diatomea, microalga fotosintética, es productor primario de los ecosistemas oceánicos.

Los organismos procariontes quimiosintéticos son los principales productores primarios en los

ecosistemas donde la luz es nula, como en aguas profundas, chimeneas hidrotermales oceánicas, los lugares profundos bajo tierra o el hielo.

Aquellos niveles tróficos superiores a los productores primarios, dependen directa o indirectamente de la salida de los autótrofos para obtener su fuente de energía; estos organismos son los heterótrofos. Los herbívoros son los *consumidores primarios*. Los carnívoros que se alimentan de herbívoros, son los *consumidores secundarios*; los carnívoros que se alimentan de otros carnívoros y herbívoros por igual, son los *consumidores terciarios* (Fig. 11).



Figura 11. Estas bacterias del género *Bacillus* sp. son procariontes autótrofos que viven en la profundidad del océano junto a chimeneas termales submarinas.

Los *detritívoros* o *descomponedores*, son otro grupo de heterótrofos, que obtienen su energía a partir de detritos. El detrito o *detritus* es materia orgánica no viva, como restos de organismos muertos, excremento, hojas caídas y madera. Los descomponedores son devorados muchas veces por parte de los consumidores primarios, secundarios y terciarios (Fig. 12).



Figura 12. El "zopilote" (*Coragyps atratus*) y el hongo ascomiceto son detritívoros que a su vez son consumidos por mamíferos u otro consumidor.

Dos grupos significativos de los detritívoros son los procariotas y hongos. Estos organismos al consumir la materia orgánica, forman el vínculo o conexión de los consumidores y productores primarios de los ecosistemas; por ejemplo, en un bosque las aves comen lombrices de tierra que se alimentan de la hojarasca y procariotas y hongos asociados (Fig. 13).



Figura 13. Fotografía de una cochinilla de la humedad (*Armadillidium vulgare*). Un crustáceo que vive en la hojarasca alimentándose del detritus.

Los detritívoros convierten toda la materia orgánica de los demás niveles tróficos en compuestos inorgánicos que pueden ser usados por los productores primarios, cerrando así el ciclo de reciclaje químico. Si este reciclaje se detuviera, *la vida desaparecería* sin suministro de compuestos inorgánicos necesarios para sintetizar materia orgánica nueva (Fig. 14).



Figura 14. Un esquema representando la idea del papel de los detritívoros en todo el planeta; sin ellos no se tendría materia orgánica disponible para los demás organismos.

En efecto, la transferencia de energía se da en las interacciones de las diferentes comunidades de organismos que componen los ecosistemas, que se analizaron en la Lección 12. La cantidad de luz solar convertida a energía química (almacenada en compuestos orgánicos) por los autótrofos en un período de tiempo determinado, es la *producción primaria* de un ecosistema (Fig. 15).



Figura 15. Una milpa con su cosecha. La producción primaria de este cultivo, resulta en la energía química almacenada en cada grano de maíz.

Dado que los consumidores adquieren su energía orgánica de segunda mano (tercera, o incluso cuarta mano) a través de las redes alimenticias, se concluye que la producción fotosintética establece los límites en el flujo de energía para todo el ecosistema (Fig. 16).



Figura 16. En los sistemas terrestres o acuáticos como el lago de Güijja, necesitan de la producción fotosintética de los autótrofos para que la energía fluya a través del ecosistema.

Cada día, la atmósfera terrestre es bombardeada con radiación proveniente del sol con un valor de 3.8×10^{23} Kilowatts, la cual es absorbida,

reflejada o dispersada por las nubes y el polvo en la atmósfera. La intensidad de la radiación varía con la latitud terrestre, por ello, los trópicos son las zonas geográficas que reciben la mayor cantidad de esta radiación (Fig. 17).

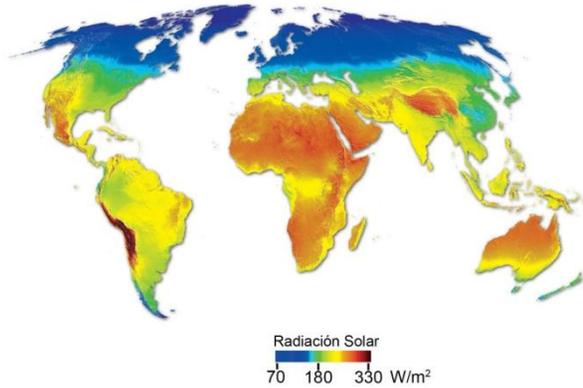


Figura 17. Mapa mundial mostrando la radiación solar que incide en la Tierra. Las latitudes cercanas al Ecuador como nuestro país, reciben la mayor cantidad de luz diariamente.

Gran parte de la luz solar incide en materiales que no son fotosintéticos, como el suelo o el hielo. De la radiación que llega a los organismos fotosintéticos, solo ciertas longitudes de onda son absorbidas por los pigmentos que poseen y el resto es reflejada, transmitida o se pierde en forma de calor. Solamente alrededor de un 1% de la luz visible del sol es convertida en energía química por los organismos fotosintéticos (Fig. 18).

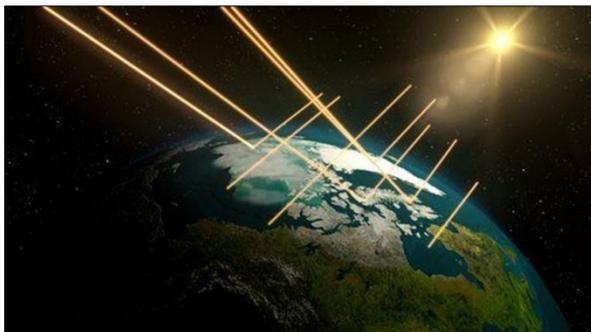


Figura 18. Representación de la luz solar reflejada por el hielo del polo norte. Al índice de reflexión de la luz, se le llama albedo.

El total de la producción en un ecosistema es llamada **Producción Primaria Bruta** (PPB), es la cantidad de energía solar convertida a energía química en moléculas orgánicas por unidad de

tiempo. No toda esta producción se logra almacenar en materia orgánica por los productores primarios, ya que deben usar algunas de esas como combustible para la respiración celular. La **Producción Primaria Neta** (PPN) es igual a la producción primaria bruta menos la energía utilizada por los productores primarios para su “respiración autotrófica” (R_a).

$$PPN = PPB - R_a$$

En promedio la PPN es aproximadamente la mitad de la PPB. Esta medida es clave en la ecología, ya que representa la cantidad de energía química almacenada que estará disponible para todos los demás organismos consumidores (Fig. 19).



Figura 19. El sapo *Bufo marinus* y la serpiente *Boa constrictor* son consumidores, sin embargo su alimento depende de la producción primaria neta para tener disponibles a sus respectivas presas.

La PPN se expresa como energía (Joule –J–) por unidad de área, por unidad de tiempo ($J/m^2 \text{ año}$), también como la biomasa (materia vegetal) añadida por unidad de área, por unidad de tiempo ($g/m^2 \text{ año}$). No debe confundirse la PPN con la biomasa de autótrofos presente; la PPN es la cantidad de *biomasa nueva* agregada en un período de tiempo determinado (Fig. 20).



Figura 20. Semilla de dicotiledónea germinando. Esta es biomasa nueva agregada, conformada por la materia vegetal

Los bosques tropicales son los ecosistemas terrestres más productivos que contribuyen con

gran parte de la PPN del planeta. Estuarios y arrecifes de coral también aportan una cuota grande de PPN, pero su contribución al total global es pequeña debido a que estos cubren apenas una décima parte del área cubierta por bosques tropicales (Fig. 21).



Figura 21. Parque Nacional Canaima, Venezuela. Bosques tropicales como este son los ecosistemas más productivos de todo el planeta contribuyendo a la alimentación mundial de los demás organismos.

Por otro lado, la enorme superficie que cubren los ecosistemas oceánicos aporta, en conjunto, cerca del 46% de la productividad primaria global, siendo tan importantes como todos los bosques de la Tierra. A pesar de ello, ya que la mayoría de autótrofos oceánicos son microalgas, su contribución a la biomasa autótrofa es de apenas 0.2% del total global (Fig. 22).



Figura 22. Los Cóbanos, Sonsonate. Los arrecifes de coral de todo el planeta también aportan una gran cantidad de biomasa para los ecosistemas marinos.

Ahora, la **Producción Neta del Ecosistema** (PNE) se define como la *biomasa total acumulada* durante un tiempo dado. Es decir, se define como la PPN menos la “respiración total” (R_T) de todos los organismos en el sistema, no solo los productores primarios (como para calcular la PPN), sino también, descomponedores y otros heterótrofos.

$$PNE = PPB - R_T$$

La PNE, es muy útil para los investigadores porque su valor determina si un ecosistema está ganando o perdiendo carbono a lo largo del tiempo.

Para estimar la PNE, comúnmente se mide el flujo neto de CO_2 o de O_2 que entra o sale del ecosistema. Si hay más entrada de CO_2 que salida del mismo, entonces hay almacenamiento de carbono; además, cuando los organismos liberan O_2 por su respiración celular o fotosíntesis, también se almacena carbono.

Producción primaria en ecosistemas acuáticos

En los ecosistemas acuáticos (marinos y continentales) la luz y los nutrientes son importantes para controlar la producción primaria (Fig. 23).



Figura 23. La incidencia de luz en el agua y los nutrientes disueltos son los que generan la producción primaria en esta alga marina en la fotografía. Y uno de sus productos es el O_2 que se desprende en forma de burbujas que se pueden observar.

Aproximadamente la mitad de la radiación solar es absorbida en los primeros 15 m de agua. Incluso en el agua más clara, sólo el 5 al 10% de la radiación puede alcanzar una profundidad de 75 m.

Los nutrientes son un factor limitante en la producción de los océanos; a menudo el fósforo (P) o nitrógeno (N) se encuentra en baja cantidad en la zona fótica debido a que es absorbido rápidamente por el fitoplancton y zooplancton.

En caso contrario, cuando el aporte de nitrógeno y otros nutrientes es excesivo en las masas de agua, ocurre una floración de microalgas (un aumento exponencial en las poblaciones del fitoplancton); entre ellas, las floraciones algales nocivas (FAN) que son conocidas vulgarmente como “mareas rojas” (Fig. 24).



Figura 24. *Gymnodinium catenatum*. Estas microalgas asociadas a la producción de toxinas paralizantes, pueden tener un aumento acelerado en sus poblaciones al encontrarse con abundantes nutrientes disueltos en el agua.

Además, en aguas continentales como lagos, las floraciones algales, son una señal clara de la eutrofización de estos cuerpos de agua. Investigaciones demuestran que es el fosfato el causante de las floraciones de cianobacterias en estos casos.

Producción primaria en ecosistemas terrestres

La temperatura y la humedad son los principales factores que controlan la producción primaria en los ecosistemas terrestres a escala regional y

global. Los ecosistemas de baja producción son por lo general, cálidos y secos, como los desiertos o también demasiado fríos, como la tundra. Entre estos climas extremos, están los bosques templados y pastizales con clima moderado y de productividad intermedia (Fig. 25).

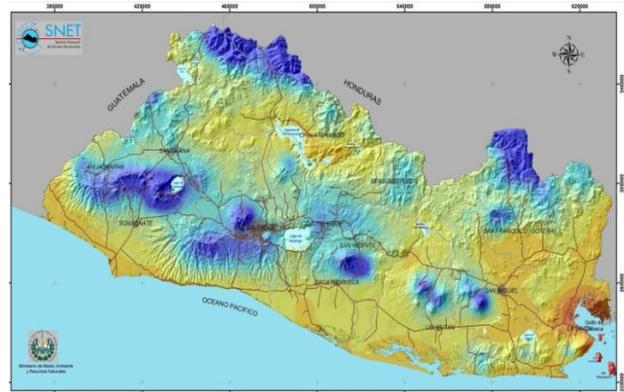


Figura 25. Mapa de las temperaturas promedio en El Salvador. Los colores azul y celeste son temperaturas cerca de los 10°C; los colores amarillo y rojo son temperaturas mayores de 20°C. Nótese la relación de la temperatura con las zonas boscosas del país como la cadena volcánica.

Los factores climáticos de humedad y temperatura son útiles para medir la PPN de los ecosistemas terrestres. La producción primaria es grande en zonas muy húmedas. Otro factor útil para medir es la **evapotranspiración real**, que es la cantidad total de agua transpirada por las plantas y la evaporada de toda la cobertura vegetal (Fig. 26).

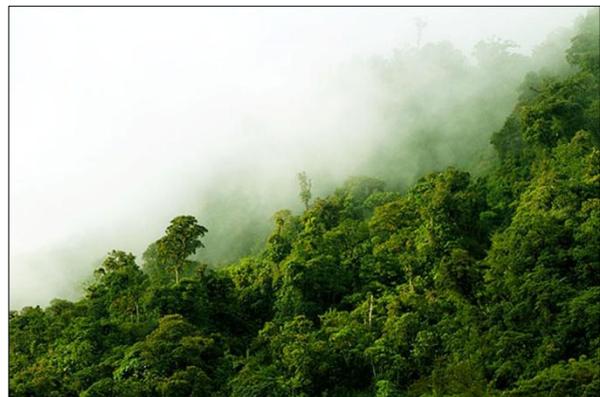


Figura 26. Lo que aparenta ser una nube “bajando a recoger agua” en realidad es evapotranspiración de los árboles al liberar gases a la atmósfera. La nube es formada cuando la temperatura es baja y los gases se condensan rápidamente a medida van ascendiendo y no descendiendo como se cree.

Al igual que los ecosistemas acuáticos, el fósforo y el nitrógeno son los minerales que más limitan la producción en los ecosistemas terrestres. A nivel mundial, el nitrógeno es el que limita en mayor parte el crecimiento vegetal; el fósforo frecuentemente limita a los suelos más antiguos cuyas moléculas de fosfato han sido lixiviadas por el agua.

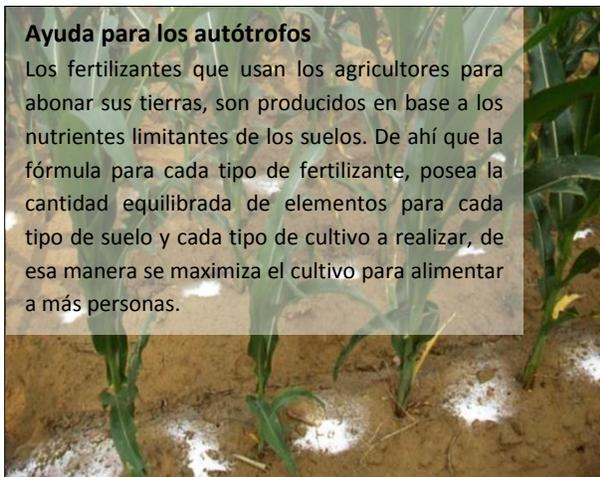
La relación mutualista entre las raíces de las plantas y bacterias fijadoras de nitrógeno es una adaptación de los vegetales para aumentar la absorción de nutrientes (Fig. 27). Otra asociación importante son las micorrizas entre raíces de plantas y hongos que suministran fósforo y otros nutrientes. Hay una relación entre la PPN y la precipitación media anual.



Figura 27. Dos ejemplos de mutualismo. A: entre vegetales y hongos (micorrizas). B: entre vegetales y procariontas (nódulos de *Rhizobium*). Estas asociaciones son esenciales para la producción primaria.

Ayuda para los autótrofos

Los fertilizantes que usan los agricultores para abonar sus tierras, son producidos en base a los nutrientes limitantes de los suelos. De ahí que la fórmula para cada tipo de fertilizante, posea la cantidad equilibrada de elementos para cada tipo de suelo y cada tipo de cultivo a realizar, de esa manera se maximiza el cultivo para alimentar a más personas.



a. Eficiencia en la transferencia de energía

La cantidad de energía química en los alimentos de los consumidores que se convierte en su biomasa por un periodo dado, se llama *producción secundaria* del ecosistema. En la mayoría de los ecosistemas, los herbívoros consumen solo una parte de la materia vegetal producida, aproximadamente una sexta parte de la producción total de las plantas a nivel mundial (Fig. 28).



Figura 28. Este saltamontes, a pesar de consumir gran cantidad de materia vegetal, la biomasa que puede llegar a ganar es mínima. El resto de la energía es gastada para su metabolismo.

Además, el herbívoro no digiere todo el material vegetal que se come. La mayor cantidad de la producción de un ecosistema es consumida eventualmente por los detritívoros (Fig. 29).



Figura 29. Lombrices de tierra. Son estos anélidos junto con otros detritívoros quienes disponen finalmente de la mayor parte de materia orgánica disponible en los ecosistemas.

Tómese como ejemplo la producción secundaria de un organismo, como la oruga. Al comer una hoja, solamente utiliza aproximadamente 33J de los 200J de energía potencial en la hoja, para la producción secundaria o crecimiento. Utiliza parte de su energía almacenada en compuestos orgánicos, para su respiración celular y el resto pasa a las heces. La energía contenida en las heces, se mantiene temporalmente en el ecosistema, pero la mayoría de esta se pierde en forma de calor cuando las heces son consumidas por los detritívoros (Fig. 30).

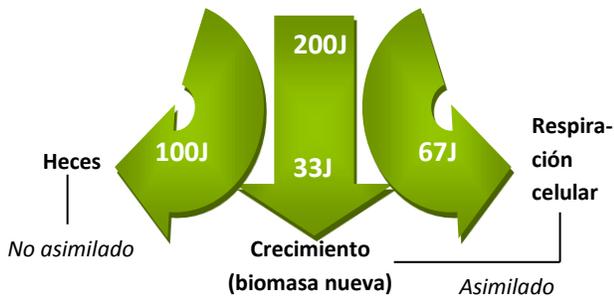


Figura 30. Esquema descriptivo sobre la energía que toma una oruga al comer una hoja, así como la pequeña parte que llega a utilizar para producción secundaria o crecimiento, la demás se pierde como heces y calor.

La energía usada para la respiración de la oruga eventualmente también se pierde en forma de calor. Esta es la razón por la cual la energía no fluye de manera cíclica a través de los ecosistemas; solo la energía química almacenada en moléculas orgánicas producida por los herbívoros como biomasa para el crecimiento o producción de crías, está disponible para alimento de los consumidores secundarios.

Se puede medir la eficiencia de los animales como transformadores de energía utilizando la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{PSN}{APP} 100\%$$

Donde: PSN = Producción Secundaria Neta

APP = Asimilación de la Producción Primaria

La producción secundaria neta (PSN) es la energía almacenada en la biomasa representada por el crecimiento y la reproducción del organismo. La asimilación consiste en la energía total recogida, sin incluir la desechada en las heces, usada para el crecimiento, la respiración y reproducción (Fig. 31).



Figura 31. Este ejemplar de mapache (*Procyon lotor*) necesita alimentarse para obtener la energía necesaria que le permita crecer y desarrollarse.

Por tanto, la eficiencia de producción es el porcentaje de la energía almacenada en los alimentos asimilados, que no es usada para la respiración.

Aves y mamíferos típicamente tienen una baja eficiencia en la producción, con un rango de 1 a 3%, debido a que usan mucha energía para mantener su temperatura corporal constante (*endotermos*). Los peces que adecuan su temperatura a la del ambiente circundante (*ectotermos*) tienen una eficiencia de un 10%. Los insectos y microorganismos poseen una eficiencia mayor, aproximadamente un 40% o más (Fig. 32).



Figura 32. Una “tilapia”. Los peces son vertebrados que tienen eficiencia de energía mayor a las aves y mamíferos.

La eficiencia en los niveles tróficos es el porcentaje de producción transferida desde un nivel al siguiente. La *eficiencia trófica* debe ser siempre menor que la eficiencia de producción, ya que se toma en cuenta la pérdida de energía a través de la respiración y las heces, además, de la energía contenida como materia orgánica que no es consumida en el siguiente nivel trófico (Fig. 33).

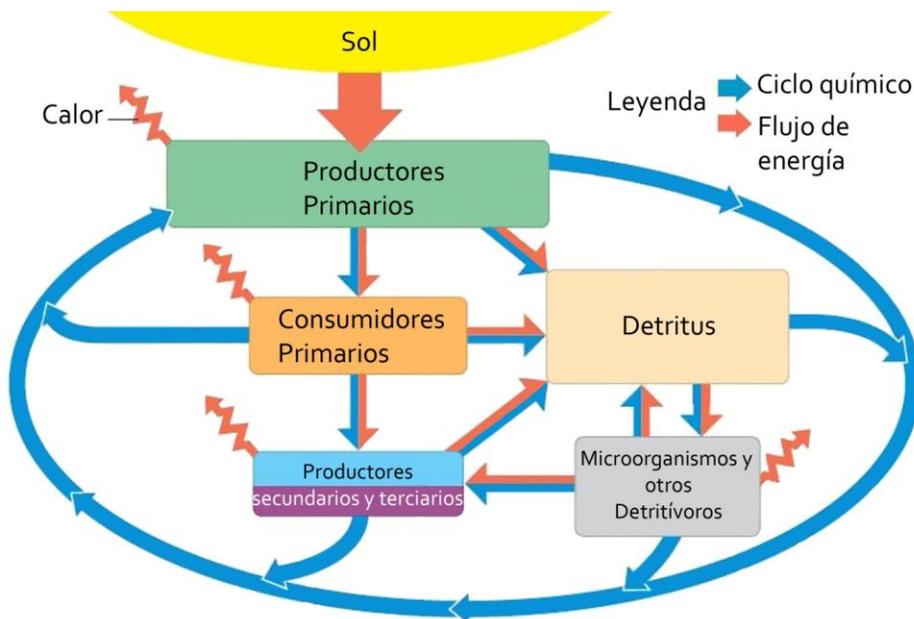


Figura 33. Modelo del flujo de energía en un ecosistema, con sus relaciones entre los distintos tipos de alimentación de los organismos. Involucra el reciclaje de los elementos químicos y la pérdida de energía liberada en forma de calor a la atmósfera.

En otras palabras, el 90% de la energía disponible en un nivel trófico, *no* es transferida al siguiente; esta pérdida se multiplica por el tamaño de la cadena alimenticia. Por ejemplo, si el 10% de la energía disponible se transfiere a los consumidores primarios como la oruga y el 10% de esa energía pasa a los consumidores secundarios, entonces solo un 1% de PPN estaría disponible para estos (10% del 10%).

La pérdida progresiva de energía a lo largo de la cadena alimenticia, limita la abundancia de carnívoros que un ecosistema pueda soportar. Solamente un 0.1% de la energía fijada en la fotosíntesis alcanza a fluir en la red trófica hasta los consumidores terciarios, como una serpiente

o un tiburón (Fig. 34). Esto explica porque la mayoría de las cadenas alimenticias incluyen cuatro o cinco niveles tróficos (Fig. 35).



Figura 34. El “gato zonto” (*Felis yagouaroundi*) es un consumidor secundario cuya población es muy escasa en el país. Este es un ejemplo de la limitante que poseen las cadenas alimenticias.



Figura 35. Un ejemplo de red trófica para un ecosistema acuático, en este caso una laguna. Nótese el flujo de energía lineal, mientras la materia orgánica circula en cada nivel que se interrelaciona con los demás y los organismos involucrados en cada uno.

La pérdida de energía en la cadena alimenticia se puede representar por una *pirámide de producción neta* que ordena los niveles tróficos. El tamaño de cada nivel es proporcional a la producción neta (en Joules –J–). El nivel más alto representado por los depredadores, posee pocos individuos. Por esta razón los depredadores tienden a ser más vulnerables a la extinción al ser poblaciones pequeñas (Fig. 36).

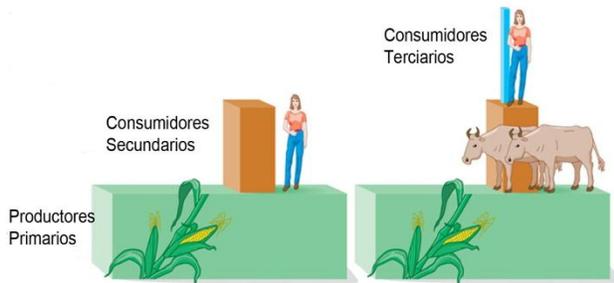


Figura 36. Esquema sobre los niveles tróficos, donde el aprovechamiento de la energía decae a medida que los consumidores son secundarios o terciarios.

2. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Aunque la mayoría de los ecosistemas reciben abundante energía proveniente del sol, los elementos químicos están presentes en cantidades limitadas. La vida depende entonces, del reciclaje de los elementos químicos esenciales. El capital químico de los organismos es sustituido a medida que los nutrientes son asimilados y se liberan productos de desecho al ambiente.

Cuando el organismo muere, los átomos en las moléculas complejas regresan en compuestos más simples a la atmósfera, el suelo o el agua, por acción de los descomponedores.

La descomposición completa repone las reservas de nutrientes inorgánicos que plantas y otros autótrofos usan para convertirlos en materia orgánica.

Los movimientos cíclicos de materiales inorgánicos, desde los factores abióticos hacia cuerpos bióticos, y de estos últimos hacia los primeros, son llamados **ciclos biogeoquímicos**.

Tales procesos se repiten una y otra vez en la naturaleza de forma interminable (Fig. 37).

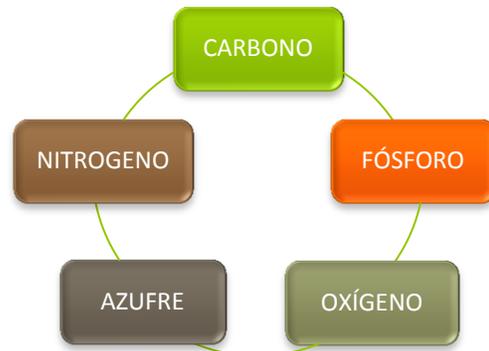


Figura 37. Esquema de los principales elementos en la naturaleza que están relacionados entre sí, en los ciclos biogeoquímicos.

La ruta específica de un elemento a través de un ciclo biogeoquímico depende del elemento y la estructura trófica del ecosistema.

Para explicar cómo ocurre el flujo de nutrientes, se enfocarán tres elementos esenciales: el carbono, nitrógeno y fósforo, ya que el ciclo del agua se explicará en detalle más adelante; estos ciclos son considerados globales. Por ejemplo, algunos átomos de carbono y oxígeno en forma de CO_2 que toma una planta, pudieron haber sido liberados por la respiración de un organismo en un lugar muy distante. En ecosistemas acuáticos estos elementos se encuentran disueltos en las corrientes de agua dulce o marina (Fig. 38).



Figura 38. Una sección de suelo con gramínea. Los pastos son uno de los organismos autótrofos terrestres que captan grandes cantidades de CO_2 de la atmósfera para fijarlo como materia orgánica en su estructura.

a. Ciclo del Carbono

Este elemento puede encontrarse en forma gaseosa en el aire como dióxido de carbono, o en forma sólida en los suelos en forma de carbonatos, en estado de elemento inorgánico, además, ser producto fósil almacenado como petróleo, carbón mineral o turba (Fig. 39).



Figura 39. Modelo del ciclo del Carbono en la naturaleza. Se involucra varios ecosistemas terrestres y marinos, además, la actividad humana, también ha modificado la circulación del Carbono, aumentando los niveles de CO₂ en la atmósfera. Es fijado en gran cantidad por el fitoplancton de los océanos, por los organismos terrestres fotosintéticos.

El carbono forma el esqueleto de las moléculas orgánicas esenciales para todos los organismos; esta es la importancia biológica del elemento. La mayor reserva de carbono en la naturaleza se encuentra en las rocas sedimentarias y en la roca caliza (Fig. 40).



Figura 40. Una muestra de petróleo, aceite cuya estructura molecular está formada básicamente de carbono. Los yacimientos de petróleo son uno de los mayores reservorios.

El fitoplancton y las plantas remueven gran cantidad de CO₂ de la atmósfera cada año. Esta cantidad es aproximadamente igualada con la adición del CO₂ por la respiración celular de los productores y consumidores (Fig. 41).

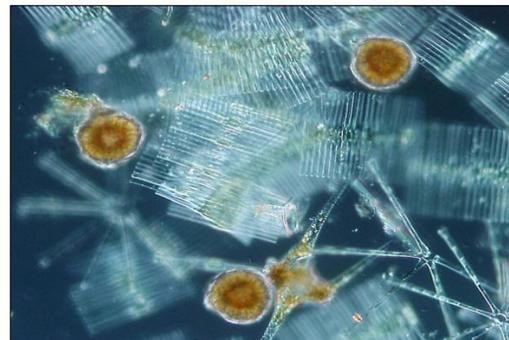


Figura 41. Fitoplancton marino. Estos autótrofos producen gran cantidad de oxígeno a la atmósfera, al capturar CO₂ para transformarlo en sus azúcares esenciales para vivir.

La quema de combustibles fósiles y madera suma una cantidad muy significativa de CO_2 adicional a la atmósfera. Con el tiempo geológico, los volcanes también son una fuente importante de producción de CO_2 al hacer erupción (Fig. 42).



Figura 42. Erupción del volcán Ilimatepec en 2005. Esta nube lanzó grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera, como parte de los ciclos geológicos.

b. Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno es parte de los aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos. A menudo es un nutriente escaso para los organismos.

Las plantas asimilan dos formas inorgánicas de nitrógeno: el amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-). Algunas especies de bacterias aprovechan también los nitritos (NO_2^-); mientras que los animales solo pueden asimilar en nitrógeno en sus formas orgánicas ya mencionadas (Fig. 43).



Figura 43. El frijol es una leguminosa que asimila los nitratos del suelo con la ayuda de las bacterias nitrificantes.

La principal reserva de nitrógeno del planeta es la atmósfera, la cual es 80% de gas nitrógeno libre (N_2). Las otras reservas son los suelos, los

sedimentos en lagos, ríos y océanos; el agua superficial y mantos subterráneos, así como la biomasa de los organismos vivos.



Figura 44. La atmósfera es el mayor reservorio de nitrógeno, donde es fijado al suelo por medio de los relámpagos ocurridos en las tormentas.

La principal vía de entrada del nitrógeno en los ecosistemas es a través de la *fijación*: proceso de conversión de N_2 a compuestos que pueden ser sintetizados de manera orgánica. Los relámpagos y ciertas bacterias fijan el nitrógeno al suelo de forma natural.

Las aportaciones de nitrógeno por causa de actividad humana, ya superan los aportes naturales de la Tierra. Los fertilizantes nitrogenados y los cultivos de leguminosas que fijan el elemento a través de bacterias en los nódulos de las raíces son las actividades que contribuyen más a este fenómeno (Fig. 45).



Figura 45. Uno de los problemas con los fertilizantes, es la eutrofización de los cuerpos de agua; en la imagen se observa la muerte de un lago debido a la floración algal causada por fertilizantes agrícolas.

Algunas bacterias realizan la *desnitrificación* (la reducción de nitratos a nitrógeno en forma de gas) hacia la atmósfera. Las actividades humanas

también liberan gran cantidad de óxido de nitrógeno a la atmósfera (Fig. 46).

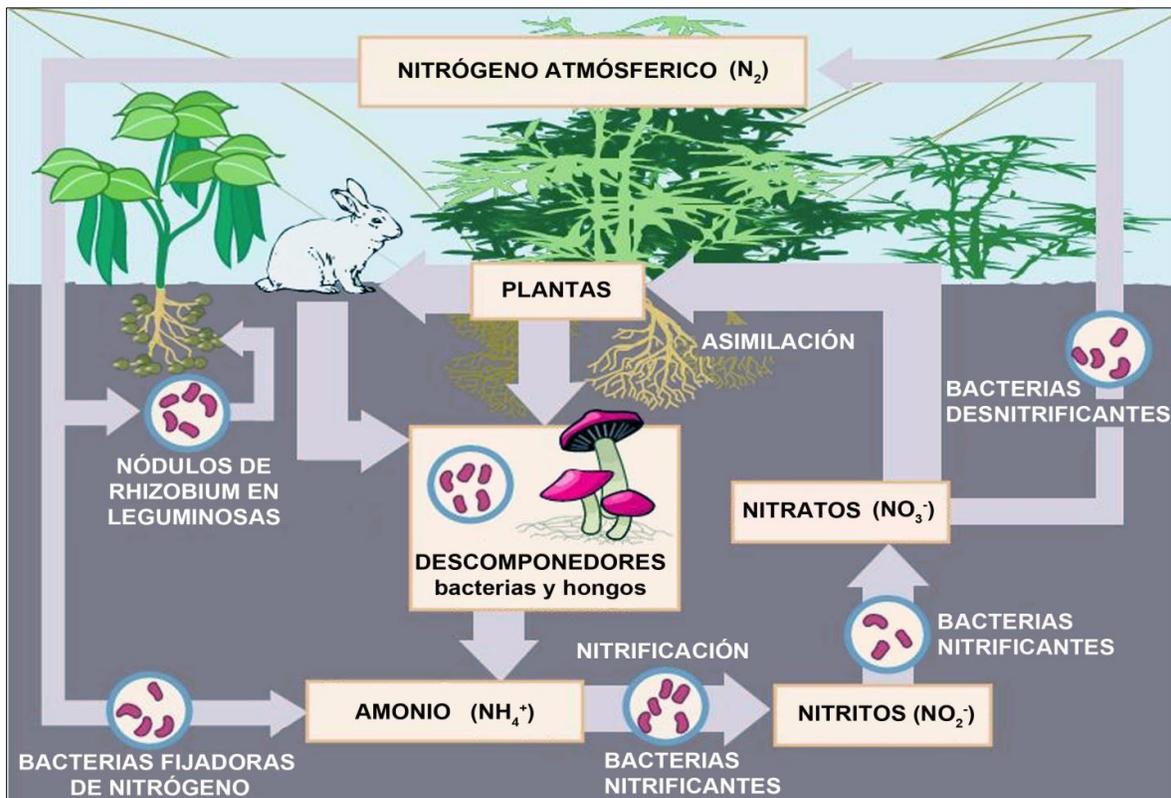


Figura 46. El ciclo del nitrógeno en la forma más común de circulación, a través de la fijación por acción bacteriana y la asimilación de plantas y animales, también la liberación como producto metabólico de bacterias desnitrificantes.

c. Ciclo del Fósforo

Los organismos requieren el fósforo como constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, de ATP y otras moléculas que almacenan energía, así como mineral que forma parte de huesos y dientes.

ACTIVIDAD 1. (Tiempo: 1 hora)

Para esta actividad los estudiantes deben traer productos de cocina, materiales comestibles. Organice grupos de cuatro miembros y pídale que lleven a la clase lo siguiente con uno o dos días de anticipación.

Materiales: frutas y verduras (las que el estudiante pueda llevar); sal, achiote, ajo, productos lácteos como queso o leche u otros, pan (puede ser francés, dulce o integral), si es conveniente una muestra de carne de res o pollo, plantas que sean comestibles y que estén al alcance del alumno como izote, pacaya, orégano, yogurt.

Indíquese que: se reúnan los grupos con sus materiales, que analicen cada muestra, construyan una tabla

indicando a qué tipo de organismo corresponde cada alimento que han llevado; si proviene de un productor primario (plantas) o de consumidores primarios, secundarios o terciarios (productos de origen animal). Luego de construir la tabla que el grupo forme una red trófica a partir de los organismos que lograron identificar en su análisis. Finalmente que el grupo discuta sobre el impacto del hombre en las redes tróficas y muestren en cual grupo de organismos se ubica el humano. Cada grupo presente sus resultados al resto de la clase.

Para indagar con los estudiantes, puede hacer preguntas al final de todas las presentaciones como: *¿por qué son importantes las redes tróficas? ¿De qué maneras influye el flujo de energía y materia orgánica en nuestra vida diaria? ¿Qué elementos químicos están presentes en nuestra comida diaria? ¿Forma parte de las redes tróficas el ser humano? ¿Cómo influye la agricultura y la industria en el flujo de energía en los ecosistemas? ¿de que manera se recicla la materia orgánica en la naturaleza y cuales organismos son los encargados de reciclar?*

Biológicamente la forma inorgánica más importante del fósforo es el fosfato (PO_4^{3-}), el cual absorben las plantas y lo usan para formar compuestos orgánicos (Figura 47).



Figura 47. El limón, un producto de origen vegetal cuya planta almacena en su fruto fosfatos que toma del suelo como el fosfato de potasio.

El fósforo se encuentra en grandes cantidades en rocas sedimentarias marinas, en el suelo, en los océanos (de forma disuelta) y en los organismos.

La erosión de las rocas va añadiendo poco a poco el fósforo en los suelos que a su vez se filtra en las aguas subterráneas y superficiales, hasta llegar al océano.

Los fosfatos son asimilados por los organismos productores y se incorporan a moléculas orgánicas que luego son ingeridas por los consumidores (Fig. 48). El fosfato vuelve al suelo ya sea por descomposición de la biomasa o la excreción de los consumidores.



Figura 48. Leche. Este producto de origen animal contiene en su estructura molecular fosfato de calcio en cantidad considerable, el cual es asimilado por otros organismos.

El fósforo está en cantidades relativamente pequeñas moviéndose en la atmósfera, por lo

general en forma de partículas de polvo o el rocío del mar.

La descomposición de estos elementos, es controlada por los mismos factores que limitan la producción primaria en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Estos incluyen la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes. Los descomponedores crecen con mayor rapidez y descomponen materia más rápido en ecosistemas cálidos. En bosques tropicales, la mayoría de materia orgánica es descompuesta en razón de algunos meses a algunos años. En climas templados este proceso se da en promedios de cuatro a seis años.

En ecosistemas acuáticos la descomposición en los fangos anaeróbicos puede tardar 50 años o más (Fig. 49).



Figura 49. Los organismos descomponedores, asimilan los fosfatos que la materia orgánica del suelo les provee. En ecosistemas como bosques tropicales, hay una enorme cantidad de hongos y bacterias que aceleran el reciclaje de esta materia en poco tiempo.

Los sedimentos de fondo son comparables a la capa de detritus en la corteza terrestre, sin embargo, algas y plantas suelen tomar los nutrientes directamente del agua, lo que causa un sumidero de nutrientes al fondo.

Cuando los fondos acuáticos interactúan con las corrientes de agua superiores (surgencias), ocurre una explosión de producción en estos ecosistemas por aumento de nutrientes (Fig. 50).

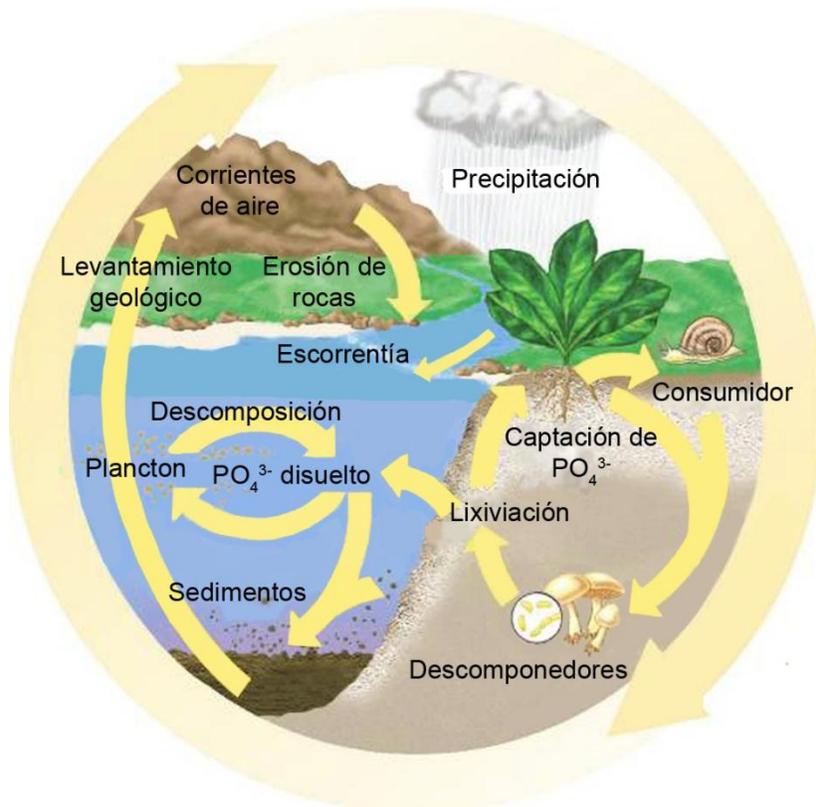


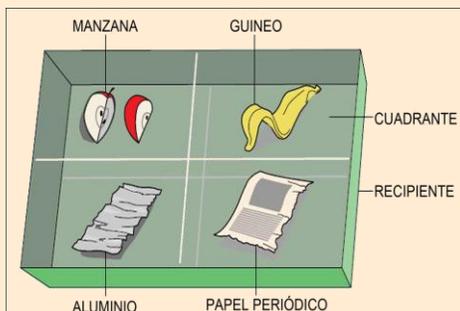
Figura 50. El fósforo es un elemento que circula a través de la acción geológica, así como el metabolismo de los organismos detritívoros y los procariontes. Esencial en la naturaleza por formar parte de moléculas importantes para sustentar la vida de los autótrofos y los consumidores primarios, secundarios y terciarios.

Actividad Integradora con... Medio Ambiente.

En esta actividad, los resultados comenzarán a verse de tres a cuatro semanas en adelante. Por eso se sugiere que se inicie con semanas antes de desarrollar esta lección. Pídales que formen grupos de cuatro o cinco miembros

Materiales: un recipiente plástico, metálico o de madera cuadrado de al menos 45 cm de alto y de 60x60cm de área, tierra negra suficiente para cubrir el recipiente, papel aluminio (una hoja), pedazos de fruta (manzana, mango, guineo, etc.), cascaras de verduras y fruta, hoja de papel periódico cortada en pedazos, dos piezas de madera o plástico que sirvan de separadores

Indíqueles que: en grupo dividan el recipiente en cuatro secciones y las separen con las piezas de madera o plástico; luego coloquen el aluminio en una sección, el papel periódico en otra y así los demás materiales en cada sección, al tenerlos listos cubrir todo con la tierra negra, como se muestra en la figura inferior.



Una vez se tenga listo el recipiente, etiquete cada sección con papel pegado sobre palitos de madera (de chocobanano o paleta) o de la manera como más les parezca a los estudiantes.

Los estudiantes deben formular hipótesis sobre cuales materiales se degradarán y hasta qué grado lo harán en el transcurso de 10 días. Pasado el tiempo, que se desentierren los materiales y anoten lo que observan en cada material y vuelvan a enterrarlos. Que se repitan las observaciones dos veces más (cada 10 días). Al cumplir 30 días, que los alumnos agreguen semillas de arroz, frijol o maíz a la tierra y rieguen con agua para ayudarlas a crecer. Una última observación será cuando las plantas germinen.

Al final del proyecto que los alumnos expongan a la clase cuales fueron sus hipótesis y si se cumplieron o no y las fundamenten con lo aprendido de la lección.

Puede indagar mas con ellos preguntándoles: *¿Qué observaciones soportan las hipótesis que plantearon? ¿Cuál es el propósito de sembrar plantas en este mini relleno sanitario? ¿Cómo impacta el hombre en los ciclos biogeoquímicos? ¿Qué opinión se forman acerca del reciclaje de la basura y la disposición de los desechos sólidos? ¿Qué opinan sobre las grandes cantidades de basura producida diariamente en el país? (podría conseguir datos sobre esto para compartirlos con la clase) ¿Cómo reducir de manera individual el impacto de los desperdicios en la dinámica de los ecosistemas del país?*

3. ECOSISTEMAS DE EL SALVADOR

Gracias a la formación geológica de la región y la compleja topografía de El Salvador, el país cuenta con variados ecosistemas terrestres y acuáticos. Si bien es cierto que son pequeños en extensión, presentan una abundancia relativa de organismos muy considerable.

Las regiones montañosas de mayor altitud que se encuentran en la franja norte del territorio, son dominadas por bosques de pino-roble y bosques nebulosos a altitudes que van desde los 1,500 hasta más de 2,000 msnm (Fig. 49).



Figura 49. Bosque Montecristo, Santa Ana. Este bosque es parte de las zonas montañosas de El Salvador donde existe gran diversidad de organismos vegetales y animales.

De igual forma existen morrales, bosques secos, bosques caducifolios de tierras bajas, bosques pantanosos, bosques salados, de transición, bosques de playa, etc. Cada uno con sus factores bióticos y abióticos particulares influyendo en su dinámica propia (Fig. 50).



Figura 50. Laguna de Olomega, San Miguel. Este cuerpo de agua posee organismos particulares de la zona influyendo en el reciclaje de nutrientes, por ejemplo los caracoles.

La clasificación de ecosistemas terrestres basada en tipos de vegetación, puede ser útil si se utilizan criterios adecuados que evidencien las principales interacciones existentes entre los organismos presentes en el ecosistema (Fig. 51).

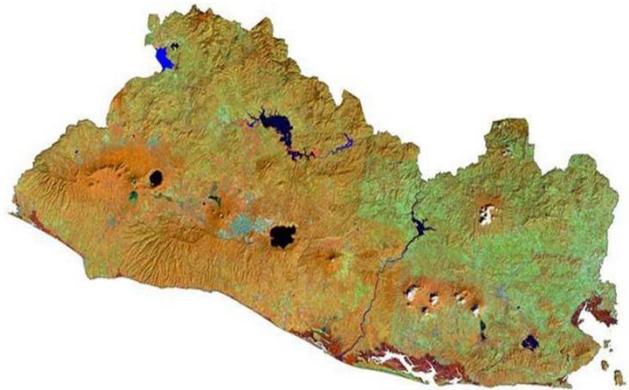


Figura 51. Mapa satelital que muestra la cobertura vegetal de El Salvador (tomada en 2002) por el satélite LANDSAT. Las zonas de color café son las que presentan cobertura vegetal.

Estudios realizados en el año 2000, sobre el tipo de vegetación y uso del suelo en El Salvador, han concluido que un 21% del territorio posee vegetación natural. Aun cuando, investigaciones hechas en 1998, marcaban un 26.5% de vegetación natural para el país. En este punto particular, existe una necesidad de una definición más precisa de cuales formaciones vegetales se consideran naturales y si existirá una discriminación entre aquellas formaciones vegetales no perturbadas y las afectadas por disturbios naturales y/o disturbios humanos.

Así también en el uso del suelo, no existen criterios que definan claramente los límites de cada ecosistema; solamente aquellos suelos con características muy marcadas, como los manglares, no presentan variación significativa en las investigaciones ya mencionadas.

En cuanto a las especies, el número de los registros para todos los reinos en el país es, de acuerdo con el MARN, de 8,756 especies, con un 39% para el reino Plantae, 50% para el reino Animalia. No hay datos para el reino Bacteria, y

para los reinos Fungi y Protista no se cuenta con una sistematización fiable de las investigaciones, que han sido pobremente divulgadas (Fig. 52).



Figura 52. Mapa de las áreas naturales protegidas (según MARN 2005). Estas áreas son el último refugio para diversas especies, así como también son reservorios de los elementos químicos en constante reciclaje.

La comprensión y el estudio integrado de los ecosistemas otorgan una visión mucho más crítica sobre la conservación ambiental. Al no existir investigaciones que muestren las interacciones de los organismos con su respectivo hábitat, no se logra visualizar el verdadero impacto que está teniendo la actividad humana sobre los ecosistemas, a la vez, no se obtienen datos correctos para impulsar el desarrollo sostenible y la explotación controlada de los recursos con los que cuenta nuestro país.

GLOSARIO

Biomasa: Toda materia orgánica originada en un proceso biológico que se expresa en peso por unidad de área o de volumen.

Ciclo Biogeoquímico: pasaje cíclico de materiales inorgánicos de ambientes abióticos hacia cuerpos bióticos y el retorno de estos al ambiente abiótico nuevamente

Detritus: materia orgánica no viva, como restos de organismos muertos, excremento, hojas caídas y madera.

Entropía: magnitud física que denota la energía no utilizable para realizar trabajo.

Es imperativo, por tanto, que se tome en serio el estudio sistematizado de los ecosistemas de El Salvador, cuya consecuencia será una población con educación ambiental dirigida a nuestra realidad social y económica, así como la crítica objetiva a modelos macroeconómicos que acaban con los recursos naturales de la región.

RESUMEN



Niveles Tróficos: parámetro para agrupar a los organismos en base a su principal fuente de alimento y energía.

Producción Primaria: cantidad de luz solar convertida a energía química (almacenada en compuestos orgánicos) por los autótrofos en un período de tiempo determinado.

Producción Primaria Bruta (PPB): cantidad de energía solar convertida a energía química en moléculas orgánicas por unidad de tiempo.

Producción Primaria Neta (PPN): es igual a la producción primaria bruta menos la energía utilizada por los productores primarios para su “respiración autótrófica” (R_a).

Productores Primarios: nivel trófico que sustenta a todos los demás, está conformado por los autótrofos.

Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:

Actividades interactivas sobre ecosistemas. Miscelánea de actividades para aprendizaje de conceptos de ecosistemas. (s.f.). Recuperado en marzo de 2012, desde <http://goo.gl/cbYAj>

Jiménez, L. y F. Higón. (2003). *Ecología y Economía para un Desarrollo Sostenible*. GUADA impressors: Valencia, España.

Proyecto Biosfera (s.f.). *Actividades de ecosistemas para desarrollarlas con alumnos*. Recuperado en marzo de 2012, desde <http://goo.gl/P79TD>

Suiza, C. y N. Martín. (2000). *Estudio de Ecosistemas*. Centro de publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: España.

Unidad didáctica de Ecología. Teoría y prácticas sobre ecosistemas (s.f.). Recuperado en marzo de 2012, desde <http://goo.gl/zRl0g>

ACTIVIDAD EVALUADORA

1. ¿Cuál de estos organismos está incorrectamente clasificado con su nivel trófico?
 - a. Cianobacterias – productor primario
 - b. Saltamontes – consumidor primario
 - c. Zooplancton – productor secundario
 - d. Gavilán – consumidor terciario
 - e. Hongo.- detritívoro

2. ¿Cuál de estos ecosistemas posee la producción primaria muy baja?
 - a. Océano
 - b. Arrecife de coral
 - c. Chaparral o matorral
 - d. Bosque tropical lluvioso

3. Las bacterias nitrificantes participan en el ciclo del nitrógeno, principalmente debido a:
 - a. Convierten el nitrógeno gaseoso a amonio
 - b. Son consumidores con mayor eficiencia de producción del ecosistema
 - c. La velocidad de descomposición en el ecosistema
 - d. La eficiencia trófica en el ecosistema

4. Si se aplica fungicida a una milpa ¿qué se espera que pasaría con la producción neta del ecosistema (PNE)?:
 - a. Tanto la tasa de descomposición como la PNE se reducirían
 - b. La tasa de descomposición y la PNE aumentarían
 - c. Nada cambiaría
 - d. La tasa de descomposición aumentaría y la PNE disminuiría
 - e. La tasa de descomposición se reduciría y la PNE aumentaría

5. Algunos investigadores dicen que los ecosistemas son seres vivos emergentes y capaces de evolucionar. Una manifestación de esta idea, es la hipótesis del ecologista James Lovelock conocida como “Gaia”, que considera a la Tierra como un ser vivo homeostático, un tipo de superorganismo. Si los sistemas son capaces de evolucionar ¿sería esta una forma de evolución Darwiniana? ¿Por qué sí o por qué no? Explica tu respuesta.

Lección 14. INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA

CONTENIDOS

1. Hidrología e hidrografía.
2. El ciclo hidrológico.
 - a. Distribución global del agua.
3. El agua en la atmósfera.
4. Los cuerpos de agua.
 - a. Mares y océanos.
 - b. Cuerpos de agua continentales.
5. Aguas subterráneas.
6. Cuencas hidrográficas.
7. Cuencas y planificación territorial.



INDICADORES DE LOGRO

1. Relaciona los conceptos hidrológicos e hidrográficos con los procesos ecológicos.
2. Interpreta los procesos de distribución y almacenamiento del agua a través de los distintos sistemas naturales.
3. Comprende las características de distintos cuerpos de agua y su influencia en los ecosistemas y las actividades humanas.
4. Interpreta las cuencas hidrográficas como regiones naturales con propiedades específicas.

PALABRAS CLAVE

Hidrología, hidrografía, ciclo hidrológico, cuerpo de agua, acuífero, cauce, cuenca, territorio.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

El agua es un compuesto esencial para la vida en la tierra y un recurso básico para las sociedades humanas. Sus propiedades permiten diversos fenómenos, muchos de los cuales parecen cotidianos pero cuya ocurrencia condiciona tanto los sistemas naturales como las actividades antrópicas. Entender tales propiedades y los fenómenos derivados de ellas, permite una utilización adecuada de recursos, la protección de los sistemas naturales y el uso eficiente del territorio.

DESCRIPCIÓN

Se introducen los conceptos básicos de hidrología e hidrografía, la amplitud e importancia de ambos campos, así como su interdisciplinaridad evidenciada en los diversos procesos bióticos y abióticos que componen el ciclo del agua. Se repasa la abundancia, distribución y naturaleza de los recursos hídricos, y de cómo estos afectan la morfología terrestre y distribución de las especies, condicionando así las actividades humanas.

HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA

Del griego *hidro* = agua y *logos* = estudio, la hidrología es la ciencia que se dedica al estudio de la presencia, distribución espacial y temporal del agua presente en la tierra (hidrósfera, atmósfera y corteza terrestre –Fig. 1–), así como de su circulación a través de los sistemas naturales (ciclo hidrológico). Esto incluye las propiedades del agua y sus interacciones con los seres vivos.



Figura 1. El agua se distribuye a través de la hidrósfera, atmósfera y corteza terrestre, como sistemas concatenados.

Como se observa, la hidrología es una ciencia muy amplia que se nutre de disciplinas diversas como la geología, química, edafología y fisiología vegetal, empleando muchos de sus principios y métodos. Asimismo, el conocimiento hidrológico es vital para el desarrollo, gestión y control de los recursos hidráulicos, pero también tiene múltiples aplicaciones como predicción de fenómenos, desarrollo de sistemas de irrigación, control de inundaciones y erosión de suelos, eliminación y tratamiento de aguas usadas, disminución de la contaminación, conservación de vida silvestre, la generación de energía, diseño de estructuras urbanas, entre otros.

Algunas de las ramas especializadas de la hidrología incluyen la hidrometeorología, hidrogeología, hidrología ecológica, hidrología química, hidroinformática, calidad del agua e hidrología de superficie; esta última, muy afín a la hidrografía.

La *hidrografía*, del griego *hidro* = agua y *graphos* = dibujo, es el estudio y descripción de cualquier masa de agua del planeta. Esto incluye la medición de profundidades, mareas y corrientes de los cuerpos de agua y el establecimiento de la topografía del lecho oceánico (Fig. 2), de los ríos y los lagos, así como de su morfología.

Aunque la diferencia entre hidrología e hidrografía es fundamental (la hidrografía se ocupa sólo de los cuerpos de agua con propósitos descriptivo-cartográficos), muchas veces ambos términos se emplean como sinónimos. Esto se debe a que ambas disciplinas, en la práctica, se complementan para el estudio de los recursos hidráulicos y de cómo circula el agua sobre la superficie terrestre (principal objeto de la hidrología). Conocer cómo funcionan las aguas sobre la superficie de la Tierra es esencial también para explicar el relieve. El agua es el principal agente que retoca las grandes estructuras del relieve y les da su forma definitiva; a su vez, tanto el relieve como la circulación del agua son aspectos clave en la dinámica de los ecosistemas.



Figura 2. Relieve terrestre y del lecho oceánico en Centroamérica y el Caribe.

A continuación se hará una revisión de los elementos más importantes en el estudio hidrológico e hidrográfico, haciendo énfasis en el acoplamiento del agua y la superficie terrestre, con ejemplos locales y algunas aplicaciones prácticas.

EL CICLO HIDROLÓGICO

Como el principal objeto de estudio de la hidrología, el ciclo hidrológico (o ciclo del agua) es la serie de eventos cíclicos que describen la

circulación del agua a través de los distintos compartimentos de la hidrósfera (Figs. 3 y 4). Es uno de los ciclos biogeoquímicos donde existe mínima intervención de reacciones químicas.

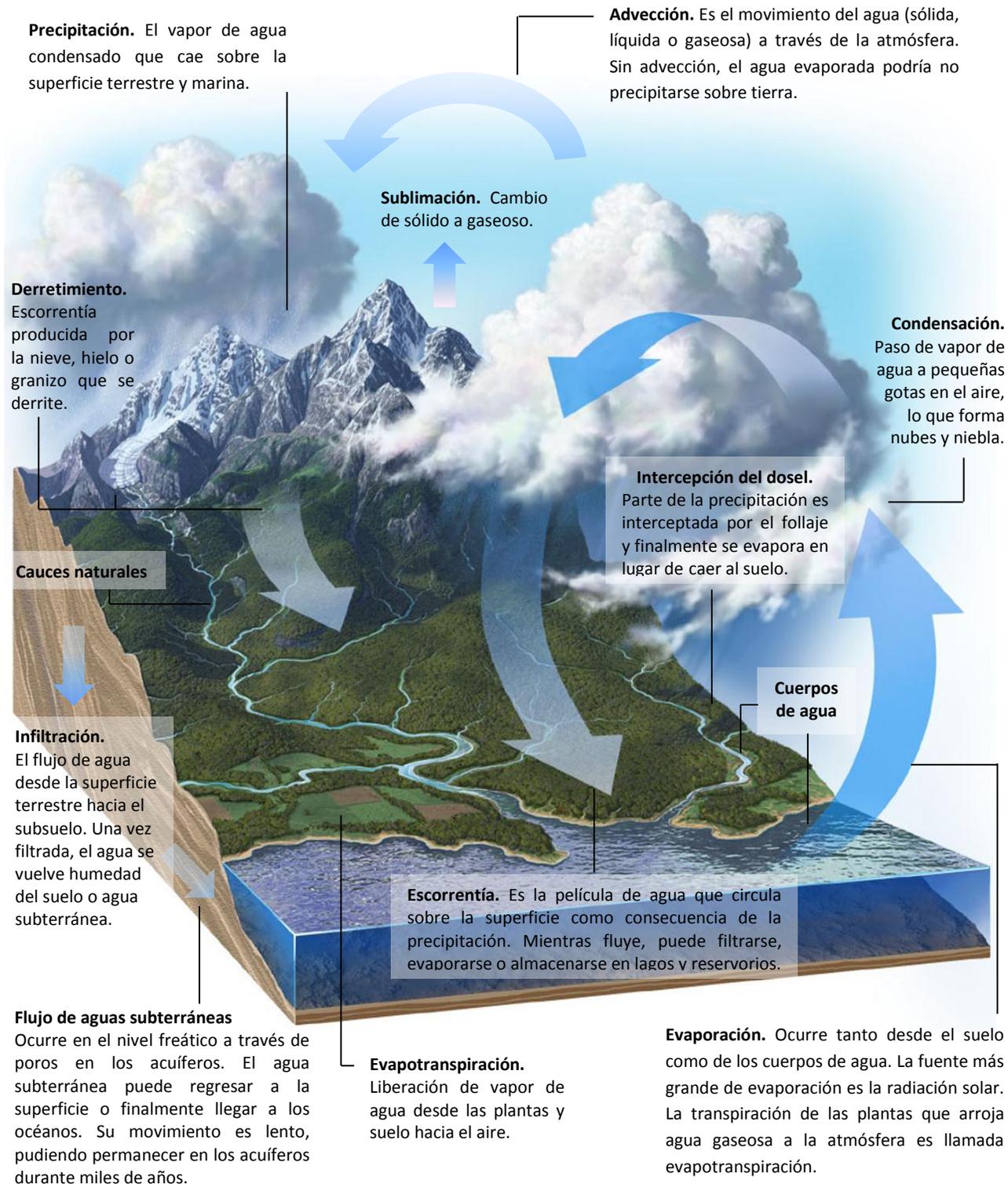


Figura 3. Ciclo hidrológico y sus eventos principales.

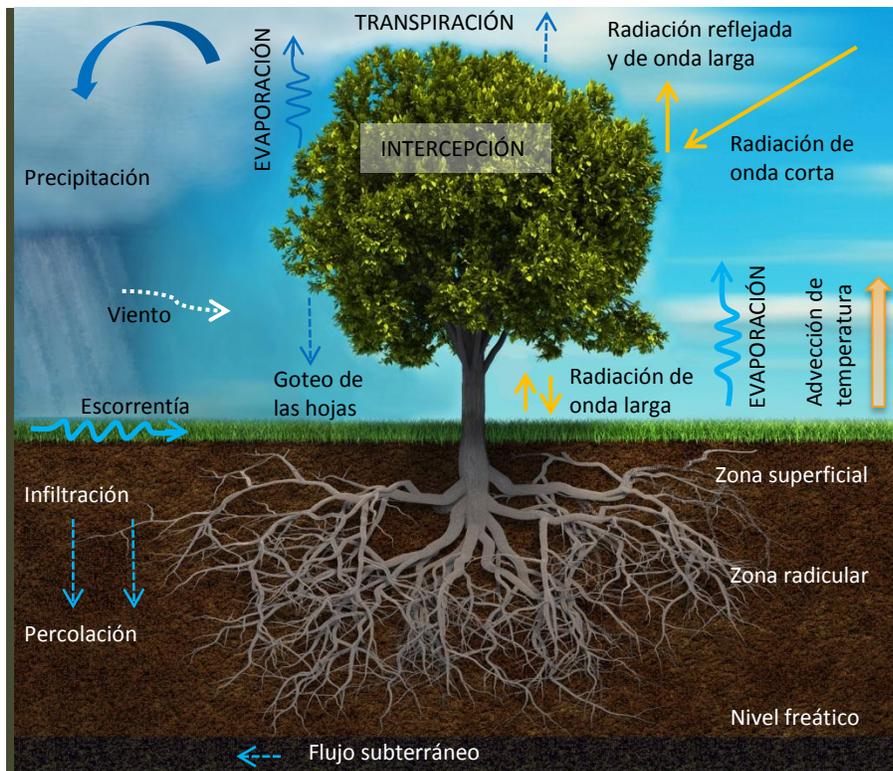


Figura 4. Papel de los ecosistemas en el ciclo hidrológico.

Al captar la radiación solar más energética (de onda corta), las plantas aumentan el tiempo de evaporación del agua sobre el suelo, permitiendo mayor infiltración hasta el nivel freático, alimentando los acuíferos.

Durante las precipitaciones, la cobertura vegetal intercepta agua en el dosel y disminuye la fuerza con que las gotas impactan sobre el suelo, así también, depositan materia orgánica sobre este, lo que disminuye la escorrentía. Ambas acciones protegen al suelo de la erosión.

Las raíces y la acción excavadora de los animales, incrementan la permeabilidad del suelo.

Los vegetales también liberan agua desde el subsuelo a la atmósfera a través del transporte interno y la transpiración producto de la fotosíntesis.

ACTIVIDAD 1. CONSTRUCCIÓN DE UN TERRARIO (Elaboración: 25 minutos)

Un terrario es una pequeña representación de un sistema cerrado que explica cómo se comporta el agua en la superficie terrestre. El concepto ayudará a entender el ciclo hidrológico y el papel de los ecosistemas en este.

Materiales

- 1 frasco transparente grande con tapadera (de preferencia transparente).
- Piedra porosa tipo pómez o tezontle.
- Arena
- Tierra para plantas (o tierra negra)
- 1 recipiente pacho para agua (como una tapa de un frasco más pequeño)
- 1 planta pequeña con raíces (como zacate, grama o mazamorra)

Procedimiento

Divida a sus estudiantes en grupos no mayores a 4 integrantes y pídale que consigan los materiales listados anteriormente. Cuando los tengan, cada grupo podrá construir un terrario como el de la figura, usando las siguientes indicaciones:

- Tomar el recipiente y colocar dentro una capa de roca porosa, de unos 3 cm de espesor.
- Colocar encima una capa de arena de unos 2 cm de espesor.
- Añadir una capa de tierra para plantas de 2.5 a 3 cm de espesor.
- En un pequeño recipiente, verter un poco de agua y colocarlo dentro del terrario.
- Hacer un pequeño agujero en la tierra para meter la planta, procurando que sus raíces queden cubiertas por la tierra.
- Tapar el frasco y dejarlo en un lugar al alcance de la luz solar por al menos 2 semanas.

Durante este período, solicite a los estudiantes que hagan observaciones periódicas y anoten sus observaciones. Al término del período de observación, pida a los grupos que elaboren un informe con sus observaciones y hagan un vínculo con el ciclo del agua, respondiendo a las preguntas:

- ¿Qué tipo de sistema natural representa el terrario?
- ¿Por qué la planta sigue viva? Si esto no es así, realizar hipótesis del porqué
- ¿Qué fenómenos observados pertenecen al ciclo hidrológico?



Razonamiento. El terrario representa un ecosistema terrestre y su dependencia de las masas de agua. El sol calentará el agua hasta evaporarla. El vapor subirá y se condensará en la tapa y paredes del frasco y caerá en forma de gotas (que representan la lluvia). El agua se filtrará dando a la planta el agua que necesita para sobrevivir. Este ciclo se repetirá una y otra vez.

Distribución global del agua

Como se observa, durante el ciclo hidrológico el agua cambia constantemente de estado y se acumula en diversas masas de agua, cubriendo el 71% de la superficie terrestre. La tabla 1 muestra cómo se distribuyen estos recursos hídricos en cuanto a volumen total disponible.

Tabla 1. Distribución de los recursos hídricos del planeta.

Recurso hídrico	Volumen de agua (Km ³)	Agua dulce (%)	Agua total (%)
Océanos y mares	1 338 000 000	--	96.5
Casquetes polares, glaciares y nieve permanente	24 064 000	68.7	1.74
Agua subterránea	23 400 000	--	1.7
dulce	10 530 000	30.1	0.76
salada	12 870 000	--	0.94
Humedad del suelo	16 500	0.05	0.001
Hielo subterráneo y Permafrost	300 000	0.86	0.022
Lagos	176 400	--	0.013
Dulces	91 000	0.26	0.007
Salados	85 400	--	0.006
Atmósfera	12 900	0.04	0.001
Pantanos y ciénagas	11 470	0.03	0.0008
Ríos	2 120	0.006	0.0002
Agua biológica	1 120	0.003	0.0001
Total	1 386 000 000	--	100

La cantidad de agua dulce es muy limitada en comparación con el agua salada, principalmente de los océanos, pero mucha de esta agua no se utiliza debido a que se encuentra como hielos permanentes. El agua dulce utilizable es menor al 1%, entre ríos, lagos, acuíferos y otros reservorios (Fig. 5). Los seres vivos contienen sólo el 0.0001% del agua del planeta.

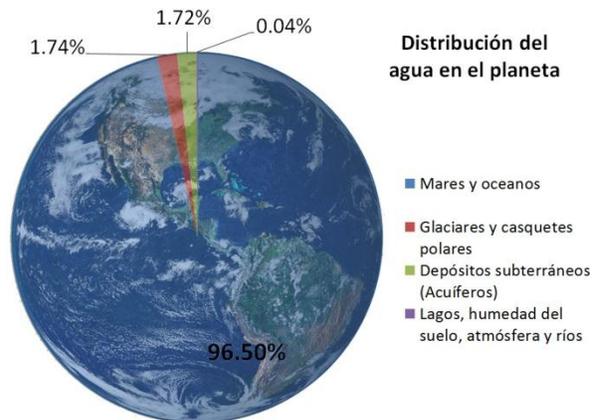


Figura 5. Distribución del agua en el planeta.

Para pasar de un cuerpo de agua o reservorio a otro y así completar un ciclo, el agua necesita cierto tiempo que depende de la naturaleza de su contenedor. Estos se muestran en la figura 6.



Figura 6. Tiempos estimados de residencia del recurso hídrico mundial conforme al tipo de reservorio.

EL AGUA EN LA ATMÓSFERA

La energía solar es la fuente primaria que permite la ocurrencia de agua en la atmósfera, donde comúnmente se encuentra como *humedad atmosférica*, esta es el producto del transporte y la distribución del vapor de agua (advección)

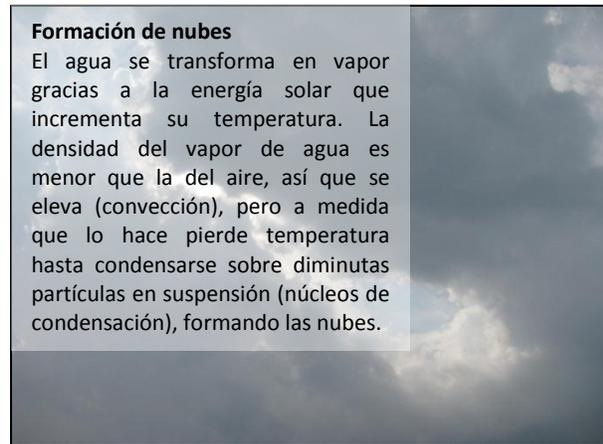
derivado de los procesos de transpiración, evaporación (evapotranspiración) y sublimación. En El Salvador, la humedad relativa (porcentaje de humedad que puede contener la atmósfera) es muy variable, teniendo promedios que oscilan entre el 46% (mínimo de la época seca en

febrero) y un 96%, (máximo de la estación lluviosa en septiembre).

El agua atmosférica puede encontrarse también condensada, como es el caso de la neblina y las nubes, o en forma de precipitaciones, como la llovizna, la lluvia, el granizo. Ya que la mayoría de vapor de agua proviene del mar, las precipitaciones ocurren sobre la tierra debido a los vientos, éstos transportan el vapor de agua que luego se condensa y precipita. Se estima que durante el transporte de humedad hacia la tierra, se vierte en los mares una cantidad global de 45 000 km³ anuales. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74 000 km³ anuales al causar precipitaciones de 119 000 km³ en el mismo período.

Formación de nubes

El agua se transforma en vapor gracias a la energía solar que incrementa su temperatura. La densidad del vapor de agua es menor que la del aire, así que se eleva (convección), pero a medida que lo hace pierde temperatura hasta condensarse sobre diminutas partículas en suspensión (núcleos de condensación), formando las nubes.



El nivel de precipitación, especialmente la lluvia, es un determinante de la distribución de los seres vivos y de la formación de ecosistemas. La cobertura vegetal, y con ella la productividad primaria terrestre, depende directamente de las lluvias. En Centroamérica, las precipitaciones derivan en mayor medida de la evaporación en los océanos pacífico y atlántico, siendo muy abundantes pero variables dependiendo de la sub-región. En El Salvador, la precipitación promedio anual varía de 1 525 a 2 127 mm/año, lo que sumado al relieve y temperatura promedio, permite una gran diversidad de ecosistemas (Fig. 7).



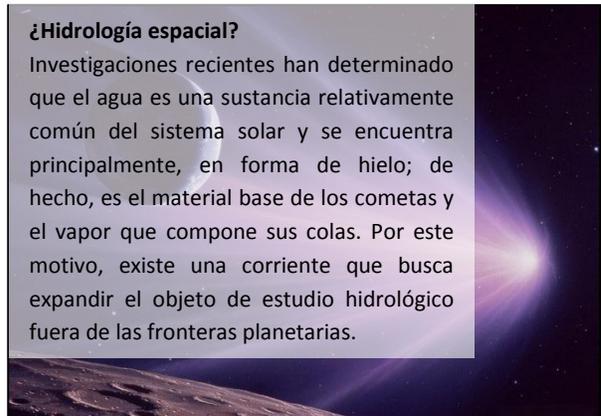
Figura 7. Los bosques nebulosos son ecosistemas especiales formados en regiones de elevada humedad atmosférica y abundantes precipitaciones. En El Salvador, se encuentran en zonas montañosas, por encima de los 1,800 msnm.

LOS CUERPOS DE AGUA

Son acumulaciones significativas de agua líquida que cubren parte de la superficie terrestre. Aunque frecuentemente refieren a grandes cantidades de agua, tales como océanos, mares y lagos; también constituyen cuerpos de agua estáticos las lagunas, pantanos, embalses, charcas, entre otros, independientemente de su origen natural o antrópico. Asimismo, existen cuerpos de agua no estáticos como los ríos, quebradas y pozas.

¿Hidrología espacial?

Investigaciones recientes han determinado que el agua es una sustancia relativamente común del sistema solar y se encuentra principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas. Por este motivo, existe una corriente que busca expandir el objeto de estudio hidrológico fuera de las fronteras planetarias.



Los océanos y las aguas continentales

Tradicionalmente, se ha dividido a las aguas continentales (en general “dulces”) de los mares y océanos, pero aunque perezca una clasificación arbitraria, el estudio científico indica que existen amplias diferencias en cuanto a las propiedades de ambos medios, las cuales, vienen dadas a fundamentalmente por las dimensiones de las

masas de agua y a su concentración salina. Por ejemplo, a escala espacial los océanos son mucho mayores que los lagos y por lo tanto son más estables, mientras que los cuerpos de agua continentales, muy influenciados por el medio circundante, resultan ser muy diversos entre sí. Al mismo tiempo, la concentración de iones en los océanos se mantiene casi isotónica con los organismos que habitan en ellos, pero fluctúa mucho en los ríos (Fig. 8).

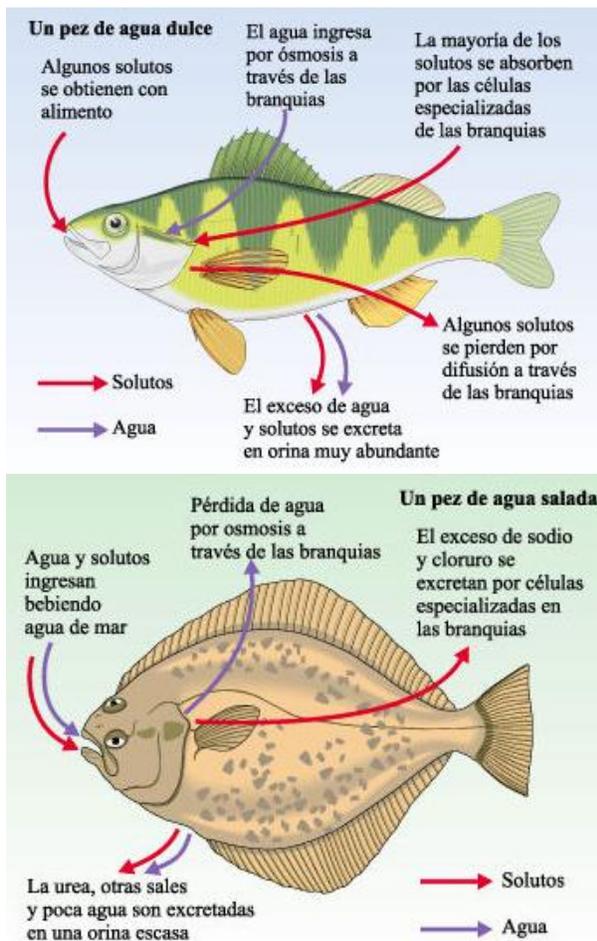


Figura 8. Estrategias de regulación de sales en peces óseos de agua dulce y salada. En general, los fluidos corporales en los peces de agua dulce son hipertónicos con respecto del medio externo, así que el agua tiende a entrar a sus cuerpos por el epitelio de las agallas. Ocurre lo contrario en peces marinos, algunos de los cuales, se mantienen isotónicos.

Mares y océanos: Oceanografía

El océano es la principal masa de agua continua del planeta que cubre el 71% de su superficie. Presenta múltiples sustancias disueltas que le

confieren una salinidad promedio del 35%. Dado su inmenso tamaño, se subdivide en tres unidades mayores: los océanos *pacífico*, *atlántico* e *índico*; dos unidades menores: océanos *ártico* y *antártico*; muchas veces tomados como cuerpos separados que se delimitan por los continentes, archipiélagos y otros criterios.

Los mares son masas de agua salada menores a los océanos que se encuentran parcialmente confinadas por masas continentales o grupos de islas (Fig. 9). En ocasiones, los lagos salados son llamados mares, pero en realidad estos son cuerpos de agua continentales.



Figura 9. El mar caribe es la masa de agua que se encuentra rodeada por las Antillas y el Continente americano.

La *oceanografía* es la disciplina científica que estudia las características y propiedades físicas, químicas y biológicas de los mares y océanos, así como su geología, brindando una perspectiva más cercana a la ecología, por lo que no se considera parte de la hidrología. Desde el punto de vista ecológico, la elevada concentración de sales en el océano es tal vez un factor menos decisivo que sus enormes dimensiones, por cuya razón se generan distintivos patrones de circulación que, entre otras cosas, distribuyen la temperatura del planeta y sirven como rutas de migración para diversas especies.

Cuerpos de agua continentales: Limnología

La *limnología* es el estudio de las comunidades en los cuerpos de agua interiores o continentales, desde su perspectiva funcional física, química y biológica, incluyendo su productividad. Al igual que la oceanografía, es multidisciplinaria y de carácter ecológico, por lo que no se considera parte de la hidrología.

Desde esta perspectiva ecológica, los diversos cuerpos de agua continentales pueden dividirse en dos grupos, de acuerdo con su dinámica:

Lénticos. Son cuerpos de agua estáticos como los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos.

Lóticos. Son las aguas dulces con movimiento constante como los ríos, quebradas y corrientes.

Ambos quedan agrupados en la categoría de *humedal*, donde también se incluyen a los embalses y esteros que constituyen cuerpos de agua especiales. Por un lado, los embalses se comportan a la vez como un sistema lótico y léntico (Fig. 10), mientras que los esteros presentan una mezcla dinámica entre masas de agua dulce y salada, a esta mezcla se le llama *agua salobre*.



Figura 10. Embalse del Cerrón Grande. Se observa el afluente donde se comporta como un sistema lótico, pero a la vez, la masa de agua estática es un sistema léntico.

La dinámica del medio acuático influye en gran manera sobre las comunidades. En los ríos predomina el transporte horizontal, en

adaptación al cual se desarrolla un patrón de distribución peculiar de los organismos, formando una especie de sucesión ecológica. En contraposición, los lagos permiten el desarrollo de un patrón de distribución de las comunidades en un medio tridimensional en donde la variación vertical toma mayor importancia y por lo tanto son más comparables con el ambiente marino.

Los ecosistemas acuáticos en general albergan una abundante biodiversidad, pero en los cuerpos de agua continentales, la *biota* (conjunto de seres vivos) es muy vulnerable a cambios físicos y químicos. Esto es muy importante si se considera que el flujo biogeoquímico de materia orgánica e inorgánica de ríos y lagos proviene del entorno, el cual, puede ser muy variable, debido a que sustentan las actividades terrestres tanto naturales como antrópicas (Fig.11).

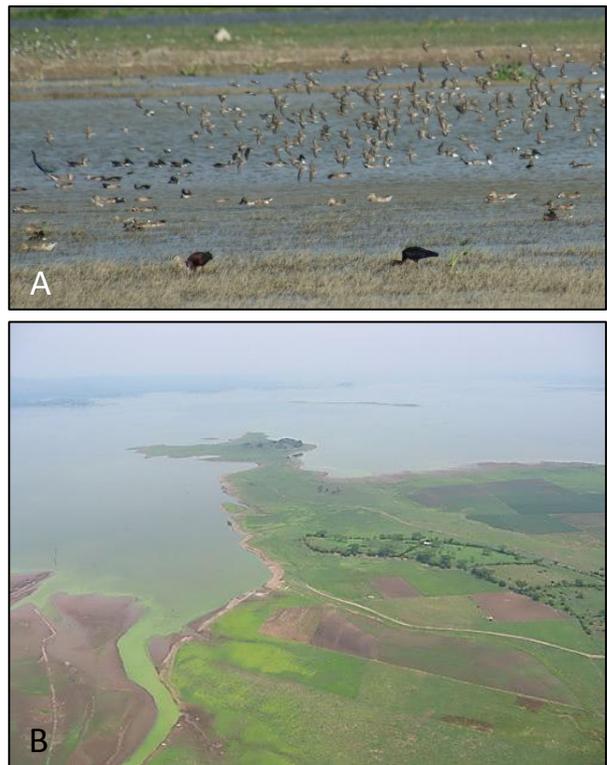


Figura 11. A: Los cuerpos de agua sustentan también a las comunidades terrestres como las aves migratorias. B: Las actividades humanas circundantes, como los cultivos o las fábricas que producen residuos líquidos, influyen en las características fisicoquímicas del medio acuático.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

Son aquellas que se localizan en el subsuelo, ocupando los intersticios o poros de este y las grietas o cavidades de formaciones rocosas. Las unidades contenedoras de agua subterránea son llamadas *acuíferos*, que pueden definirse como *estratos o formaciones geológicas que permiten la circulación de agua por sus poros y/o grietas*. Los acuíferos representan la mayor porción de agua continental y puede ser directamente utilizada a través de perforaciones o pozos.

Aunque el agua subterránea se mueve, está muy lejos de parecer un río o lago subterráneo. Se podría representar mejor como una especie de “esponja humedecida” hecha de material sólido como arena o grava, delimitado por una cama de roca. El espacio de substrato saturado con agua se llama zona freática y en un *acuífero libre* es delimitada hacia la superficie por el nivel freático. Se dice que un *acuífero es confinado* (Fig. 12), cuando éste presenta una capa adicional de roca o substrato impermeable por encima. Si el acuífero está totalmente rodeado de material impermeable, se denomina *acuífero colgado*.

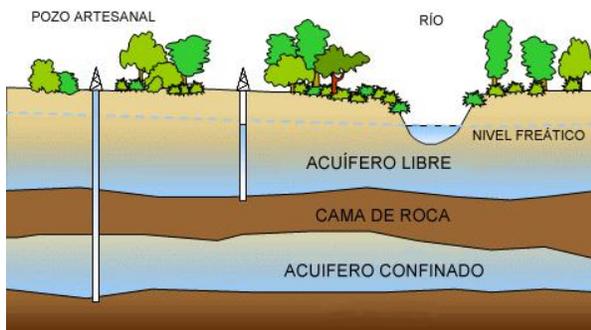


Figura 12. Representación de un acuifero libre y confinado.

En general, la cantidad de agua que un acuífero puede contener depende de la porosidad del sustrato que actúa como esponja. El agua que eventualmente brota de los acuíferos como manantiales o que es directamente extraída por las actividades humanas, se recarga a través de la infiltración del suelo, facilitada por la cobertura vegetal (Fig. 13). Debido al flujo subterráneo y las

condiciones de porosidad, la zona de recarga no necesariamente está sobre la masa de agua principal del acuífero.

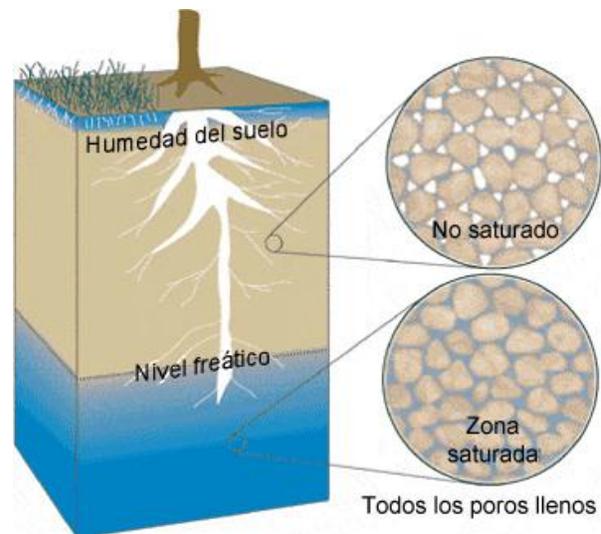


Figura 13. Zonas de un acuífero libre.

ACTIVIDAD 2. (Elaboración: 1 hora)

POZOS Y CALIDAD DE AGUA

Un pozo es una perforación que se hace sobre un acuífero con el fin de extraer el agua que éste contiene. A través de su curso por la superficie terrestre, el agua arrastra y disuelve diferentes componentes que encuentra a su paso; si tales componentes son ajenos al sistema natural, se denominan contaminantes y pueden causar diversos problemas tanto para el ecosistema como para las actividades humanas. Con la siguiente actividad se integra el ciclo hidrológico a la circulación de contaminantes y los procesos naturales que permiten la depuración de éstos.

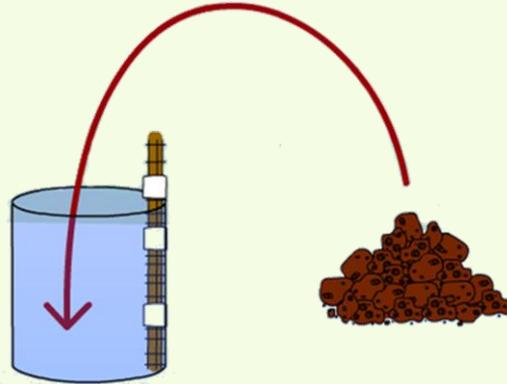
Materiales

- 1 botella plástica de 1L. como las de soda.
- 1 navaja o cuchillo afilado.
- 1 vaso con agua
- 1 palo cilíndrico (puede ser un trozo de palo de escoba)
- 1 trozo de malla plástica para mosquitero
- 1 atomizador o aspersor de agua (puede ser el de un frasco de limpiador)
- 1 tazón grande (preferible transparente)
- 1 piedra
- 1 bolsa plástica transparente (donde quepa el tazón).
- Grava
- Un poco de tierra
- arena
- Cinta adhesiva
- 1 refresco instantáneo de color en polvo.

Procedimiento

Divida a los estudiantes en grupos no mayores a cuatro integrantes y pídeles que consigan los materiales listados anteriormente. Cuando los tengan, cada grupo podrá construir un modelo a escala de un pozo atendiendo las siguientes indicaciones:

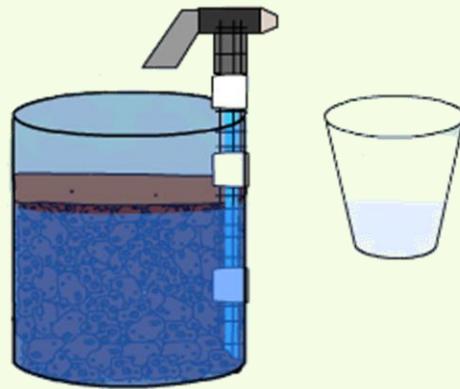
- Cortar con la navaja la parte inferior de la botella plástica
- Enrollar firmemente la malla de plástico sobre el palo de escoba y fijarla con cinta adhesiva
- Colocar la malla enredada en el palo dentro del recipiente
- Llenar tres cuartos del recipiente con grava, procurando que el palo se mantenga vertical como se muestra en la figura.
- Colocar encima de la grava una capa fina de arena.
- Retirar con cuidado el palo, dejando intacto el cilindro formado por la malla dentro del recipiente.
- Verter lentamente el vaso con agua por uno de los costados, procurando que ésta cubra solamente la grava y no la tierra.
- Colocar el atomizador dentro de la malla cilíndrica.
- Accionar varias veces el atomizador hasta sacar toda el agua del pozo. Pueden utilizar el vaso para contenerla de nuevo.



Pídeles observar cómo sale el agua en el vaso. Luego, solicite que añadan el polvo de refresco en el vaso y que viertan nuevamente el agua teñida en el modelo de pozo tal como lo hicieron la primera vez. Cuando lo hagan interróguelos *¿qué sucederá con el agua cuando la saquemos del pozo?*

Permítales que extraigan nuevamente el agua del pozo y al ver el resultado pregúnteles *¿por qué el agua sigue teñida? ¿Cuál es el significado de esto? ¿Cómo se relaciona con el ciclo del agua?*

Explíqueles que la grava y el agua representan el manto freático, mientras que la malla y atomizador simulan el bombeo del pozo. La primera vez se extrajo agua limpia, pero al contaminarla con colorante, ésta salió sucia. Lo mismo ocurre en los acuíferos reales cuando se infiltran contaminantes al subsuelo, las aguas subterráneas se ven afectadas y los pozos extraen agua contaminada.



Ahora interróguelos de acerca de *qué procesos naturales pueden ayudar a limpiar el agua*. Indique proseguir con el experimento acatando las siguientes indicaciones:

- Verter en el tazón 1 L. de agua,
- Agregar un poco de tierra y mezclar bien
- Colocar el vaso en el centro del tazón
- Poner el tazón dentro de la bolsa plástica templada y sellarla bien.
- Poner la piedra encima de la bolsa y sobre el vaso como en la figura.
- Dejar la bolsa al sol durante el resto del día.

Al siguiente día indique que retiren la bolsa y observen lo que pasó. Pregúnteles *¿qué sucedió con el agua dentro del vaso? ¿A qué se debe el fenómeno?* Debe haber agua limpia dentro.



Explíqueles que por la acción de la radiación solar, el agua del tazón se evapora y eleva hasta topar con la bolsa plástica, en cuya superficie se condensa y adhiere. La piedra hace un declive que permite a las gotas adheridas “migrar” por acción de la gravedad hasta donde se encuentra el vaso. En esa área se acumulan y gotean. Ya que lo único que cambia de estado es el agua, ésta se libera de los contaminantes. De la misma forma el agua oceánica se precipita como agua dulce.

CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Hasta ahora se ha hablado de la distribución espacial del agua, de cómo se presenta y de los procesos que intervienen en su ciclo; sin embargo, sobre los sistemas terrestres, estos mismos procesos constituyen importantes fuerzas modificadoras del relieve y la geología, determinan las zonas climáticas, cómo se comportan los ecosistemas y distribuyen las poblaciones; dentro de ellas, las poblaciones humanas.

Puede que en las sociedades modernas pase desapercibido, pero la presencia de cuerpos de agua determina la formación de asentamientos, donde el recurso se utiliza de distintas maneras, desde el consumo propio hasta la producción energética. No existe una ciudad que no dependa del suministro de una fuente de agua.

El poder modificador de los sistemas hidrológicos en el medio terrestre y su influencia antrópica, se estudia a través de unidades naturales llamadas cuencas hidrográficas.

Una cuenca es *un área geográfica donde el agua proveniente de la precipitación drena hacia un punto común, usualmente formando un curso principal (río) que desemboca en un cuerpo de agua mayor como el océano (cuenca de drenaje).*

Las dimensiones y forma de una cuenca dependen directamente del relieve, que a su vez, es modificado por la acción hídrica.

Los límites de la cuenca, llamados *“parte aguas”*, se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un cuerpo de agua (Figs. 13 y 14). Teóricamente es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, por lo que el agua de escorrentía drena hacia direcciones opuestas. El parte aguas se extiende desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto más bajo.

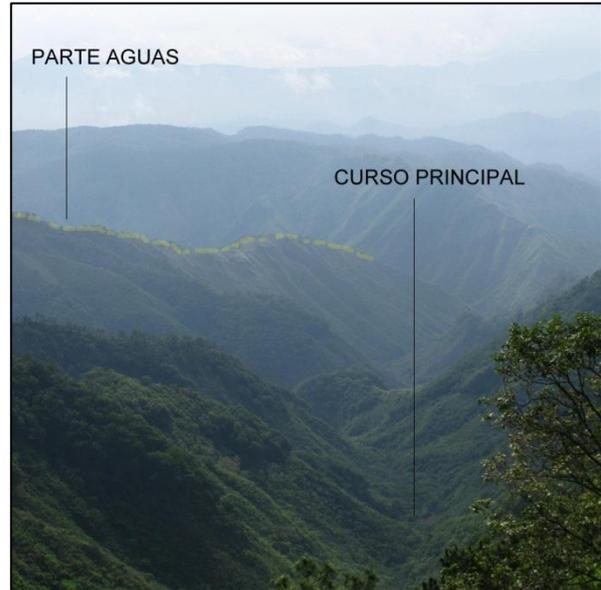


Figura 13. Vista de la parte alta de una subcuenca, señalando el parte aguas y el curso principal.

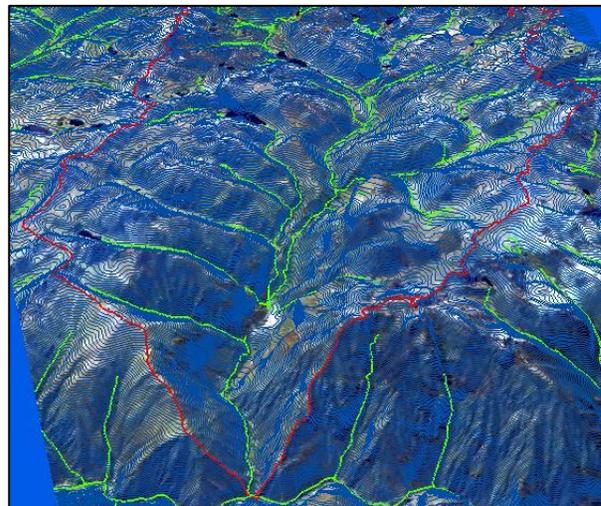


Figura 14. Modelado 3D de una cuenca hidrográfica. Las líneas rojas resaltan los límites o parte aguas y las líneas verdes representan los ríos.

Las cuencas se nombran de acuerdo a su cauce de agua principal, por ejemplo la cuenca del río Lempa es el área que drena hacia el mar siguiendo el curso de ese río; no obstante, las cuencas presentan a menudo distintos riachuelos y cuerpos de agua estacionales como las quebradas, las áreas que drenan estos cauces constituyen regiones menores dentro de la cuenca llamadas *subcuencas*, éstas adquieren el nombre del río *tributario*. Cuando las cuencas son muy grandes, como la del río Lempa (Fig. 15),

estas se estudian a nivel de *subcuenca*, por ejemplo la subcuenca del río Acelhuate que es tributario del Lempa. A su vez, las subcuencas también se subdividen en regiones de tributarios

menores llamadas *microcuencas*. Todas estas divisiones se realizan con propósitos de su estudio y para el manejo territorial.

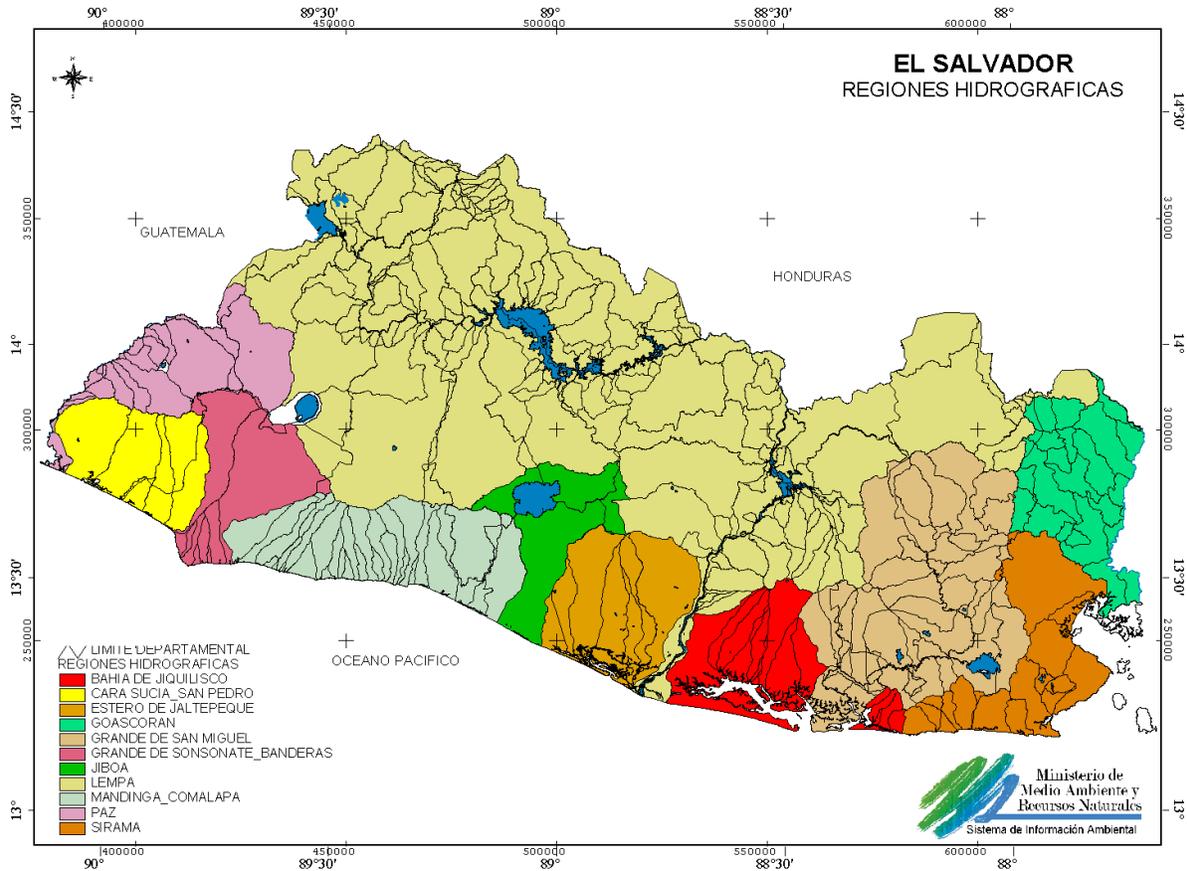


Figura 15. Regiones hidrográficas de El Salvador. Cada color representa una cuenca o conjunto de microcuencas (zona costera).

CUENCAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Debido a su formación natural, la cuenca hidrográfica funciona como un sistema indivisible e interdependiente, en donde hay una estrecha relación entre los ecosistemas, los habitantes y las actividades que se desarrollan en cada una de sus regiones. Esta es la razón principal por la que se utilizan como unidades para la planificación territorial y el manejo de los recursos naturales.

Cuenca y territorio

Un territorio es el *espacio físico donde se llevan a cabo procesos ambientales, sociales, políticos y económicos*. Su población está regida por sus propias normas, por ejemplo un lenguaje. En otras palabras es un espacio de personas y de normas.

En todo territorio, existen reglas impuestas por sus habitantes, esto incluye las fronteras, el uso de la tierra, los procesos de producción y de planeación, así como marcos legales e institucionales. Pero *dentro de una cuenca, las normativas socioculturales vienen acompañadas por el comportamiento de los sistemas naturales* que, al igual que los tejidos sociales, tienen una identidad propia, pero se encuentran muy interrelacionados.

Existen varios hechos que soportan lo anterior. Así por ejemplo, se sabe que *todas las cuencas hidrográficas tienen tres zonas donde el impacto del agua es distinto*, aunque se mantiene una estrecha interacción e interconexión entre ellas:

La parte alta o cabecera de la cuenca. Aquí ocurre la mayor captación del agua de lluvias, es importante para la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. Todas las acciones que se hagan en esta parte repercuten en el resto de la cuenca.

La parte media de la cuenca. En esta se producen las mayores actividades productivas, así que es donde se ejerce mayor presión sobre los sistemas naturales. La región actúa como zona de amortiguamiento entre las acciones de la parte alta y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca.

Parte baja de la cuenca. Generalmente cercana a las costas, por ejemplo la planicie costera de El Salvador es la parte baja de diversas cuencas (Fig. 16). En esta zona se evidencian los impactos positivos o negativos de las acciones que se hacen en la parte alta de la cuenca.

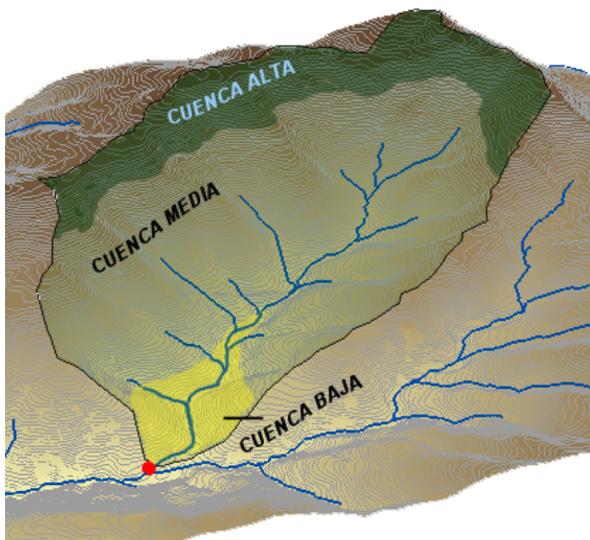


Figura 16. Zonación vertical de una cuenca.

Ahora bien, si la parte alta es de máxima precipitación y encuentra cubierta por bosques, éstos protegerán el suelo de la erosión y permitirán una alta infiltración hacia los acuíferos que alimentan el río principal, que a su vez servirá como fuente de agua dulce a pobladores, agricultores, fauna y flora silvestre de las partes

media y baja de la cuenca. Pero *¿qué ocurre entonces si los pobladores de la parte media deciden explotar la madera de los bosques en la parte alta sin ningún control?*

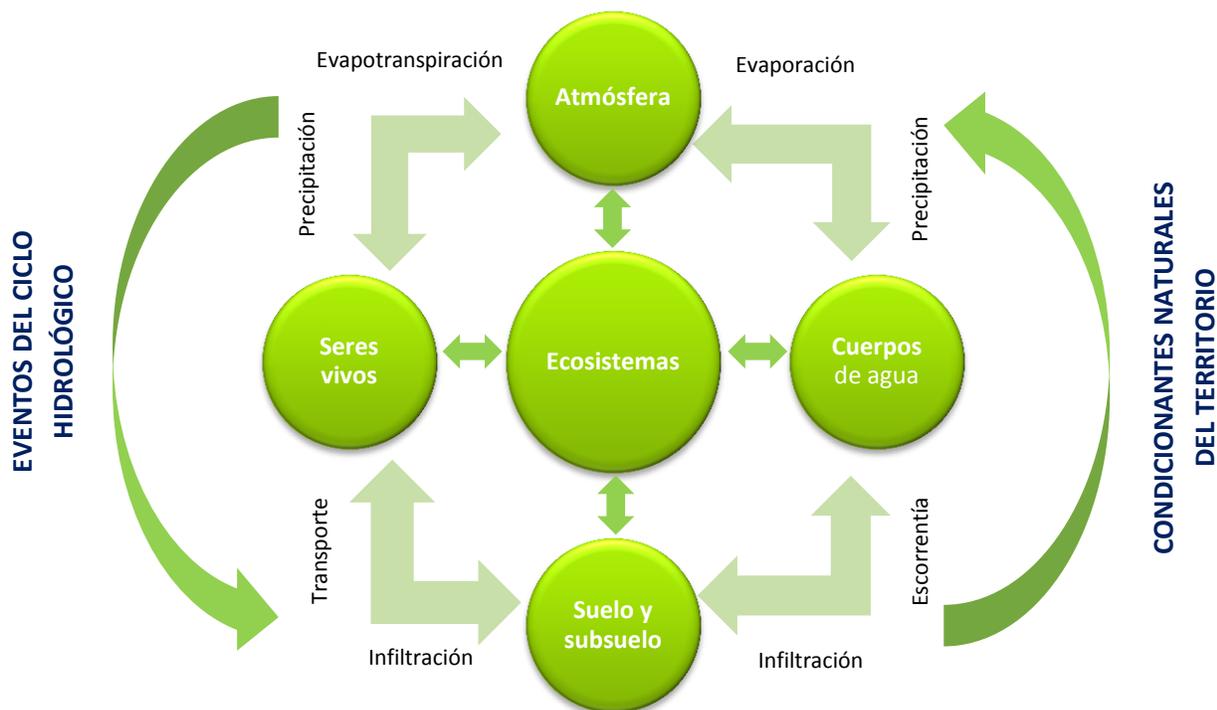
Cuando los ecosistemas pierdan su capacidad de regeneración, la zona alta quedará sin cobertura vegetal suficiente y durante la estación lluviosa no podrá retener las precipitaciones. Como consecuencia, la escorrentía incrementará aumentando el nivel del río principal, lo que puede ocasionar inundaciones en la parte baja de la cuenca. Asimismo, durante la estación seca, el acuífero que no captó suficiente agua por infiltración no alimentará el cauce del río, que incluso podría llegar a secarse.

La planificación territorial

Es una herramienta dinámica para el ordenamiento de las actividades a realizar dentro de un territorio, incluyendo la supervisión de los avances en cada una de las líneas de acción que se proponga. Su objetivo es modificar una situación actual y llevarla a una situación ideal; por ejemplo, el rápido deterioro de los recursos naturales debido a prácticas inapropiadas de extracción, hacia un escenario de uso eficiente de recursos que permita el desarrollo de la región. Para ello, ha de cumplirse con una serie de etapas fundamentales que brinden coherencia al proceso. Diseñar estas etapas y sus tiempos es parte inherente a la planificación.

Dado la compleja red de interacciones sociales y naturales que quedan delimitadas en las unidades geográficas que conforman las cuencas, éstas se presentan como un espacio territorial ideal para la planificación. A este respecto, el fin último es generar una mejora en la calidad de vida de los habitantes del territorio a través del uso adecuado de los recursos que proveen sus sistemas naturales; esto es, un desarrollo no basado en el crecimiento económico sino en la sostenibilidad (Lección 15).

RESUMEN

**Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:**

Brenes, C. (2007). *Hidrografía de cuerpos de agua continentales*. (Informe). Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria –OIRSA–. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/8xIQ1>

García, L., R. Zimmermann, L. Soriano, C Pérez y P. Ayala. (s.f.) *Caracterización de condiciones meteorológicas en El Salvador*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/Bbgzl>

Hidrografía e hidrología (2007). Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/7buLA>

Instituto de ciencias del mar (ICM). (s.f.). *Objetivos de la misión Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS): Humedad del suelo*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/yv6IY>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA (s.f.). *Aprende y diviértete con el agua*. Extraído en diciembre de 2011, de: <http://goo.gl/3S4yK>

López, A. y K. Delgado (2009). *Modelación hidrológica de la subcuenca Lempa alto, en cooperación con la comisión trinacional del plan trifinio (El Salvador, Honduras, Guatemala)*. Tesis de licenciatura. Facultad multidisciplinaria de occidente, Universidad de El Salvador. Extraído en diciembre de 2011 desde <http://goo.gl/D4h9IM> Marciano J. (s.f.) *Ciencias de la tierra. La hidrología*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/6Oucb>

Roldán, G. y J. Ramírez (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2ª Edición. Colombia: Editorial de la Universidad de Antioquia. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/PLt6Z>

Servicio Nacional de Estudios Territoriales –SNET– (2011). *Boletín climatológico, octubre 2011*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/HLfAj>

U.S. Geological Survey. (2011). *Water science for schools: Earth's Water distribution*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/8LELy>

ACTIVIDAD EVALUADORA

I. Subraye la respuesta correcta.

1. *Estudio y descripción de cualquier masa de agua del planeta:*
 - a) Hidrografía
 - b) Hidrología
 - c) Oceanografía
 - d) Limnología
2. *Ciencia que se dedica al estudio de la presencia, distribución espacial y temporal del agua presente en la tierra:*
 - a) Hidrografía
 - b) Hidrología
 - c) Oceanografía
 - d) Limnología
3. *Disciplina científica que estudia las características y propiedades físicas, químicas y biológicas de los mares y océanos, así como su geología:*
 - a) Ecología
 - b) Hidrografía
 - c) Oceanografía
 - d) Limnología
4. *Estudio de las comunidades en los cuerpos de agua interiores o continentales, desde su perspectiva funcional física, química y biológica, incluyendo su productividad:*
 - a) Ecología
 - b) Hidrología
 - c) Oceanografía
 - d) Limnología
5. *¿Cuál de los siguientes elementos es un buen ejemplo de sistema lótico?*
 - a) Estanque
 - b) Río
 - c) Embalse
 - d) Estero
6. *¿Cuál de los siguientes elementos es un buen ejemplo de sistema léntico?*
 - a) Quebrada
 - b) Estero
 - c) Embalse
 - d) Lago

II. Traslade el literal de la izquierda al paréntesis de la derecha correspondiente a los procesos que ocurren durante el ciclo hidrológico.

- | | |
|---|----------------------------|
| a) Paso de vapor de agua a pequeñas gotas en el aire | () Advección |
| b) película de agua que circula sobre la superficie como consecuencia de la precipitación o derretimiento de hielo. | () Condensación. |
| c) Movimiento del agua (sólida, líquida o gaseosa) a través de la atmósfera | () Intercepción del dosel |
| d) Vapor de agua condensado que cae sobre la superficie terrestre y marina | () Sublimación |
| e) Agua que se acumula en el follaje y finalmente se evapora en lugar de caer al suelo | () Escorrentía |
| f) Flujo de agua desde la superficie terrestre hacia el subsuelo | () Cuerpo de agua |
| g) Acumulación significativa de agua líquida que cubre parte de la superficie terrestre | () Precipitación |
| h) Cambio directo del estado sólido a gaseoso | () Infiltración |

III. Respuesta directa

1. Mencione tres acciones donde la cobertura vegetal se inserta en el ciclo hidrológico.
2. ¿Cuáles son las dos diferencias fundamentales entre los cuerpos de agua dulce y salada?
3. Analice la importancia de los acuíferos para las actividades humanas.
4. ¿Qué es una cuenca hidrográfica?
5. Razone por qué las cuencas pueden considerarse como sistemas y unidades de planificación territorial.

CONTENIDOS

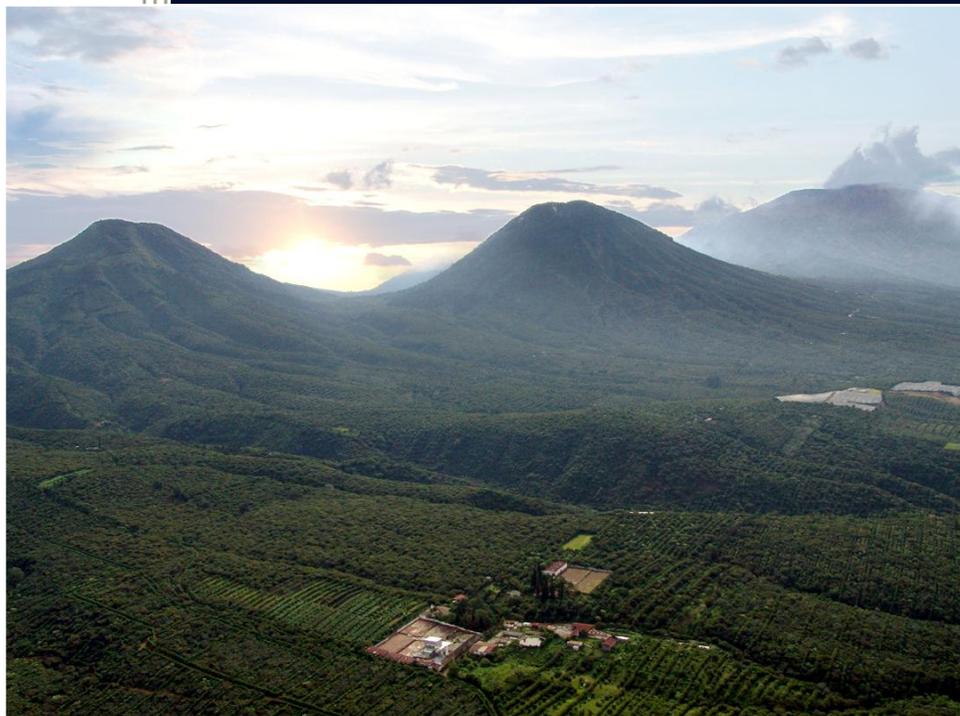
1. El ambiente: aproximación conceptual.
2. La sociedad y el ambiente.
3. Problemas ambientales de El Salvador.
4. Calentamiento global y cambio climático.
5. Reducción de riesgos a desastre: la gestión integrada de riesgos.
6. Seguridad alimentaria y nutricional.
7. Desarrollo sostenible.

INDICADORES DE LOGRO

1. Comprende las relaciones entre los componentes naturales y sociales del ambiente.
2. Analiza las causas y efectos de los problemas ambientales en El Salvador.
3. Deduce los procesos naturales y sociales que intervienen en el cambio climático.
4. Relaciona los conceptos de la gestión de riesgo y seguridad alimentaria al desarrollo humano.
5. Evalúa los componentes necesarios para producir desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE

Ambiente, sociedad, sistema natural, desarrollo, calentamiento global, seguridad, riesgos, nutrición, sostenibilidad.



¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La comprensión de las interacciones entre los diversos componentes naturales y las construcciones sociales, así como las circunstancias que derivan de ellas, abren todo un panorama de análisis para la realidad nacional y global. Las múltiples dimensiones que adquieren los ya crónicos problemas salvadoreños, aunadas al actual momento histórico de crisis en materia de desarrollo, requieren para afrontarse, de la formación de un pensamiento integral y de criterio propio, capaz de integrar conceptos como los aquí vertidos.

DESCRIPCIÓN

Se realiza una aproximación conceptual de ambiente y se analizan las relaciones entre este y la sociedad como un colectivo humano. Se resumen los problemas ambientales de El Salvador y de la acumulación global de impactos que deriva en el cambio climático. Se analiza el carácter antrópico e incidencia de la degradación ambiental en la generación de riesgos y la inseguridad alimentaria, así como la manera en que estas deben gestionarse para lograr un verdadero desarrollo sostenible.

EL AMBIENTE: APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

Antes de abordar la relación más que evidente entre la sociedad y el ambiente, es necesario sentar algunas bases conceptuales que permitan desenmarañar la complejidad de interacciones que ambas temáticas suscitan, tanto en el ámbito teórico (científico) como práctico (de los actores implicados).

En primer lugar se debe examinar lo que se entiende por *ambiente*. Este término es usado casi indiscriminadamente, muy a menudo bajo la forma de *medio ambiente*, pretendiendo describir el entorno o bien los sistemas naturales y, frecuentemente, excluyendo los elementos socioculturales (factor humano), pero *¿se debe percibir el ambiente de esta manera discriminatoria?* Y de ser inclusivo *¿cuál es el término más adecuado para describirlo?*

Ambiente y medio ambiente

Las interrogantes anteriores son en realidad dos caras de una misma moneda. Puede decirse que el concepto ecológico de ambiente es uno de los más inclusivos, por tanto existe cierto debate acerca de la terminología que lo engloba. En materia lingüística, *medio ambiente* o *medioambiente* califica como *pleonasma* (uso de términos redundantes), puesto que “*medio*” y “*ambiente*” constituyen sinónimos. No obstante, la condición de sinonimia depende del contexto, por lo que surgen dos posturas: “*medio ambiente*” como término complementario y “*ambiente*” o “*medio*” como concepto único.

Quienes defienden el uso de “*medio ambiente*” sostienen que el “*medio*” puede entenderse como *el elemento donde un organismo se desenvuelve* (medio acuático o terrestre), mientras que “*ambiente*” es *el conjunto de circunstancias que rodean al sistema viviente*. Esto es la percepción del entorno como un conglomerado de componentes bióticos y

abióticos bajo condiciones específicas, incluyendo las acciones antrópicas.

El inconveniente en esta postura es que el ambiente no puede reducirse a las circunstancias del entorno, sino que el primero, siendo una suma de factores bióticos y abióticos, siempre presentará condiciones ligadas a tales factores. De igual manera, *medio* no refiere únicamente al componente abiótico.

A partir de esta concepción, con criterio ecológico y en relación a la biota, en adelante se entenderá que “*ambiente*” es *el conjunto de factores y circunstancias que afectan a los seres vivos, comprendiendo valores naturales, sociales y culturales, que se conjuntan en un momento específico* (Fig. 1).



Figura 1. Para el sanate (*Quiscalus mexicanus*), la aceptación social en la ciudad y los niveles de contaminación son dos componentes importantes de su ambiente.

Ambiente y ecología

Es de hacer notar que muchas veces ecología y ambiente se utilizan como sinónimos, por ejemplo “es necesario proteger la ecología” o “esto es dañino para la ecología”, refiriéndose por ecología al ambiente. Esta concepción es errónea pues, como se ha visto, la ecología es una ciencia que estudia interacciones, las cuales ocurren en el ambiente. “Proteger la ecología” significa defender un conjunto estructurado de conocimientos, mientras que “proteger el ambiente” es conservar circunstancias ideales o satisfactorias de los factores bióticos, abióticos, sociales y culturales.

Por otro lado, actualmente se utiliza el término “ecológico” en una multitud de contextos, desde la *mercadología* hasta el *ecologismo*. Como se ha evidenciado en lecciones anteriores, “ecológico” es la referencia hacia un *objeto de estudio o fundamento conceptual de la ecología* y apunta directamente hacia los ecosistemas. *¿Por qué es importante esta distinción?* La respuesta bien puede ejemplificarse con una bolsa plástica (Fig. 2). De ninguna manera puede haber una “bolsa ecológica” en sí misma, lo que no implica restarle mérito a una tecnología o producto, simplemente el término más adecuado sería “fácilmente biodegradable”, “reusable” o “de bajo impacto ambiental”. Como un elemento abiótico, la bolsa plástica es parte del ambiente y en la medida que interactuare con los seres vivos, la misma bolsa sí puede ser objeto de un estudio ecológico, por ejemplo si se desea conocer los impactos del esparcimiento de las bolsas en un ecosistema o más específicamente la ingesta de bolsas plásticas por tortugas marinas.



Figura 2. Las interacciones de una bolsa con el ambiente, como todo elemento antrópico, dependen de su uso.

Otras etiquetas utilizadas para productos y tecnologías incluyen las palabras “verde”, “orgánico” o “amigable con el ambiente”. Todos estos términos no se relacionan con la ecología sino que han sido desarrolladas, ya sea con un propósito mercantilista o conservacionista, para describir elementos que se producen, operan o se descartan generando leves alteraciones en las condiciones ambientales.

Ecología y ecologismo

El ecologismo es un movimiento activista que busca la protección ambiental a nivel ecosistémico como forma de mantener una adecuada calidad de vida. En sus inicios, este movimiento encomiable tomó su nombre de la ecología, puesto que esta provee las herramientas conceptuales, metodológicas y técnicas para proteger el ambiente. Sin embargo, un ecologista no necesariamente practica la ecología, incluso puede ser ajeno a las temáticas científicas y dedicarse únicamente a divulgar información, a promover tecnologías renovables o a denunciar sucesos. Para este respecto se utiliza también el término ambientalista. Los ecólogos, en cambio, se dedican al estudio sistemático de ecosistemas y a desarrollar aplicaciones para el conocimiento ecológico. Así, un ecólogo no necesariamente practica el ecologismo.



LA SOCIEDAD Y EL AMBIENTE

Aun cuando en biología se reconocen muchas formas de asociación entre sistemas vivientes e incluso complejas conductas sociales dentro de grupos animales, en materia ambiental, se suele abordar a la sociedad únicamente en su dimensión humana. A partir de esta concepción, se entiende por sociedad: una *entidad poblacional conformada por individuos que interactúan entre sí, compartiendo ciertos rasgos culturales definidos y en búsqueda de objetivos afines*.

Como se mencionó antes, el conjunto de valores sociales y culturales forma parte de las circunstancias del entorno, por lo tanto, constituyen elementos del ambiente; asimismo, los seres humanos son sistemas vivientes que interactúan como ocurre en los ecosistemas. Entonces *¿por qué se hace una distinción entre la sociedad y el ambiente?* Existen dos respuestas que obedecen a dos puntos de vista distintos:

Primero, la visión errada de divisionismo entre sociedad y naturaleza. Este es un enfoque antropocéntrico, hasta cierto punto ideológico, derivado del reduccionismo ambiental como un simple conjunto de sistemas naturales y del aislamiento social como ente independiente. Tiene sus orígenes en los modelos tradicionales de producción, donde los elementos utilizables del entorno (recursos naturales) se observan sólo como fuentes de riqueza, confiriéndoles el carácter de propiedad humana.

La sociedad no es de ninguna manera un ente independiente y no se puede aislar de los sistemas naturales debido a cuatro simples razones: 1) la sociedad se encuentra inmersa en ellos; 2) la sociedad toma de éstos sus recursos y les deposita sus residuos; 3) las acciones humanas modifican los sistemas naturales; 4) los sistemas naturales condicionan a las sociedades.



Figura 3. La sociedad utiliza recursos y deposita residuos en los sistemas naturales.

Segundo, una visión más holística que entiende los elementos humanos como parte del ambiente (al igual que un cuerpo de agua o un bosque), siendo la construcción social un subsistema de características especiales que se desarrolla por y a través de los sistemas naturales. Sin embargo, son precisamente estas características las que merecen una *atención diferenciada* de la sociedad como ente colectivo de las actividades humanas.

En efecto, la sociedad posee un alto “grado de influencia” sobre su entorno, llegando a alcanzar dimensiones globales. Aunque esta característica no es exclusiva de la actividad humana, por ejemplo los océanos regulan el clima global, lo que distingue las actividades antrópicas es su rápida acción modificadora y la diversidad de condiciones que esta genera. Así, mientras las condiciones oceánicas permanecerían invariables durante miles o incluso millones de años, la sociedad se transforma en décadas; por ejemplo, la generación de transgénicos a finales del s. XX ha producido y llevado a los sistemas naturales un sinnúmero de nuevas variedades de organismos que de otra manera tardarían millones de años en aparecer. Años atrás, otros grandes impactos habían sido la deposición de plásticos y la producción de clorofluorocarbonos, todos obedecieron a las corrientes socio-económicas del momento.

El énfasis sobre la actividad antrópica es fundamental para delegar responsabilidades, lo que permite internalizar los impactos de esta sobre los sistemas naturales, en una situación de gobernanza mundial centrada en el factor socioeconómico. Es así como el enfoque ambiente/sociedad expuesto en la presente lección, es el que toma al ser humano como una colectividad a partir de la construcción social (cultura, economía, infraestructura, etc.), que si bien forma parte del ambiente, requiere atención especial por la forma de cómo interacciona con los otros componentes de este. Asimismo, dependiendo de la escala de estudio, el entorno de una sociedad puede incluir la influencia de otras sociedades.

Recursos naturales y condiciones ambientales

Según el efecto que tiene sobre los seres vivos o la forma en que es utilizado, el entorno está integrado por dos categorías de “factores ambientales”: *los recursos naturales y las condiciones del ambiente*.

Las condiciones del ambiente son factores abióticos de magnitud variable en el espacio y en el tiempo, los cuales desencadenan múltiples reacciones por parte de los seres vivos, quienes pueden incidir en su magnitud; no obstante, a diferencia de los recursos naturales (Lección 10), las condiciones no pueden ser utilizadas directamente, aunque sí sus efectos. De cierta forma, si una condición es utilizada directamente se transforma en un recurso. Son ejemplos de condiciones ambientales la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH), la humedad del suelo y la atmósfera (Fig. 4).



Figura 4. Represa hidroeléctrica 5 de noviembre. El agua es un recurso de múltiples usos, pero su pH no se utiliza.

Los impactos ambientales

La utilización de los recursos naturales por parte del ser humano por lo general tiene alta influencia sobre las condiciones ambientales. Cuando se extraen los bienes ambientales o se depositan residuos en la biósfera, se altera la dinámica de los ecosistemas, reduciendo sus funciones regulatorias sobre las condiciones del ambiente, cuya magnitud óptima es muy específica para el desarrollo tanto de los seres vivos como el de las sociedades.

La alteración directa de los ecosistemas o de las condiciones del entorno (natural o artificial) por acciones antrópicas se conoce como impacto ambiental. Aunque generalmente los impactos tienen connotación negativa, su definición no lo

indica así, por lo que también existen impactos positivos. Por ejemplo, trazar una carretera sobre un área boscosa tiene impactos negativos al reducir la cobertura vegetal, impermeabilizar el suelo y cortar rutas de paso para los animales; no obstante, siendo la sociedad un componente ambiental, la misma carretera tiene impactos positivos al permitir la llegada de servicios a las comunidades e incrementar su conectividad.

Los principios de gestión ambiental indican que, al realizar una actividad transformadora, debe existir una condición donde los impactos positivos superen a los negativos. De otra manera se deben implementar medidas que compensen las alteraciones ocasionadas en el ambiente. La determinación tanto de los impactos ambientales como de las medidas de prevención, mitigación y compensación que se requieran, se realiza a través de *Estudios de Impacto Ambiental (EIA)*.

En El Salvador, la legislación permite vigilar todo tipo de proyectos con incidencia ambiental y obliga la realización de un EIA para su aprobación. No obstante, existe un filtro más amplio de políticas que sesgan las evaluaciones hacia los intereses socioeconómicos. Por otro lado, así como un EIA no debería ser un simple requisito de aprobación, la capacidad instalada actual de los organismos estatales no permite un adecuado seguimiento de las medidas que garantizan el balance favorable de impactos.

ACTIVIDAD 1 (Tiempo: 1 hora)

VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Procedimiento

Dicte o escriba en la pizarra el siguiente caso:

Localizado entre un área natural y una comunidad de escasos recursos, se encuentra un espacio cubierto por vegetación secundaria, donde se plantea realizar una construcción de cien viviendas.

El proyecto habitacional incluye la introducción de servicios básicos como agua potable, energía eléctrica y tuberías de aguas negras (a verterse en una quebrada

aledaña). Asimismo, se prevé la construcción de un centro escolar que atienda hasta educación media y el mejoramiento de las vías de acceso al lugar. Todos estos servicios beneficiarán directa o indirectamente a la comunidad de escasos recursos.

La etapa de preparación incluye la remoción total de la cobertura vegetal, el aplanado, relleno y compactación del suelo usando maquinaria pesada. Los escombros se depositarán en un barranco cercano. Esta etapa durará un mes. Durante los once meses siguientes, se prevé el paso y manipulación de grandes cantidades de materiales de construcción y el uso de maquinaria ruidosa. Cuando se termine, se habrá concretado el 90% del área del proyecto, incluyendo una zona de parqueo común. No se contratará mano de obra local puesto que el proyecto será ejecutado por una compañía especializada.

Luego forme a los estudiantes en grupos no menores a tres. Pida que elaboren un listado de las actividades con posibles impactos ambientales y los sistematicen en la siguiente matriz resumen.

Ambiente		Actividades	Actividad Ej. 1 "Preparación del terreno"	Act. 2	Σ
		Sistemas naturales	Tierra/suelos		-1
Agua			0	-2	-2
Atmósfera	Calidad		-2	-1	-3
	Clima		-2	-1	-3
Flora			-3	0	-3
Fauna		-1	0	-1	
Factores culturales	Uso del suelo		-3	1	-3
	Espacios de recreo		-2	1	-1
	Paisaje		-3	1	-2
	Salud y seguridad		-2	3	1
	Empleo		3	2	5
	Redes de servicios		0	3	3
	Residuos		-2	0	-2
Ponderación del impacto			-18	4	-13

Para cada actividad deben ponderarse los impactos en escala de 1 a 3, donde 1 es el menor impacto y 3 el mayor. Se usan sólo números enteros. Si el impacto es dañino o negativo se usa el signo (-), de lo contrario es impacto benéfico o positivo. 0 significa "sin impacto".

Los impactos deberán sumarse para determinar si los beneficios del proyecto son inferiores a los daños (resultado positivo o negativo).

Pida que analicen las actividades más impactantes y que formulen medidas para mitigar o compensar los impactos negativos hasta volver más eficiente el proyecto. Por ejemplo: *contratar mano de obra local, sembrar árboles en el parqueo, utilizar los residuos para hacer abono orgánico, etc.*

Solicite que adicionen las nuevas actividades a la tabla y evalúen de nuevo el resultado para observar si los impactos positivos superan a los negativos.

Cuando dentro de un territorio se acumula una serie de actividades transformadoras con balance negativo de impactos, las condiciones de los sistemas naturales tienden a degradarse, con lo que surgen los problemas ambientales.

PROBLEMAS AMBIENTALES DE EL SALVADOR

Frecuentemente al hablar de los problemas ambientales de El Salvador se comienza por detallar las condiciones adversas en las que se encuentran los sistemas naturales del territorio nacional y de los principales fenómenos que se producen por su uso inapropiado, como la pérdida de suelo, disminución de la recarga hídrica o pérdida de biodiversidad.

En efecto, todas son serias dificultades a tomar en cuenta, pero lejos de ser los problemas principales, constituyen consecuencias. *Su uso preferible debería ser el de indicadores para un antes y después de las medidas por emplear en contra de los factores que hacen mella sobre los sistemas naturales. Entonces ¿cuáles son estos "problemas raíz"?*

Como se ha visto hasta ahora, El Salvador es un país de características tropicales cuyo patrimonio natural descansa en su diversidad ecosistémica y alta productividad biótica; por lo tanto, aquellas actividades que afectan directamente a los ecosistemas son serios problemas ambientales. Las acciones con mayor impacto negativo sobre los sistemas naturales pueden agruparse en:

Pérdida de cobertura vegetal (desforestación).

La desforestación ataca la base de los ecosistemas terrestres al destruir el primer nivel trófico (Lección 13, Dinámica de Ecosistemas). Con la pérdida de productividad primaria no solo se reduce la disponibilidad de alimento en los siguientes niveles, sino que se pierde capacidad extractiva de bienes ambientales. Así también se eliminan las funciones ecosistémicas de la cobertura vegetal, reduciendo una serie de servicios ambientales como la producción de

oxígeno (O_2) y la fijación de dióxido de carbono (CO_2) (Lección 10, Recursos Naturales).

En adición, la pérdida de funciones ecosistémicas derivadas de la cobertura vegetal tiene una serie de efectos como:

Pérdida de biodiversidad. Aparte de menguar las poblaciones vegetales nativas hasta el punto de la extinción, se alteran las condiciones necesarias para la supervivencia de distintas especies. Estas pueden ser alimento, refugio, humedad, sitios de apareamiento, hospederos, temperatura, etc.

Al reducir la cobertura vegetal se restringe el territorio que ocupan los ecosistemas, lo que se traduce en fragmentación de hábitats. Esta fragmentación significa que de una extensión boscosa continua se conservan solo ciertas porciones pequeñas que, entre diversos efectos, promueven el aislamiento y reducción de las poblaciones, lo que las vuelve muy vulnerables a nuevos cambios en las condiciones ambientales.

Alteración del ciclo hidrológico. Como se abordó en la Lección 14 (Hidrología e Hidrografía), la cobertura vegetal tiene un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Al perder el estrato arbóreo, por un lado desaparece la intercepción del dosel, disminuye la evapotranspiración y la radiación solar evapora fácilmente la humedad del suelo. Estos eventos alteran el microclima al aumentar la temperatura y evitar la acumulación de humedad.

Por otro lado, durante las precipitaciones se incrementa la escorrentía superficial y se reduce la infiltración hacia los acuíferos, la combinación de ambos fenómenos incrementa el caudal de los cauces naturales en la estación lluviosa y genera sequías durante la época seca (Fig. 5). Para las actividades antrópicas, esto se traduce en riesgos por incremento de vulnerabilidad ambiental.

Pérdida de suelo. Al no encontrar resistencia del follaje, tanto las ráfagas de viento como las gotas

de agua golpean directamente la superficie del suelo arrastrándola consigo. Como resultado, el suelo disminuye su profundidad, perdiendo una gran cantidad de nutrientes y materia orgánica esencial tanto para la producción agrícola como para la regeneración natural. Asimismo, la capa superficial del suelo usualmente contiene humus que lo protege de la erosión, permite mayor infiltración de agua y sirve de hábitat para muchas especies, pero esta capa ya no se regenera sin la cobertura vegetal.



Figura 5. Deforestación: este cerro ubicado sobre la Longitudinal del Norte, ha perdido su capacidad de infiltración y reducido su facultad de albergar vida silvestre observándose el daño causado por la escorrentía. Asimismo, durante la estación seca producirá menos O_2 .

Azolvamiento y eutrofización. Los cuerpos de agua acumulan sedimentos que antes retenían las zonas boscosas (azolvamiento), perdiendo profundidad y alterando drásticamente las condiciones de los ecosistemas acuáticos, especialmente la penetración de la luz por turbidez y el balance de nutrientes (Lecciones 12 y 13). La eutrofización es la acumulación excesiva de los nutrientes inorgánicos que usualmente desencadena proliferaciones algales nocivas e incremento de la acción descomponedora microbiana, ambas acciones pueden disminuir el oxígeno disuelto en el agua y alterar el pH hasta niveles no tolerados por las especies originales del ecosistema.



Figura 6. Eutrofización. Sustancias nutritivas y contaminantes son arrastradas o vertidas a los cuerpos de agua, cambiando sus condiciones al punto de desequilibrar el ecosistema.

Contaminación. Es la introducción de elementos extraños a cualquiera de los componentes ambientales que produce una o más alteraciones nocivas como inestabilidad, desorden, daño o disconformidad a los sistemas naturales, artificiales (antrópicos) o a los seres vivos.

Los elementos contaminantes bien pueden ser de naturaleza física, en forma de un cuerpo extraño como los residuos plásticos o energía como el sonido; química, en forma de sustancia como el petróleo; o también biológica, en forma de un ser vivo o virus como las especies invasoras y las enfermedades.

La contaminación afecta las condiciones óptimas para el desarrollo de los seres vivos, produciendo pérdida de hábitats y de biodiversidad, pero también afecta el desarrollo de las actividades humanas como usuarios de los recursos y de las condiciones del ambiente.

En El Salvador es especialmente significativa la contaminación de los ecosistemas acuáticos (Fig. 7). La eutrofización por agroquímicos (Fig. 6), la deposición de residuos sólidos e introducción de sustancias nocivas afectan no solo la supervivencia de la biota, sino la salud de la población en general, que utiliza el agua para consumo directo, riego de cultivos y producción de alimentos. Asimismo, resultan contaminados los productos de la pesca y recolección.



Figura 7. Los ecosistemas acuáticos se ven severamente afectados por la contaminación.

Extracción de fauna silvestre. La fauna silvestre cumple diversas funciones que mantienen el equilibrio de los ecosistemas y se traducen en múltiples servicios ambientales como control de plagas, polinización y aireación del suelo. Estos beneficios se pierden ante la extracción no regulada de ejemplares silvestres, ya sea como presas de cacería (Fig. 8), fuente de medicinas, mascotas o simplemente por creencias populares infundadas como “las culebras son malas”. *¿Qué pasaría si por ejemplo, en una comunidad rural de agricultores se eliminaran las serpientes?* Se dispararían las poblaciones de ratas e insectos potencialmente perjudiciales para la salud y para las cosechas.



Figura 8. Comercio de vida silvestre para consumo.

De igual manera ocurre con las especies acuáticas como ha sucedido con los moluscos del género *Anadara* que incluye “curiles” y “cascos de burro”. Su función principal es la filtración del agua; sin embargo, su extracción insostenible

(con apenas algunas zonas para cultivo) los coloca en peligro de extinción. Sea cual sea el caso, las poblaciones saludables brindan a los ecosistemas mayor capacidad de adaptación a cambios en las condiciones ambientales.

Por supuesto, cada problema tiene sus causas que, en el caso de El Salvador, vienen dadas principalmente por circunstancias socio-económicas como la sobrepoblación, la pobreza, el nivel de consumo al que se aspira y la educación en general. *Por extraño que parezca, la manera más efectiva de combatir los problemas ambientales es mejorando la situación socioeconómica de manera integral, con miras hacia un desarrollo sostenible.*

CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

Así como los ecosistemas no están limitados por fronteras políticas, los modernos sistemas de superproducción y la estandarización del modelo económico permiten la utilización global de los recursos naturales. La enorme capacidad modificadora que esto representa conlleva riesgos y responsabilidades importantes como la ahora llamada globalización de los problemas ambientales. Este fenómeno tiene su principal representante en el *cambio climático*.

Clima y tiempo atmosférico.

El clima es la *condición promedio del tiempo atmosférico en una región específica, durante un largo período de tiempo* (por lo general es de treinta años). El tiempo atmosférico es el estado de la atmósfera en un momento determinado, incluyendo variables diversas como nubosidad, temperatura, humedad, precipitación, viento, presión barométrica, etc. Aunque el clima de cada región es afectado por diversos factores como la latitud, altitud, presencia de cuerpos de agua o montañas, las variables determinantes del tipo de clima son la temperatura (Fig. 9) y las precipitaciones.

El efecto invernadero

ACTIVIDAD 2. (Elaboración: 20 minutos)

EL EFECTO INVERNADERO

Puede utilizar esta actividad como introducción para explicar los principios del efecto invernadero y luego hacer una analogía a las causas del cambio climático.

Materiales

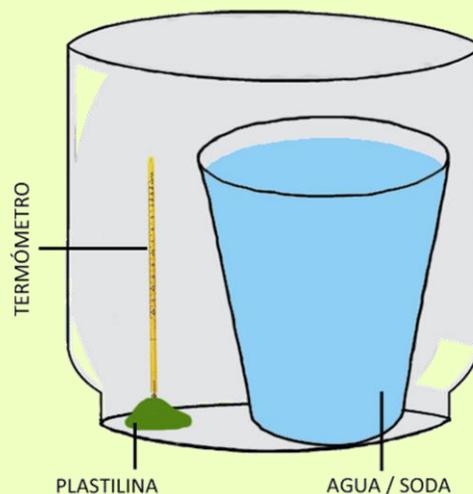
- 2 frascos transparentes grandes.
- 2 vasos transparentes que quepan en los frascos.
- 3 termómetros.
- 1/2 barra de plastilina.
- Bebida carbonatada: Soda incolora o agua mineral a temperatura ambiente.
- Un poco de agua a temperatura ambiente.

Procedimiento

Asístase de los estudiantes para identificar un lugar soleado y colocar los materiales de la forma siguiente:

Sobre una superficie plana, forme una base de plastilina para cada termómetro, de forma tal que permanezcan erguidos. Coloque cada vaso cerca de los termómetros, y vierta en uno la bebida carbonatada y en otro el agua (destape la bebida hasta el momento de verterla).

Cubra ambos elementos con los frascos invertidos, de tal manera que cada frasco contenga un vaso y un termómetro como se muestra en la figura. Utilice el tercer termómetro como control de la temperatura ambiente fuera de los frascos.



Coloque los utensilios en el sitio soleado durante dos horas y luego pida al estudiantado tomar lectura de los termómetros. Pregúnteles *¿qué ocurre?* Deberá estar más cálido el frasco donde había soda.

Nuevamente interrogue *¿por qué pasa esto?* El CO_2 contenido en la bebida se libera al interior del frasco por acción de la radiación solar que penetra fácilmente y eleva la temperatura de la solución. Este, aunado al vapor de agua atrapa parte de la radiación reflejada como energía calórica.

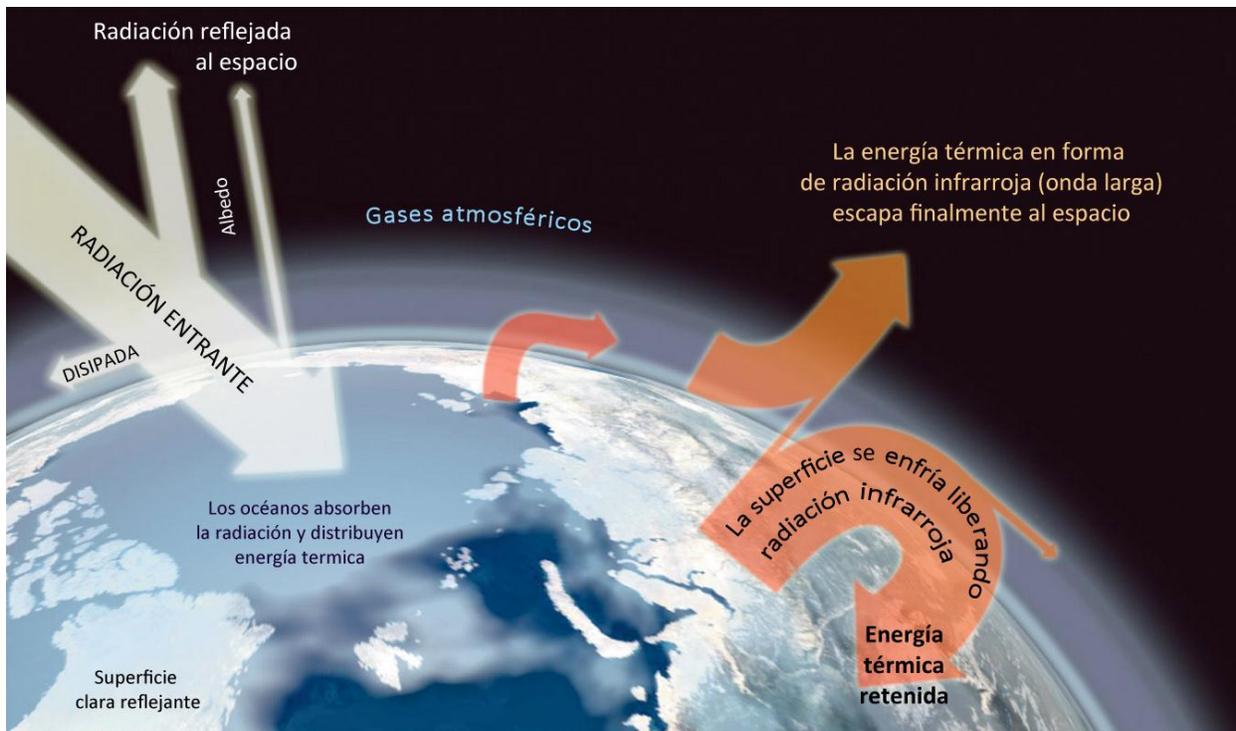


Figura 10. Curso de la radiación solar y efecto invernadero.

La temperatura juega un papel crucial para las condiciones climáticas a escala global, dado que influye en la ocurrencia de distintos fenómenos atmosféricos, incluyendo la distribución de las precipitaciones. Si bien existe una diversidad de climas en las distintas regiones del planeta, en general todos presentan condiciones apropiadas en cuanto a estabilidad como para albergar vida.

La “hospitalidad” del clima terrestre se debe a que la dinámica de la atmósfera y las masas oceánicas distribuyen en forma de calor el incremento de temperatura superficial producida por la incidencia de radiación solar sobre la superficie terrestre (Fig. 10). ¿Cómo ocurre este fenómeno? Cuando la radiación solar llega al planeta, una parte es reflejada hacia el espacio por la atmósfera y las superficies claras del planeta (albedo); no obstante, la gran mayoría atraviesa la atmósfera para ser absorbida por los océanos, bosques y superficies oscuras, donde se convierte en energía calórica, emitiendo radiación de onda larga (infrarrojo) de nuevo hacia la atmósfera. Parte de esta radiación es

retenida en la atmósfera y a esto se le llama *efecto Invernadero* (Fig. 10 y 11).

El efecto invernadero es un fenómeno natural debido a la composición química de la atmósfera, la cual contiene gases como el vapor de agua, CO_2 , CH_4 y óxido nitroso (N_2O) también conocidos como *gases de efecto invernadero* (Fig. 11). Estas moléculas absorben los fotones infrarrojos, lo que incrementa su energía de rotación y vibración molecular. La energía adquirida se transfiere a otras moléculas por colisiones moleculares en forma de energía cinética, incrementando la temperatura del aire.

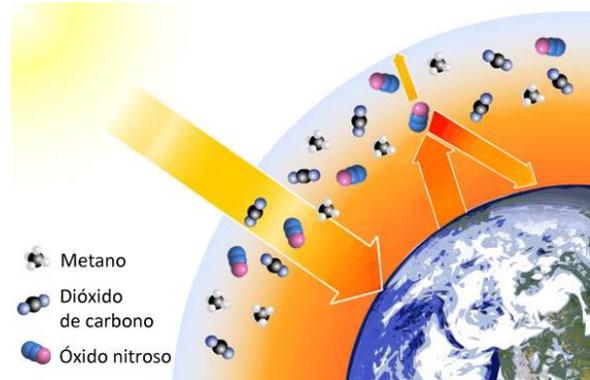


Figura 11. Gases de efecto invernadero.

La retención de calor atmosférica es proporcional a la cantidad de gases de efecto invernadero presentes en esta. Asimismo, las fluctuaciones naturales de los gases son procesos muy lentos que permiten mantener la temperatura atmosférica promedio casi invariable incluso durante miles de años. El aumento eventual de esta temperatura promedio es llamado *calentamiento global* y su proceso contrario es el *enfriamiento global*. Ambos fenómenos han ocurrido naturalmente en repetidas ocasiones durante la historia del planeta, trayendo consigo *cambios climáticos* y de la estacionalidad global; no obstante, la lentitud del proceso posibilita la adaptación de las especies.

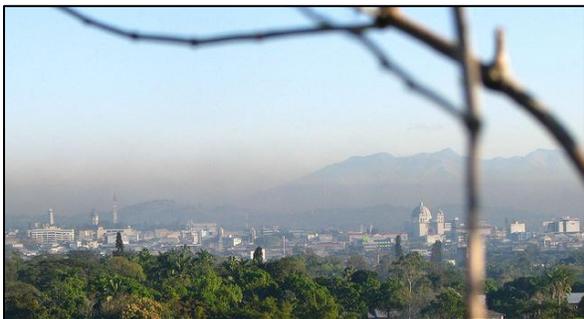


Figura 12. San Salvador emite diversas emanaciones tóxicas.

Cambio climático global

El cambio climático es una variación significativa y duradera en la distribución de los patrones de tiempo atmosférico, pudiendo incluir cambios en las condiciones de este y en la intensidad de los fenómenos atmosféricos. La periodicidad de un cambio climático puede expresarse en millones de años y sus causas pueden ser variables; no obstante, desde mediados del s. XX se ha evidenciado un “acelerado” proceso de cambio climático aparentemente generado por la intensificación del efecto invernadero y el subsecuente aumento de temperatura global.

La alteración del efecto invernadero se produce cuando las emanaciones antrópicas incrementan la concentración atmosférica de los gases responsables, especialmente el CO_2 que se libera como residuo en la quema de combustible fósil

(petróleo) y sus derivados, así como el CH_4 liberado por diversas actividades agropecuarias y procesos industriales (Figs. 12 y 13). Los óxidos de nitrógeno derivados de la actividad vehicular, así como los clorofluorocarbonos (CFCs) contribuyen en menor medida al fenómeno.



Figura 13. Los países industrializados, especialmente los Estados Unidos, producen una gran cantidad de CO_2 .



El calentamiento global se acrecienta conforme las emanaciones de CO_2 , procedentes en mayor medida de los países industrializados, continúan acumulándose en la atmósfera. Al mismo tiempo, la superficie boscosa capaz de fijarla, desaparece a un ritmo alarmante en los considerados países en vías de desarrollo. A medida incrementa la temperatura, las implicaciones climáticas son cada vez más severas.

Efectos del cambio climático

El cambio climático afecta mucho más que sólo el tiempo atmosférico. Además de redistribuir las características de los eventos atmosféricos, impulsa cambios estacionales que juegan un papel crucial en los ecosistemas. En adición, dado que múltiples sistemas naturales de donde se extraen recursos están ligados al clima, un cambio en sus patrones repercute directamente en la economía y cultura de las naciones.

El clima influye directa e indirectamente en la distribución de ecosistemas y la construcción de asentamientos humanos, provocando:

– Redistribución y alteración de intensidad de las lluvias (Fig. 14). La lluvia determina la cobertura vegetal y con ello la estructura y formación de los ecosistemas. La producción de alimentos se basa en las lluvias que también dictaminan la disponibilidad de agua para las comunidades. La intensidad de las precipitaciones puede constituir una seria amenaza para comunidades vulnerables ante inundaciones y deslizamientos.



Figura 14. Centroamérica ya sufre las consecuencias de la alteración climática en cuanto a lluvias y vientos.

– Pérdida de biodiversidad. Muchas especies desaparecen al no poder adaptarse a los cambios ambientales, mientras que otras migran en busca de condiciones más adecuadas. En los nuevos territorios, las especies que amplían su distribución compiten por recursos con las especies nativas.

– El aumento de temperatura promueve el deshielo en los polos que a gran escala provoca un incremento en los niveles oceánicos y disminución de la salinidad. Esto constituye una enorme amenaza considerando que el 66% de la población mundial vive en áreas costeras (Fig.15).



Figura 15. Las zonas costeras de El Salvador se encuentran densamente pobladas.

– Sequías. Al redistribuir las lluvias, algunas zonas tendrán menos precipitación de lo habitual, al mismo tiempo que el aumento de temperatura fomenta una rápida evaporación (Fig. 14). Ambos eventos tienden a agudizar las sequías.

– Alteración de ciclos bióticos. El cambio en patrones de lluvia y temperatura afecta el florecimiento de las plantas y su fructificación, la eclosión de huevos y las corrientes marinas. Esto repercute en una serie de eventos biológicos sincronizados de importancia ecosistémica y antrópica como la polinización, las migraciones, los desoves de peces y más. Asimismo, los niveles de CO₂ afectan otros factores como la velocidad de regeneración de los bosques, el crecimiento de insectos y la calcificación de los arrecifes.

Se debe recordar que estos efectos ocurren a escala global y muchos de ellos son irreversibles. De continuar las tendencias actuales, a mediano plazo se prevén eventos aún más serios como la redistribución de los desiertos, el derretimiento de los polos y la pérdida masiva de biodiversidad, con todas las posibles repercusiones negativas que esto representa para la sociedad.

REDUCCIÓN DE RIESGO: LA GESTIÓN INTEGRADA DE RIESGOS (GIR)

En El Salvador, son recurrentes las consecuencias adversas en cuanto a pérdidas materiales, financieras y sobre todo en las vidas humanas, que se derivan de los distintos eventos naturales ocurridos dentro del territorio nacional, tales como lluvias, terremotos, erupciones, entre otros. Como un error histórico, estos eventos se catalogaron como “desastres naturales” y aún permanecen así en gran parte de la percepción pública; sin embargo, existen dos problemas fundamentales en tal enfoque:

- Si los desastres son “naturales”, entonces son inevitables.
- Si los desastres son “naturales”, la sociedad no incide en ellos.

Las trágicas experiencias regionales fueron cambiando esta perspectiva y demostrando la incidencia humana en los “desastres naturales”. En efecto, hacia finales del s. XX se impulsaron en Centroamérica grandes transformaciones socio-económicas y con ellas se presentaron nuevos y más intensos episodios de desastre. Los eventos naturales extremos no habían incrementado su intensidad, pero la población y el uso del territorio eran completamente distintos. Es así como se comienza a hablar del desastre como una *probabilidad con incidencia antrópica* y no como un fenómeno natural, surgiendo la terminología de *riesgos a desastre*.

Para la década del 2000, se había fortalecido la atención a emergencias y el monitoreo de fenómenos naturales considerados amenazas. Ambos elementos, aunque importantes, estaban centrados en el desastre y no en el verdadero propósito de atención: garantizar adecuadas condiciones de vida para la población, en otras palabras, *la seguridad como condición para el desarrollo*. Este cambio de enfoque es ahora implementado bajo la figura de Gestión Integrada de Riesgos (GIR), cuyos componentes y marco conceptual se exponen a continuación.

¿Por qué riesgos?

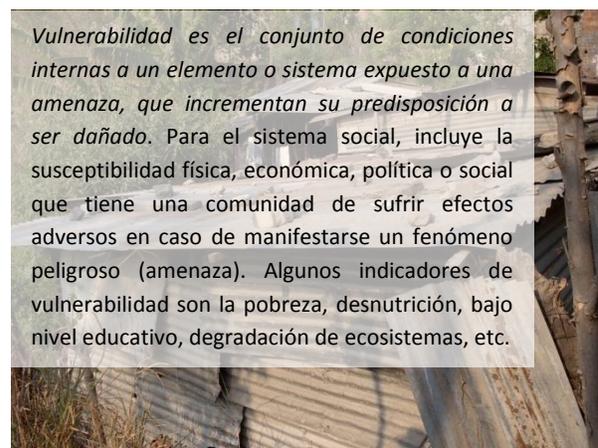
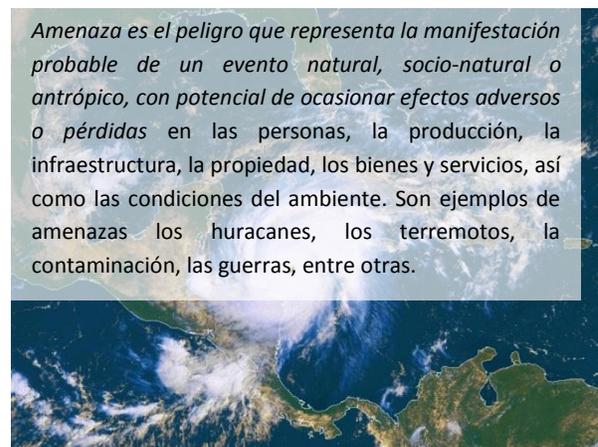
La palabra *riesgo* implica *posibilidad*. Se entiende que sociedad y sistemas naturales interactúan generando condiciones variables, algunas de las cuales son *potencialmente perjudiciales*. En el peor de los casos, la alteración se traduce en “desastre”. Bajo ninguna circunstancia los así llamados desastres son “naturales”, estos son *una apreciación social y, hasta cierto punto, una construcción antrópica cuando se alteran los sistemas naturales*. Para el enfoque de riesgos, el componente “natural” lo conforman los eventos cíclicos que ocurren en estos sistemas naturales.

El riesgo es entonces *la probabilidad de sufrir consecuencias perjudiciales o pérdidas causadas*

por la interacción entre los distintos eventos de origen natural, antrópico o socio-natural (así llamados amenazas) y las condiciones de vulnerabilidad. Ciertamente, en El Salvador los riesgos son altos y los desastres frecuentes debido a que la magnitud e incidencia de eventos perjudiciales se incrementa con la alteración de los sistemas naturales, tan maltratados a causa del uso inadecuado del territorio y sus recursos, así como por las condiciones socioeconómicas que producen vulnerabilidad.

Los componentes del riesgo

Como se ha visto, el riesgo surge de la interacción entre amenazas y vulnerabilidad, pero ambas están condicionadas a un tercer factor interno: la capacidad. De acuerdo con los organismos centroamericanos y nacionales de riesgo, los tres factores se definen de la manera siguiente.





Capacidad es la combinación de todas las fuerzas y recursos disponibles dentro del sistema social, que pueden reducir el nivel de riesgo o sus efectos.

La interacción entre los tres elementos: amenaza, vulnerabilidad y capacidad, puede representarse de la forma siguiente.

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}}{\text{Capacidad}}$$

Como se observa, tanto las amenazas como la vulnerabilidad guardan proporcionalidad directa con el riesgo, pero la capacidad es inversamente proporcional a este. Asimismo, se considera que si una amenaza no existe (valor de 0), no puede haber riesgo; por ejemplo, dado que en El Salvador no hay tormentas de arena, aunque no exista capacidad de respuesta y los sistemas sean altamente vulnerables, no habrán consecuencias adversas a causa de ellas.

Por otro lado, ya que los tres componentes tienen un carácter social, el riesgo es siempre social. Puesto que las amenazas lo son para sólo para las personas, cuando un fenómeno natural extremo ocurre en un área despoblada, esto se considera parte del ciclo natural, aun si altera drásticamente las condiciones ambientales; sin embargo, una condición de desastre puede darse en un área natural cuando el evento extremo es un producto antrópico y la sociedad, total o parcialmente, así lo considere.

Análisis y reducción de riesgo

La generación y manejo de información referente a las amenazas, el estado de vulnerabilidad y las capacidades en un territorio y momento específico es llamada análisis de riesgos. Resulta de vital importancia para la GIR ya que permite determinar el alcance de los riesgos presentes y futuros, facultando la toma de decisiones, así

como la planificación y ejecución de acciones adecuadas para su reducción o prevención.

El término reducción de riesgos deriva de su carácter probabilístico. Se define como el *marco conceptual de los elementos a considerar, con el fin de minimizar las vulnerabilidades y aumentar las capacidades que limitarán el impacto adverso de las amenazas y facilitarán el desarrollo*. Esto es especialmente importante en El Salvador, ya que cuando los eventos naturales extremos constituyen amenazas, al no ser controlados por el ser humano, la única forma de reducir riesgos es a través de la vulnerabilidad y las capacidades de la población (Fig. 16).



Figura 16. Cárcavas del gran San Salvador. La precipitación no puede controlarse, pero el riesgo puede reducirse al atacar la vulnerabilidad de la población, mejorando sus condiciones de vida (desarrollo).

Aunque los eventos naturales extremos no sean controlados por el ser humano, su actividad sí influye sobre estos, como es el caso del cambio climático. El trastorno del clima incluye aumentos en el número e incidencia de eventos extremos, y con ello, se limita la capacidad de predicción y respuesta. Actualmente toda estrategia moderna de reducción de riesgos incluye un componente de adaptación al cambio climático. El análisis de riesgo sucesivo, ha determinado que una medida crucial para hacer frente a las amenazas de este tipo, es conservar saludables los ecosistemas, en la medida que ellos ofrecen servicios de protección ante eventos extremos y bienes para la recuperación ante desastres (Fig. 17).



Figura 17. El cultivo en favor de pendiente genera riesgos al aumentar la vulnerabilidad. Degrada ecosistemas, aumenta la susceptibilidad a deslizamientos y vuelve insostenibles los sistemas de productivos, peligrando los medios de vida.

Emergencia y desastre

Como se ha observado antes, el riesgo no incluye necesariamente el desastre, aunque este último no puede desarrollarse sin el primero. Ambos constituyen fenómenos sociales, por lo que el riesgo a desastre es *la probabilidad de que en un sitio y momento particular, se presente un nivel de consecuencias socioeconómicas adversas que excedan lo “socialmente aceptable”, y a tal punto que la sociedad o uno de sus componentes vean severamente interrumpido su funcionamiento, de manera que no puedan recuperarse en forma autónoma, sino a través de la asistencia* (Fig.18).



Figura 18. Terremoto de 1986. Aunque las amenazas sean naturales, los desastres son estrictamente sociales.

Una emergencia es entonces aquella situación relacionada con la ocurrencia de una amenaza o su inminencia, que exige de una atención y respuesta inmediata del Estado, la comunidad en general y otras instituciones involucradas. Esta

reacción es limitada por el *“riesgo aceptable”*, o sea todas *aquellas posibles consecuencias socio-económicas que una sociedad o segmento de la misma asume o tolera en forma consciente por considerar innecesaria, inoportuna o imposible una intervención para su reducción dado un contexto específico.*



Figura 19. Puente en Aguilares, en el departamento de San Salvador, luego de la tormenta Ida. Solo existe desastre cuando la sociedad así lo considere.

La propuesta de GIR

La GIR es el *marco conceptual y conjunto de acciones encaminadas al análisis y reducción de riesgos, el manejo de eventos adversos, así como la atención de sus efectos perjudiciales y medidas de recuperación cuando sea necesario*; entendido esto como una garantía para generar desarrollo.

Es un campo multidisciplinario que compete a todos los actores sociales, lo cual le brinda integralidad. Las estrategias de GIR, en la perspectiva del desarrollo, no se reducen a identificar las amenazas, vulnerabilidades y capacidades (caracterización técnico-científica), a la mejora de infraestructura o a la atención de eventos extremos y desastres, sino que impulsan una serie de medidas como: fortalecer los medios de vida a través de la gestión de recursos naturales, la generación de empleos e ingresos; desarrollar gestión ambiental; hacer planificación territorial y de usos del suelo; procurar

mecanismos de protección financiera; atender la gobernanza urbano-rural; así como desarrollar el capital social y mejorar servicios de educación, salud, comunicación y alimentación, etc. (Fig. 20).



Figura 20. El eje central de la GIR es el desarrollo.

SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL

La alimentación es una de las necesidades básicas humanas. Así como el agua, los alimentos son recursos indispensables e insustituibles para la sociedad y de su abastecimiento depende no solo el desarrollo biológico sino el desempeño de las tareas individuales que mantienen la cohesión social y los tejidos productivos, de tal manera que no se puede pensar en desarrollo sin una garantía alimentaria. Incluso la pobreza de ingresos se define en función de la alimentación, como aquellas personas con ingresos inferiores al precio de la canasta básica de consumo.

La seguridad alimentaria y nutricional (SAN) surge en efecto luego de la crisis mundial de alimentos entre 1972 y 1974, con énfasis en abastecimiento mundial y nacional de alimentos. En la década de 1980 el concepto se amplía a nivel de hogar para garantizar acceso físico y económico a alimentos. Investigaciones paralelas demostrarían asimismo la relación directa entre nutrición y desarrollo. Actualmente, la SAN no sólo se relaciona a salud y alimentación, sino que incluye toda una serie de condiciones sociales, políticas y económicas que garantizan el acceso y adecuada utilización biológica de alimentos saludables y aceptables, como medios de desarrollo sostenible.



Una buena manera de reducir la vulnerabilidad y aumentar las capacidades es garantizar la Seguridad Alimentaria y nutricional (SAN). Los programas gubernamentales como la alimentación escolar, el vaso de leche, los huertos escolares y la entrega de semillas mejoradas, son buenos ejemplos de medidas que fomentan la SAN e incentivan la productividad, a la vez que reducen riesgos.

Nutrición y desarrollo sostenible

La serie de eventos vinculantes entre nutrición y desarrollo da lugar a dos condiciones cíclicas. La primera de ellas, es llamada *círculo vicioso de la desnutrición y subdesarrollo*. Este implica que las madres desnutridas concebirán infantes con la misma condición, estos niños no desarrollarán toda su potencialidad física y mental, siendo muy susceptibles a enfermedades, con problemas de aprendizaje, con retardo en crecimiento, etc. Por lo tanto, cuando lleguen a adultos (si superan una elevada tasa de mortandad) serán mucho menos productivos y creativos, así también presentarán problemas de nutrición como la obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Las consecuencias de esta condición se presentan en la Figura 21.



Figura 21. Círculo vicioso del subdesarrollo. InSAN = Inseguridad alimentaria y nutricional.

La segunda condición surge cuando se promueve una nutrición adecuada y es llamada *círculo virtuoso de la nutrición*. Este refleja cómo un mejoramiento en las condiciones nutricionales, sobre todo durante el embarazo y la edad temprana, incide directamente en mejorar su capital humano cuando adultos, lo que a la vez mejora el ingreso y la productividad. Los efectos de esta condición se resumen en la Figura 22.



Figura 22. Círculo virtuoso del desarrollo.

¿Cómo pasar de una condición a otra?

Ya que la SAN es un componente de desarrollo, lograrla se enmarca en un contexto amplio y diverso de circunstancias que deberán atenderse con la misma importancia que el abastecimiento y consumo de alimentos. Estas circunstancias y su relación con el desarrollo se detallan en la Figura 23.

Superar la InSAN requiere atender las distintas condiciones socio-ambientales que la producen, pero ¿cómo saber si existe SAN?, o dicho de otra forma, ¿en qué condiciones se considera existe SAN? En Centroamérica, la SAN se define como *el estado en el que todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro del desarrollo*. Por tanto, constituye a la vez un derecho, una estrategia, una política y un propósito de desarrollo.

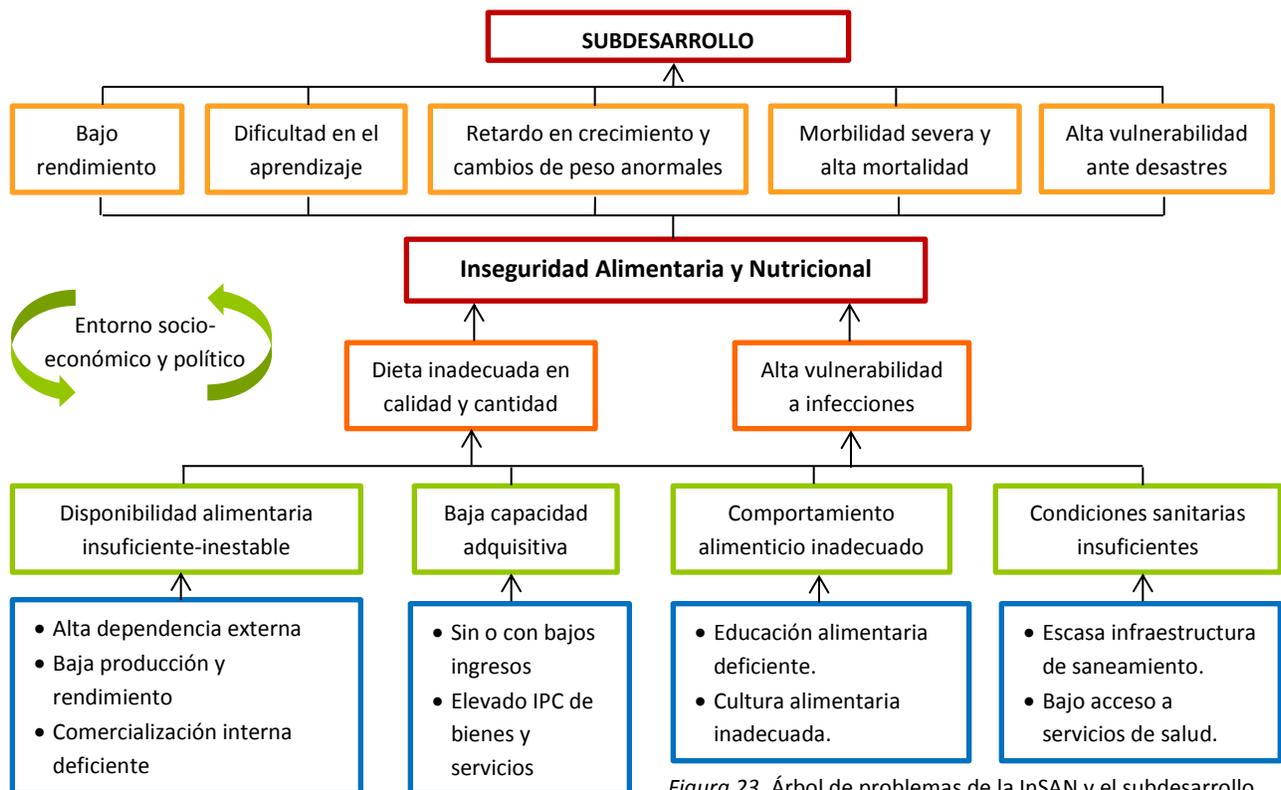


Figura 23. Árbol de problemas de la InSAN y el subdesarrollo.

Determinantes de la SAN

La SAN depende de varios determinantes, los cuales pueden resumirse en cuatro componentes o pilares básicos:

1. **Disponibilidad de los alimentos.** Es el aspecto más básico de la SAN a todo nivel (regional, nacional, local, etc.), ya que todos los demás pilares dependen de la existencia suficiente de alimentos para la población. Está determinado a nivel macro o nacional por la producción y comercio interno de alimentos; el flujo de importaciones y exportaciones; así como por asistencias externas de alimento (ayudas). Si un país no produce suficiente alimento para la población, como ocurre en El Salvador, deberá tener solvencia económica para importarlo.

Otro aspecto importante son las reservas de alimentos que deben garantizar suficiencia ante situaciones adversas, así como mantener al mínimo las pérdidas postcosecha.

A escala local, la disponibilidad se ve afectada por las tecnologías de producción, el manejo de cultivos y el almacenamiento de cosechas, pero también por factores ecológicos del territorio como tipos de suelo, hidrología, horas sol, etc. La adecuada distribución de roles y una producción casera mejoran la disponibilidad de alimentos (Fig. 24).

2. **Acceso a los alimentos.** Que un país produzca o importe suficiente alimento para toda su población, no garantiza que este llegará por igual a todos los habitantes. En primer lugar es necesaria infraestructura adecuada para su transporte y comercio; pero más importante aún, se debe garantizar que las personas, cuya gran mayoría no produce alimento, tengan la capacidad económica de adquirirlo por completo o en cantidad suficiente para suplir lo que no produce. En este punto cobra importancia la proporción de personas que viven en la ciudad o el campo, el empleo y su remuneración (supeditado a la educación), así como el precio de la canasta básica.

3. **Aceptabilidad y consumo de los alimentos.** Se refiere a la preferencia de ciertos alimentos. Es el resultado de un proceso condicionado por el grado de dependencia del autoabastecimiento familiar y del mercado (antes se compra lo que se puede), y por diversos factores subjetivos como la información y la cultura. Es muy importante porque determina una nutrición adecuada, aunque la persona pueda adquirir todos sus alimentos, esto no garantiza que supla sus requerimientos o bien los exceda. El aspecto más importante aquí es la educación de la población, aunque también influye el estado de ánimo, el tiempo para escoger alimentos y su forma de preparación.

4. **Utilización biológica de los alimentos.** Se refiere al uso que hace el organismo de los nutrientes consumidos. Aun cuando se coman alimentos de calidad y en cantidad suficiente, puede que no se utilicen al máximo. Esto depende de diversos factores como el grupo etario, las enfermedades, la forma de preparación y la inocuidad de alimentos.



Figura 24. La SAN incluye una serie de medidas desde la adecuada producción hasta la aceptación de alimentos.

EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Existen variantes para describir las circunstancias que precisan el concepto de desarrollo, pero una definición básica de este, es *una mejora en la*

calidad de vida de las personas; la cual, puede efectuarse siguiendo diversos caminos. Para determinar el nivel de desarrollo, actualmente se utiliza el *índice de desarrollo humano (IDH)*, que tiene su base en tres preceptos:

- Todas las personas desean vivir lo más posible.
- Todas las personas desean acceso a educación.
- Todas las personas desean contar con ingresos mínimos (algunos dirían máximos).

Lejos de ser perfecto, el IDH brinda una idea del estado de desarrollo en un país, donde 0.8 de 1 se considera un nivel adecuado; por debajo de este, es inaceptable para un país industrializado, pero para los países en vías de desarrollo es una aspiración. Se debe tomar en cuenta que para las sociedades modernas, una mejora en la calidad de vida hasta este punto implica una ampliación de oportunidades y libertades con respecto a múltiples dimensiones como salud, nutrición, acceso al conocimiento, acceso a servicios, y el disfrute de libertades civiles, sociales y culturales. Lograr tales condiciones implica necesariamente una fuerte inversión, por lo que el desarrollo está ligado al crecimiento económico y es aquí donde entra la sostenibilidad.

La sostenibilidad

Sostenibilidad significa brindar las circunstancias y los recursos necesarios para mantener una condición específica. Como la sostenibilidad aplica a distintos sistemas, existen distintos tipos de sostenibilidad, por ejemplo financiera, política o ecológica. Lo principal es determinar cuál es la condición por mantener. En el caso del desarrollo, promover una mejora en la calidad de vida requiere de cierto nivel de crecimiento (capital social y económico) que se impulsa sobre el uso de recursos naturales. Hasta ahora, el sistema económico dominante no escatima en este uso de recursos para impulsar un rápido crecimiento exponencial como medida de desarrollo (Fig. 25).



Figura 25. Las forma de vida y los métodos tradicionales de producción hacen insostenible el crecimiento mismo, este último tampoco implica desarrollo.

El problema que se presenta es doble: por un lado, dado que el planeta es finito, *no existen* recursos suficientes para mantener un nivel de crecimiento exponencial infinito. Por otra parte, el crecimiento económico es sólo una de las condiciones necesarias del desarrollo.

Con 7 000 millones de personas (y creciendo) la demanda de recursos actual equivale al 125% de la capacidad de regeneración de los ecosistemas del planeta. De ninguna manera tales condiciones derivadas de la sinergia entre superpoblación y los patrones de consumo, pueden mantener un crecimiento físico continuo. Lejos de ello, la misma fórmula amenaza actualmente con el retroceso de garantías sociales. Si bien no es viable detener el crecimiento, sí lo es cambiar la forma en que se genera, transformando los sistemas de producción y consumo hacia un uso más eficiente de materiales (Fig. 26). Esto es llamado desmaterialización.



Figura 26. Desarrollo sostenible implica una producción más eficiente a largo plazo.

Como se mencionó en la Lección 10 (Los Recursos Naturales), se debe entender que el desarrollo es mucho más que mero crecimiento económico. El primero es sinónimo de calidad de vida y el segundo lo es de acumulación de riqueza. *En el núcleo del concepto de desarrollo se encuentran las personas y sus oportunidades, no la riqueza que poseen, el ingreso que devengan, las mercancías y servicios que consumen o sus percepciones de bienestar.*

¿Qué implica el desarrollo sostenible?

Desarrollo sostenible es un *proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, que lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social, la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo, sustentándose en equilibrio ecológico y el soporte vital.* Lograrlo implica inclusividad, en forma de respeto a la diversidad étnica y cultural, así como la plena participación ciudadana. Todo bajo una convivencia pacífica y en armonía con el ambiente, que garantice la adecuada calidad de vida de las generaciones futuras (Fig. 27).

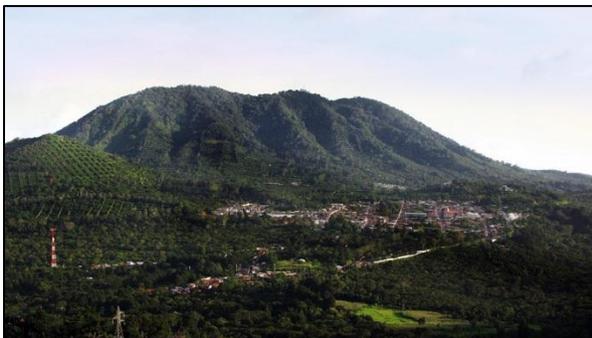


Figura 27. Desarrollo sostenible implica un mejoramiento de calidad de vida, haciendo uso adecuado de los recursos.

Dentro del enfoque de Desarrollo Sostenible, la calidad de vida de los ciudadanos debe generarse mediante actividades productivas basadas en procesos limpios y en armonía con los sistemas naturales, que garanticen su propia continuidad; generando bienestar para las presentes generaciones sin comprometer el de las futuras.

De manera inherente, lograr un aprovechamiento adecuado de los recursos disponibles implica un conocimiento cuanto más preciso de los diversos aspectos involucrados, así como de las complejas interacciones que se pueden llevar a cabo entre ellos dentro de un territorio específico; incluyendo aquí, tanto los factores ambientales, como socioeconómicos, político-ideológicos y culturales que brindarán la integralidad al concepto (Fig. 28).



Figura 28. Los espacios públicos y el fomento cultural son parte importante del desarrollo sostenible.

Los antecedentes regionales

Los esfuerzos centroamericanos para lograr el cambio necesario en el enfoque de desarrollo hacia la sostenibilidad, se enmarcan dentro de la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (ALIDES). La ALIDES manifiesta que las áreas básicas por fortalecer por los gobiernos para propiciar desarrollo sostenible son: democracia; desarrollo sociocultural; desarrollo económico sostenible y el manejo sostenible de los recursos naturales y mejora de la calidad ambiental.

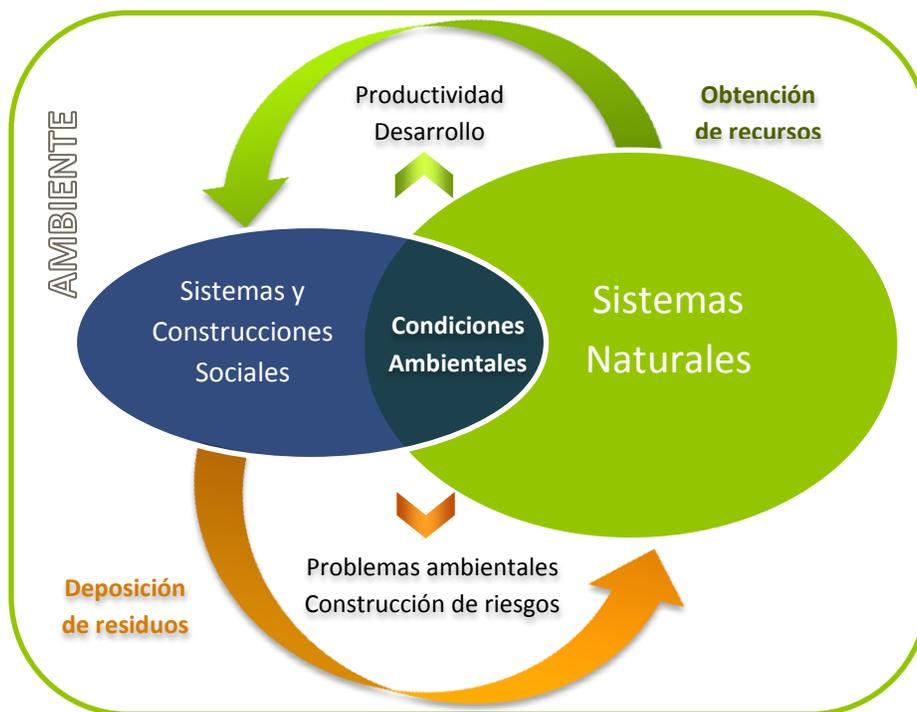
Por otra parte, en la ALIDES también establecen los principios fundamentales que los habitantes deben adoptar hacia el desarrollo sostenible, siendo estos:

1. El respeto a la vida en todas sus formas.
2. El mejoramiento de la calidad de vida.

3. El respeto y aprovechamiento de la vitalidad y diversidad de la tierra de manera sostenible.
4. La promoción de la paz y la democracia como formas básicas de convivencia humana.
5. El respeto a la pluriculturalidad y diversidad étnica de la región.
6. El logro de mayores grados de integración económica entre los países; y
7. La responsabilidad intergeneracional con el desarrollo sostenible.

Para El Salvador, como en Centroamérica, es aún necesario impulsar un crecimiento material como parte del desarrollo; no obstante, los niveles de consumo-bienestar y las características integrales que propone el desarrollo sostenible se perfilan como el mejor camino para lograr una adecuada calidad de vida, con equidad, respeto y uso adecuado de los recursos de la biosfera.

RESUMEN



Si desea enriquecer más su conocimiento, consulte:
 Bindé, J. (Dir.) (2007). *Firmemos la paz con la tierra. Coloquios del siglo XXI* (UNESCO). Guatemala: Oscar de León Palacios.

Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central –CEPREDE NAC– (2007). *Glosario actualizado de términos en la perspectiva de reducción de riesgo a desastres*. CEPREDENAC. Recuperado en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/z6xAz>

Desonie, D. (2007) *Climate, causes and effects of climate change*. New York: Chelsea House. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/ENPdl>

HM Treasury (2007). *Stern review: La economía del cambio climático*. United Kingdom. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/5JS0o>

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá – INCAP/OPS (s.a.). Publicación MDE/154: *Diplomado SAN– Unidad 1. Marco conceptual de la seguridad alimentaria y nutricional*. Recuperado en enero de 2012, de <http://goo.gl/ljGEv>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - El Salvador (2005). *Informe 262*. San Salvador: PNUD. Extraído en diciembre de 2012, de <http://goo.gl/1iWxL>

Windows2universe (2011). *Albedo*. Extraído en diciembre de 2011, de <http://goo.gl/7B7sr>

ACTIVIDAD EVALUADORA

I. Traslade el literal de la izquierda al paréntesis de la derecha correspondiente al concepto ambiental

- a) Conjunto de factores y circunstancias que afectan a los seres vivos, comprendiendo valores naturales, sociales y culturales, que se conjuntan en un momento específico. () Sociedad
- b) Movimiento activista que busca la protección ambiental a nivel ecosistémico como forma de mantener una adecuada calidad de vida. () Cambio climático
- c) Entidad poblacional conformada por individuos que interaccionan entre sí, compartiendo ciertos rasgos culturales definidos y en búsqueda de objetivos afines. () Ambiente
- d) Factores abióticos de magnitud variable en el espacio y en el tiempo, los cuales desencadenan múltiples reacciones por parte de los seres vivos, quienes pueden incidir en su magnitud. () Contaminación
() Capacidad
- e) Alteración directa de los ecosistemas o de las condiciones del entorno (natural o artificial) por acciones antrópicas. () Impacto ambiental
- f) Conjunto de condiciones internas a un elemento o sistema expuesto a una amenaza, que incrementan su predisposición a ser dañado. () Ecologismo
- g) Introducción de elementos extraños a cualquiera de los componentes ambientales que produce una o más alteraciones nocivas como inestabilidad, desorden, daño o disconformidad a los sistemas naturales, artificiales (antrópicos) o a los seres vivos. () Riesgo
- h) Variación significativa y duradera en la distribución de los patrones de tiempo atmosférico, pudiendo incluir cambios en las condiciones de este y en la intensidad de los fenómenos atmosféricos () Condiciones ambientales
- i) Probabilidad de sufrir consecuencias perjudiciales o pérdidas causadas por la interacción entre los distintos eventos de origen natural, antrópico o socio-natural (así llamados amenazas) y las condiciones de vulnerabilidad. () Vulnerabilidad
- j) Combinación de todas las fuerzas y recursos disponibles dentro del sistema social, que pueden reducir el nivel de riesgo o sus efectos.

II. Análisis

1. ¿A qué se debe la separación sociedad/ambiente en el enfoque económico tradicional? Y, de acuerdo al concepto incluyente del ambiente ¿por qué es conveniente distinguir entre sociedad-naturaleza? (X2)
2. ¿Cómo se relacionan los sistemas sociales y naturales en la construcción de riesgos? (X2)
3. ¿Cuál es la diferencia entre cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero?
4. Explique con sus palabras en qué consiste la GIR.
5. Explique con sus palabras en qué consisten los cuatro pilares fundamentales de la SAN.
6. ¿Cuál es el objetivo final que comparten la GIR y la SAN?
7. ¿Cuál es la diferencia entre crecimiento económico y desarrollo?
8. Construya una definición de desarrollo sostenible.