



Programa de la asignatura:

Ecología

U2

Funcionamiento de los Ecosistemas



DCSBA



TECNOLOGÍA
AMBIENTAL



Unidad 2. Funcionamiento de los Ecosistemas



Pez león rojo. Tomada de: www.freepik.com



Índice

Presentación de la asignatura.....	4
Competencias específicas.....	6
Actividades.....	6
2.1.1. Fuente primaria energética.....	13
2.1.2. Movimientos y transformaciones.....	15
2.1.3. Capacidad de un ecosistema para la fijación de energía.....	18
2.1.4. Fotosíntesis y fijación de carbono.....	20
2.2. Ciclos biogeoquímicos.....	22
2.2.1. Ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y del agua.....	25
2.2.2. Perturbación de los ciclos.....	34
2.3. Factores limitativos.....	36
2.3.1. Ley del Mínimo de Liebig.....	37
2.3.2. Ley de la Tolerancia de Shelford.....	39
Cierre de la Unidad.....	40
Para saber más.....	41
Fuentes de consulta.....	44



Presentación de la asignatura

En esta unidad tendrás la oportunidad de profundizar más en lo que es un **ecosistema**, cuál es su funcionamiento y cómo trabajan sus componentes, uno de los cuales es la energía, sobre la cual comprenderás sus distintos flujos y fuentes primarias, así como los movimientos y transformación de la misma en los ecosistemas. También, verás cómo trabaja la fijación y la transformación de la energía dentro de los diferentes niveles tróficos y cómo ésta se modifica por medio del proceso de fotosíntesis. De la misma forma, estudiarás la función de los ciclos biogeoquímicos dentro de un ecosistema y las consecuencias en caso de que sean perturbados o alterados al interior de la biósfera. Finalmente, revisarás cuál es la importancia de la Ley del Mínimo de Liebig y la Ley de la Tolerancia de Shelford en un ecosistema.

El concepto de **ecosistema** fue utilizado ya en el sentido actual por el ecólogo inglés **A. G. Tansley** en 1935; sin embargo, quién introduce el término como un concepto nuevo fue Roy Clapham en 1930. La conceptualización de Tansley definía al ecosistema como la unidad que agrupa a todos los organismos vivos considerando las interacciones que se dan entre ellos; es decir, entre los productores (como las plantas), los consumidores (como los animales) y finalmente los descomponedores (como los hongos y las bacterias); los cuales en su conjunto forman una comunidad (biocenosis), así como sus flujos de energía y materia.

Recuerda que la palabra **ecosistema** viene del griego *oiko* que significa casa, y se encuentra una relación con la etimología por estudiar el entorno que habitamos y sistema que son normas y procedimientos que para el caso específico del ecosistema integra a un sistema natural conformado por los individuos u organismos que en él habitan; éste comprende una serie de factores bióticos y abióticos en el medio con lo cual permite que se relacionen de manera independiente. El estudio de los ecosistemas en la actualidad abarca las interacciones entre organismos y el ambiente en el que se desarrollan. Todos los organismos vivos de una zona en particular se encuentran relacionados entre sí formando un todo sin perder sus características como individuos dentro del sistema.

De acuerdo con Odum y Barrett (2008), un ecosistema no es más que los organismos vivos interactuando con otros elementos en su entorno local; es decir, toda unidad que incluye todos los organismos, o bien una comunidad, dentro de una zona determinada interactuando con su entorno físico a manera que un flujo de energía conduzca a una estructura tróficamente definida, diversidad biótica y ciclos



de materiales por medio de los cuales se da un intercambio entre las partes vivas y no vivas dentro del sistema.

Es importante que recuerdes que los ecosistemas son la unidad base de la ecología, pues incluyen tanto a los organismos como al medio abiótico que los rodea, los cuales ejercen influencia entre sus propiedades y finalmente, en su conjunto, son parte imprescindible para sostener la vida tal y como la conoces en la Tierra.

Propósitos de la unidad



En esta unidad entenderás con mayor claridad el funcionamiento de un ecosistema, incluyendo los flujos energéticos, la fijación de la energía en los sistemas, las fuentes primarias energéticas dentro del ecosistema, la capacidad de éste para fijar la energía, y cómo la fotosíntesis funciona para la fijación del carbono. Asimismo, comprenderás qué y cuáles son los ciclos biogeoquímicos, sus perturbaciones, los factores limitativos de los sistemas y los aspectos esenciales de la Ley del Mínimo y la Ley de la Tolerancia en un ecosistema



Competencia específica



Analiza el funcionamiento de los ecosistemas para delimitar una problemática mediante el conocimiento de sus flujos, ciclos y factores.

Actividades



Las instrucciones de las actividades de aprendizaje, las podrás consultar en el espacio de *Avisos importantes*, toma en cuenta que para estas unidades se han generado actividades colaborativas, individuales, complementarias, autorreflexiones y la evidencia de aprendizaje.



2.1. Flujos energéticos y fijación

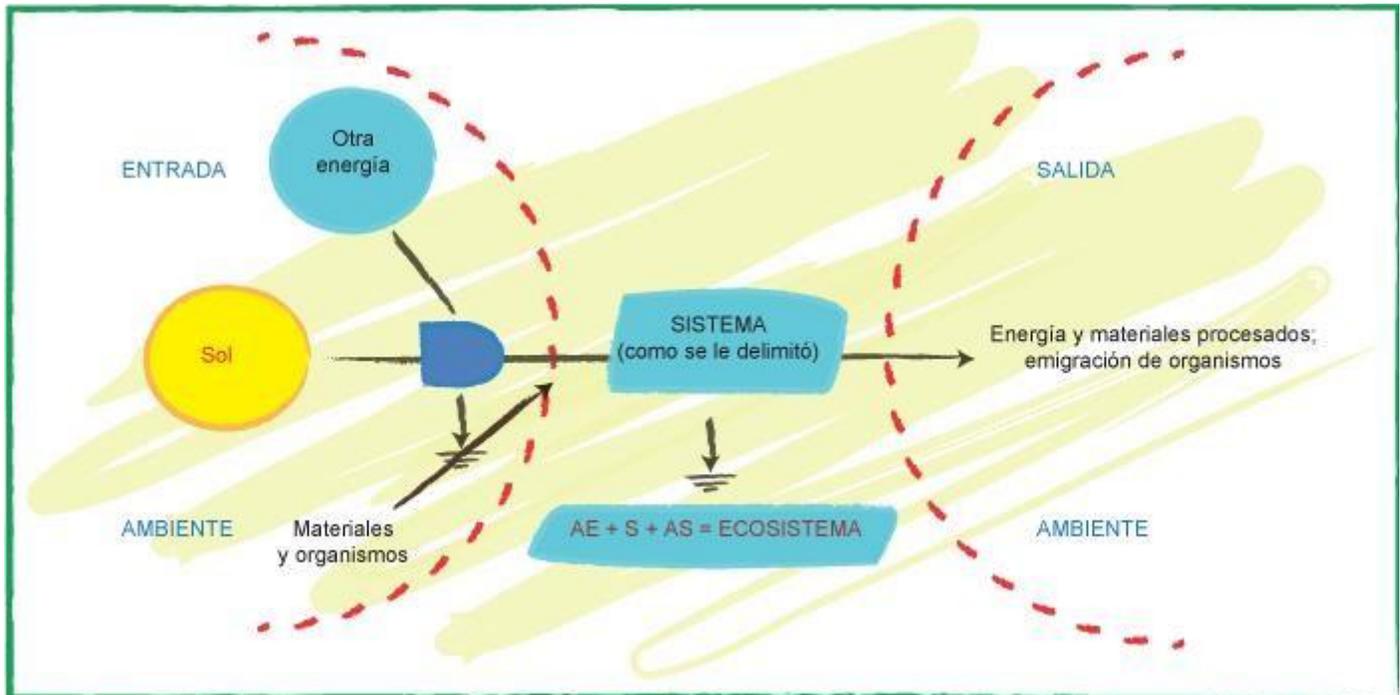
Es importante que tengas presente que para que un sistema pueda mantener la vida de sus seres orgánicos, es necesario que exista un flujo de energía, el cual se puede perder en forma de calor o bien, en el proceso de respiración. También, debes saber que la energía es una de las partes fundamentales para que un ecosistema pueda funcionar y fluya al interior del mismo por medio de ciclos biogeoquímicos, otra de sus partes esenciales; los cuales mueven nutrientes a través de los diferentes niveles y capas de la Tierra, lo que hace que la vida sea posible.

Por lo cual al necesitar que un flujo de energía entre y salga de los ecosistemas, éstos están abiertos en grados variables para recibir flujos de materia, además de que aquí mismo se da el efecto de inmigración y emigración de los propios organismos, por lo que es necesario que ubiques a los ecosistemas debajo del nivel de la biósfera.

Como resultado de lo anterior, una parte importante del concepto de ecosistema consiste en reconocer que existe un ambiente de entrada y uno de salida, los cuales están acoplados y resultan esenciales para que el ecosistema funcione y se autosostenga, como lo muestra la siguiente figura.



Modelo del ecosistema como un sistema abierto.



Tomado de Odum y Barrett (2008).

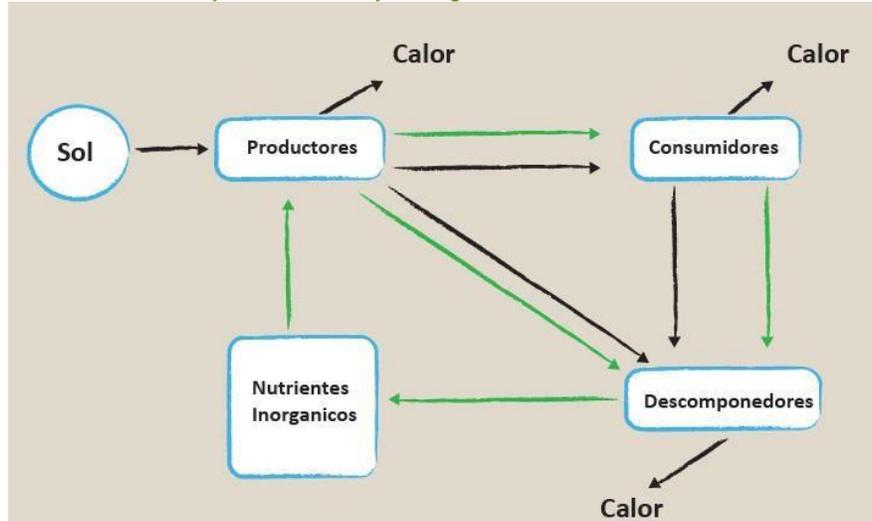
Este modelo de ecosistema resalta el medio externo, el cual debe considerarse una parte integral dentro de este concepto.

Para que un ecosistema funcione correctamente, es necesario que mantenga proporciones adecuadas entre especies, recursos y demás, es decir, un equilibrio en la cadena alimenticia y productora.

La siguiente figura muestra cómo es el flujo de energía (flechas oscuras) y cómo fluyen los nutrientes inorgánicos dentro del ecosistema (flechas verdes). Es decir, cómo se da la entrada y salida de la energía dentro del ecosistema, así como la pérdida de la misma que se produce durante los procesos de transformación y transferencia entre cada uno de los niveles tróficos, es decir, cómo se encuentra en equilibrio dentro del ecosistema.



Modelo del flujo de materia y energía dentro de una cadena trófica.



Basado en Ohio Environmental Protection Agency, dentro de The Habitable Planet (2012).

Desde el punto de vista de la estructura trófica (de *trophe* = nutrición), los ecosistemas poseen dos estratos:

- 1) **Autótrofo** (que se autonutre), superior o “faja verde” de plantas clorofilianas o partes de las mismas, en las que predominan la fijación de energía lumínica, el uso de sustancias inorgánicas simples y la síntesis de sustancias orgánicas complejas.
- 2) **Heterótrofo** (que se nutre de otras fuentes), inferior o “faja café” que consta de suelos y sedimentos, materia en descomposición, raíces, etcétera, en el cual predomina la utilización, reorganización y descomposición de materiales complejos. (Odum y Barrett, 2008).

Conforme a lo anterior, la comunidad es representada como una trama alimenticia de organismos autótrofos y heterótrofos, los cuales se encuentran ligados o unidos gracias a los flujos de energía, los ciclos de los nutrientes y los nutrientes que se encuentran almacenados. Por otro lado, el comportamiento de la energía dentro de los ecosistemas es conocido como flujo de energía, donde sus transformaciones son unidireccionales, lo que se opone al comportamiento cíclico de los materiales.

El concepto de flujo de energía permite comparar ecosistemas entre sí, al igual que evaluar la importancia de las poblaciones dentro del espacio correspondiente en una comunidad biótica dentro del ecosistema.



En la siguiente tabla te presentamos una lista de datos sobre densidad, biomasa y flujo de energía de seis poblaciones determinadas, diferentes en el tamaño de sus individuos y el hábitat donde se ubican. Los números de estos datos varían en magnitud de órdenes (10^{17}) y la biomasa (10^5), mientras que las variaciones en el flujo de energía son en tantos de cinco. Las semejanzas en este flujo indican que las poblaciones funcionan dentro del mismo nivel trófico; es decir, son consumidores primarios.

Densidad, biomasa y flujo de energía en seis poblaciones de consumidores primarios que difieren en tamaño de los individuos que las integran.

	Densidad aproximada (m ²)	Biomasa (g/m ²)	Flujo de energía (kcal/m ² /día)
Bacterias del suelo	10^{12}	0.001	1.0
Copépodos marinos (<i>Acartia</i>)	10^5	2.0	2.5
Caracoles litorales (<i>Littorina</i>)	200	10	1.0
Saltamontes de las marismas (<i>Orchelimum</i>)	10	1.0	0.4
Ratones (<i>Microtus</i>)	10^{-2}	0.6	0.7
Venados (<i>Odocoileus</i>)	10^{-5}	1.1	0.5

Basado en Odum y Barrett (2008).

Para que puedas profundizar en este tema, te invitamos a consultar el ensayo clásico de Forbes (1887), el cual puedes ubicar en la sección *Para saber más*.

Como has observado a través de los esquemas anteriores, la manera en que la energía penetra dentro de los ecosistemas tiene formas muy variadas; se puede dar por medio del sol, el agua, el oxígeno, el dióxido de carbono, el nitrógeno, así como a través de otros elementos compuestos, que son una fuente de combustible muy importante para el mismo, ya que sin esto no se podría realizar ningún tipo de trabajo. Además de que, sin una inyección constante de energía, los seres vivientes tampoco podrían funcionar, pues es un hecho que depende de ella al 100%.



Una de las principales fuentes de energía de la que se abastece la Tierra es la luz solar; en este punto, es importante que conozcas que de toda la energía que el sol emite y la que llega al planeta, los seres humanos sólo captamos y utilizamos menos del 1 %; sin embargo, en ecosistemas como los bosques tropicales, esta insignificante cantidad basta para producir cada año hasta 3.5 kilogramos de tejido vivo por metro cuadrado. Mientras que, en otros, algunos organismos llegan a obtener su energía de fuentes muy distintas, pues dependen de la que se encuentra almacenada en compuestos químicos inorgánicos, como el agua de mineral que fluye del subsuelo o brota de los manantiales, la cual está cargada de energía química.

Es importante que tomes en cuenta que la energía que llega del sol a la superficie de la Tierra y a los océanos, lo hace en forma de radiaciones electromagnéticas y se fija por medio del proceso de fotosíntesis que realizan los vegetales clorofílicos y que gracias a ello se producen elementos tales como oxígeno libre, agua, glucosa, hidratos de carbono, entre otros. A partir de los hidratos de carbono sintetizados, los vegetales pueden fabricar todos los demás compuestos, como proteínas, lípidos y otros hidratos de carbono. Finalmente, la energía que resta es transformada por las plantas en biomasa, la cual es depositada en el suelo en forma de raíces, es decir, un tejido leñoso y herbáceo; dicho material que es energía almacenada se traslada al segundo nivel trófico que comprende a los herbívoros, los descomponedores y los que se alimentan de detritos.

En cada escalón trófico los organismos convierten menos energía en biomasa, por lo que cuantos más espacios se produzcan entre un productor y el consumidor final, la energía que va quedando disponible es menor.

En una sucesión trófica, es muy raro ver que lleguen a existir más de cuatro eslabones o niveles, pues con el tiempo, toda la energía que se transfiere por medio de los niveles tróficos se pierde automáticamente en forma de calor, por lo que es difícil que se mantenga, además de perder su capacidad de generar trabajo útil o **entropía**.

Ahora bien, ¿qué ocurre con la energía de un ecosistema cuando un organismo se come a otro? Dicha energía se desplaza en un sólo sentido; en estricto orden de ideas, la energía fluye a través de un ecosistema en una dirección: del sol o de los compuestos inorgánicos a los autótrofos (productores) y luego a los distintos heterótrofos (consumidores); las relaciones entre éstos conectan a los organismos en una red de alimentación basada en quién se come a quién.

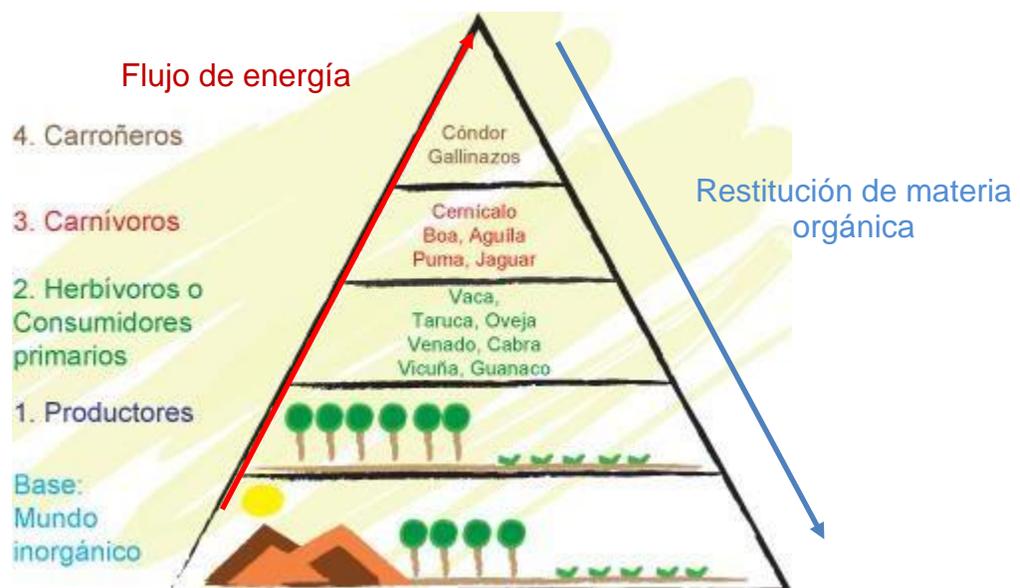


La energía almacenada en los productores puede recorrer un largo camino dentro del ecosistema por medio de una cadena alimentaria, en etapas donde los organismos transfieren energía al comer y ser comidos; como un ejemplo de ello tienes al ecosistema de pradera, donde la cadena alimenticia consiste en un productor que es la hierba, de la cual se alimenta un herbívoro que pasta; y a su vez el herbívoro alimenta a un carnívoro, en este caso puedes observar que el carnívoro sólo se ubica a dos etapas del productor.

Las cadenas alimenticias nos muestran en qué sentido fluye la energía a través de un ecosistema.

En la siguiente esta imagen se representa la manera como fluye la energía a través de los diferentes niveles tróficos, así como la manera en que se restituye en forma de materia orgánica, las flechas indican la dirección de este proceso.

Flujo de materia y energía a través de la pirámide trófica.





2.1.1. Fuente primaria energética

El ser humano puede valerse de distintos recursos tales como el viento, el agua y el sol, entre otros, para obtener energía a fin de realizar algún trabajo o tener algún beneficio; desde tiempos inmemorables en que la humanidad empezó a usar elementos nuevos para su hábitat, uno de los primeros instrumentos fue el fuego para cocinar sus alimentos y tener calor en su vivienda, pasando por los molinos de viento para triturar y moler el trigo en la Edad Media, hasta llegar a la época actual en la que se obtuvo la energía eléctrica mediante la modificación de las propiedades de los átomos.

Lo anterior deja ver que desde siempre el humano ha buscado diversas fuentes de energía de las cuales obtener provecho, estas nuevas energías se derivan de la transformación de los combustibles fósiles; por ejemplo, el carbón que hace funcionar a las máquinas de vapor, y la tracción en los ferrocarriles. Por otro lado, el petróleo y lo que se deriva de él al transformarlo, utilizado en el transporte. Otras energías que tienen un aprovechamiento a menor escala son la energía eólica y la hidráulica.

Con estos modelos de producción energética se genera empobrecimiento en los recursos fósiles, sin que se piense en su posible reposición, pues tardarían millones de años para volver a formarse. Así, al buscar mejores fuentes de energía, además de intentar fortalecer sus economías y reducir la interdependencia que tienen de los combustibles fósiles, muchos países se han concentrado en buscar nuevos territorios ajenos a los suyos, ya que por obvias razones los suyos se encuentran sobre explotados y con un agotamiento casi total, lo que también los ha motivado a usar otros tipos de energías, tales como la nuclear e hídrica.

Desde los últimos años del siglo XIX se ha cuestionado el modelo energético basado en hidrocarburos por dos motivos:

1. Los problemas ambientales generados por el exceso y abuso de la quema de combustibles fósiles, donde destaca la producción de *smog* en las grandes ciudades por el gran parque vehicular que poseen y la falta de regulación de éste, o el calentamiento global del planeta.
2. Los grandes riesgos en el uso de la energía nuclear, y que se han manifestado en algunos países como el sucedido en *Chernóbil* y *Fukushima*, así como el uso bélico que se está generando con ella en países de medio oriente.



A lo largo del tiempo, el hombre ha sacado provecho de diversas fuentes de energía, por ejemplo: sol, viento, agua, calor, entre otras, cuya ventaja es que se pueden reutilizar y renovar, mientras que otras no. Al respecto, a continuación, se revisa la clasificación de las fuentes de energía.

Las fuentes de energía pueden ser divididas en:

- Renovable: Son energías que se regeneran con mayor facilidad.
- No renovable: Son aquellas energías que tardan muchísimo tiempo en regenerarse.

La energía contenida en los combustibles crudos, es decir, sin que haya pasado por un proceso de transformación, es considerada una fuente primaria de energía renovable, la cual puede usarse de manera directa para que pueda ser transformada en energía secundaria y finalmente utilizada. En la industria energética se observan diferentes etapas para la producción de energía, las cuales son: generación, almacenamiento, transformación en energía secundaria, y consumo como una energía final.

Es importante que también tomes en cuenta la existencia de la energía mecánica, la cual puedes encontrar en un simple salto de agua utilizado para generar electricidad, y ésta puede ser usada de diferentes maneras: iluminación, producción de frío y calor, entre otras, existen diversas técnicas para producir energía.

En la producción de energía se presenta una serie de transformaciones consecutivas, formando una cadena energética en la que cada transformación se caracteriza por su rendimiento, el cual es siempre inferior por las pérdidas ocurridas en los procesos. El concepto de fuente primaria energética se utiliza generalmente en la estadística energética, durante la compilación de los balances energéticos, pero se suele identificar con energía primaria la que resulta de las primeras transformaciones, y como energía final la que llega al usuario final. Dichas energías (primaria y final) son las que se utilizan como datos en las estadísticas de uso de energía.

A continuación, se enlistan las diferentes formas de energía primaria:

- Energía humana y animal
- Energía mecánica
- Energía química
- Energía nuclear



- Energía solar
- Energía térmica terrestre

A manera de conclusión, se puede decir que las fuentes primarias de energía son los recursos de energía útil que tienen diversas aplicaciones.

2.1.2. Movimientos y transformaciones

Los movimientos y transformaciones de la energía en un ecosistema se dan por medio de los flujos de energía; este movimiento y transformación de energía se produce dentro del ecosistema cuando la materia y energía pasa de un nivel a otro nivel trófico, a lo que se le denomina cadenas tróficas o alimenticias.

Si caracterizamos los niveles tróficos, podemos decir que el nivel trófico se refiere a la posición que tienen los organismos dentro de una cadena alimenticia; es decir, al inicio se ubican los autótrofos (que son la base de la cadena), después los que se alimentan de ellos, conocidos como herbívoros o consumidores primarios, y finalmente los que se alimentan de éstos últimos, llamados carnívoros o consumidores secundarios.

Las cadenas tróficas se presentan como las rutas que sigue el alimento, que va desde el productor hasta un consumidor final. Para aclarar esta idea a continuación te presentamos un ejemplo de una cadena dentro de un ecosistema específico:

Pasto ---> Saltamontes --> Ratón ---> Culebra ---> Halcón

En el ejemplo anterior se representa al productor del lado izquierdo y al consumidor final del lado derecho, y es posible identificar al autótrofo (pasto) y a los heterótrofos (también clasificados como herbívoros, carnívoros, etc.), reconociendo que el halcón sería el consumidor cuaternario (Smith y Smith, 2006).

Las cadenas alimenticias se pueden representar con tres eslabones como mínimo y con seis eslabones como máximo. Ejemplos de ambos casos son los siguientes:

Hierba → Vaca → Hombre

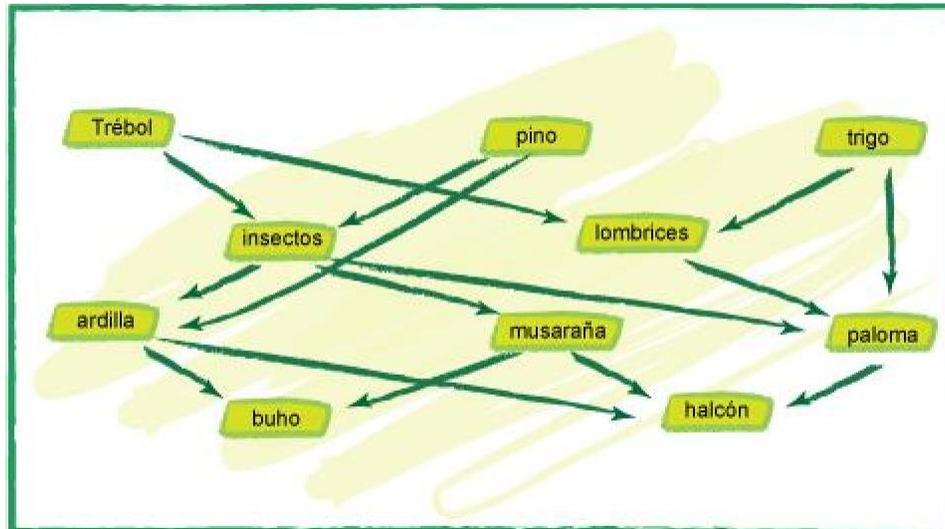
Algas → Camarón → Ballena

Algas → Rotíferos → Tardígrados → Nematodos → Musaraña → Autillo



La forma más realista de representar quién se come a quién se llama red alimenticia, como lo muestra el siguiente gráfico:

Red trófica.



Basado en Aguado, et al., (1999).

Un concepto importante dentro de los niveles tróficos es el de **biomasa**, la cual debe entenderse como el peso combinado de los organismos en conjunto dentro del ecosistema. Se encuentra distribuida a lo largo de los niveles tróficos, mientras más retirado esté el nivel trófico de su fuente (productor), menos biomasa tendrá. Esta reducción que sufre la biomasa se debe a distintas razones:

- No todos los individuos en los niveles inferiores son comidos.
- No todo lo que es comido es digerido o transformado.
- Siempre hay pérdida de energía en forma de calor.

El flujo de energía se realiza de la siguiente forma en una red trófica: los productores primarios pueden obtener la energía del sol para realizar su proceso de biosíntesis, mientras que los otros organismos, que no son capaces de realizar la transformación de energía, la tienen que obtener de manera directa o indirecta de los productores primarios. A esta secuencia de relaciones de producción-consumo, a través de las cuales fluye la energía, se le denomina **cadena trófica**.

En la siguiente imagen se observa la transformación o movimiento de la energía, desde el primer nivel hasta el último, que está representado por los saprofitos y



detritivoros. Por lo que se representa un esquema simplificado de la cadena trófica. Las líneas azules indican transferencia de energía, mientras las amarillas representan consumo.



Basado en Universidad Nacional de Colombia (2011).

A manera de conclusión, se puede decir que el movimiento de energía se da en un ecosistema por medio de los niveles tróficos o cadenas alimenticias. En este sentido, no toda la energía absorbida se encuentra disponible en el nivel siguiente (al porcentaje de energía transferida de un nivel al siguiente de la cadena trófica se le conoce como **eficiencia ecológica**).



2.1.3. Capacidad de un ecosistema para la fijación de energía

El ecosistema incluye la transformación, circulación, acumulación tanto de energía como de materia mediante el funcionamiento de los organismos vivos y sus actividades, por lo que en ellos se ubica una gran variedad de procesos a través de los cuales se puede fijar la energía, mientras ésta fluye hacia diferentes organismos que la componen.

La captación y transformación de la energía emitida por el sol en la materia es un trabajo que realizan los vegetales y plantas mediante la fotosíntesis, que es un intercambio bioquímico que permite fijar la energía radiante del sol, transformándola en energía disponible para otros seres vivos, y un proceso vital para el desarrollo de la vida en el planeta Tierra.

Al proceso de fijación y transformación de energía antes mencionado se le denomina **productividad primaria**, la cual es el motor verdadero de todo ecosistema, así como de los procesos de captación y transformación de energía posteriores.

Dentro de la ecología, al concepto de **producción primaria** se le denomina producción de materia orgánica, la cual se lleva a cabo por los organismos autótrofos mediante la fotosíntesis o quimiosíntesis. Esta producción primaria es el punto de partida del flujo de energía y los nutrientes a través de las cadenas tróficas. La producción primaria se toma como el incremento de biomasa por unidad de tiempo de los productores.

La producción primaria es generada por los organismos autótrofos, es decir, los productores, e indica la energía solar que los vegetales pueden almacenar mediante el proceso de la fotosíntesis.

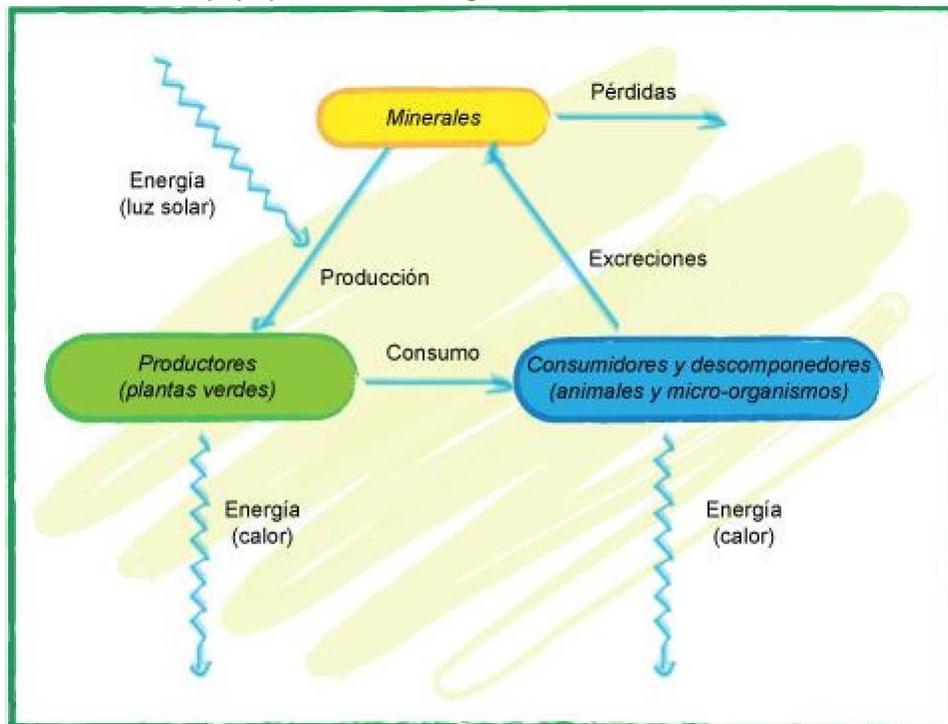
La producción primaria bruta se indica como PPB y es la cantidad total de la energía fijada por los productores; si a ésta le descuentas la energía consumida por las funciones vitales de un organismo (respiración celular) obtendrás la producción primaria neta (PPN), la cual representa la cantidad de biomasa que se encuentra a disposición del siguiente nivel, es decir, la productividad primaria neta implica la producción de materia orgánica a partir de la inorgánica, realizada por los autótrofos, donde la biomasa generada primariamente es utilizada por sus propios



productores para obtener de ahí la energía y la construcción de sus estructuras orgánicas.

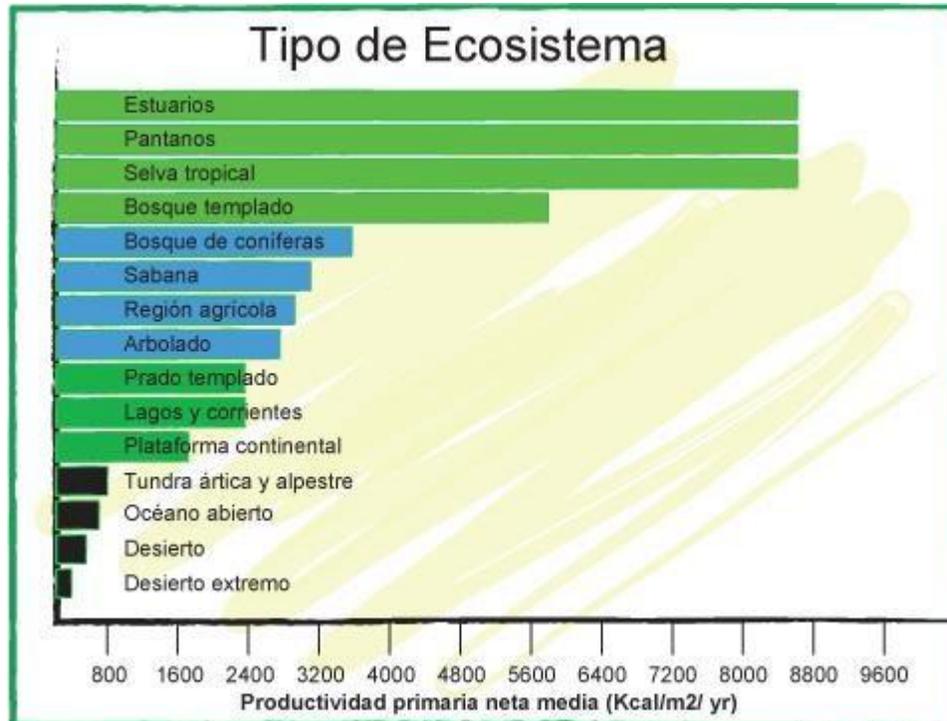
La siguiente imagen muestra cómo circula y se fija la energía en los ecosistemas por medio de los diferentes niveles tróficos, así como las pérdidas de energía que se dan entre un nivel y otro.

Flujo y fijación de la energía en un ecosistema.



Basado en Strahler y Strahler, (1997).

Producción primaria neta por unidad de superficie de los ecosistemas comunes del mundo.



Basado en University of Michigan (2008).

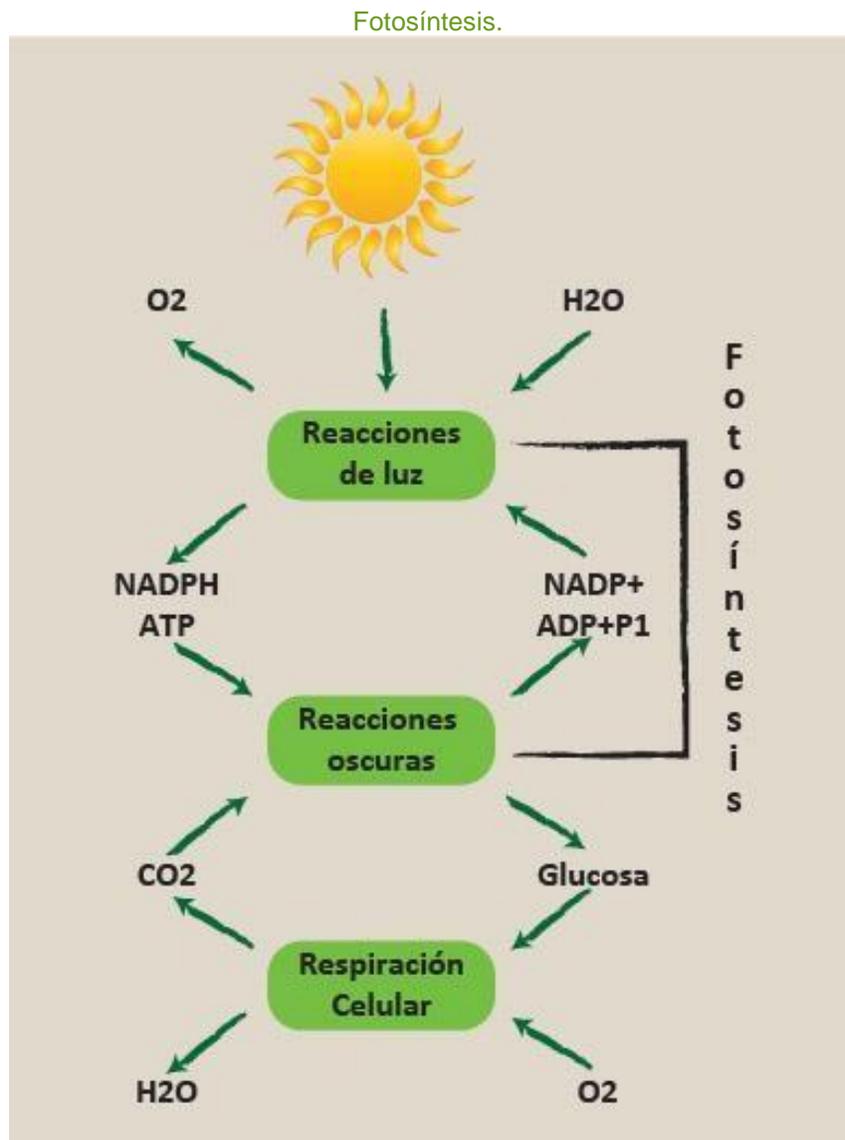
2.1.4. Fotosíntesis y fijación de carbono

La fotosíntesis es el proceso que utilizan los vegetales y las plantas para convertir la energía luminosa emitida por el sol en energía química. Con esta energía química el CO_2 , el H_2O y los nitratos que absorben las plantas reaccionan fijando el carbono al sintetizar las moléculas de los carbohidratos tales como la glucosa, el almidón y la celulosa, entre otros, así como los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos que conforman la estructura viva de una planta, este es el proceso mediante el cual el carbono queda como parte estructural y funcional de los organismos.

Las plantas logran crecer y desarrollarse gracias a este proceso, pero también realizan el proceso de la respiración cuando no logran obtener la energía necesaria por la fotosíntesis, ya sea porque no hay la luz suficiente o porque mantienen sus estomas (pequeños orificios de las plantas) cerrados. Cuando respiran las plantas se oxidan las moléculas que contienen oxígeno del aire para poder obtener la energía necesaria para sus procesos vitales y lograr sobrevivir.



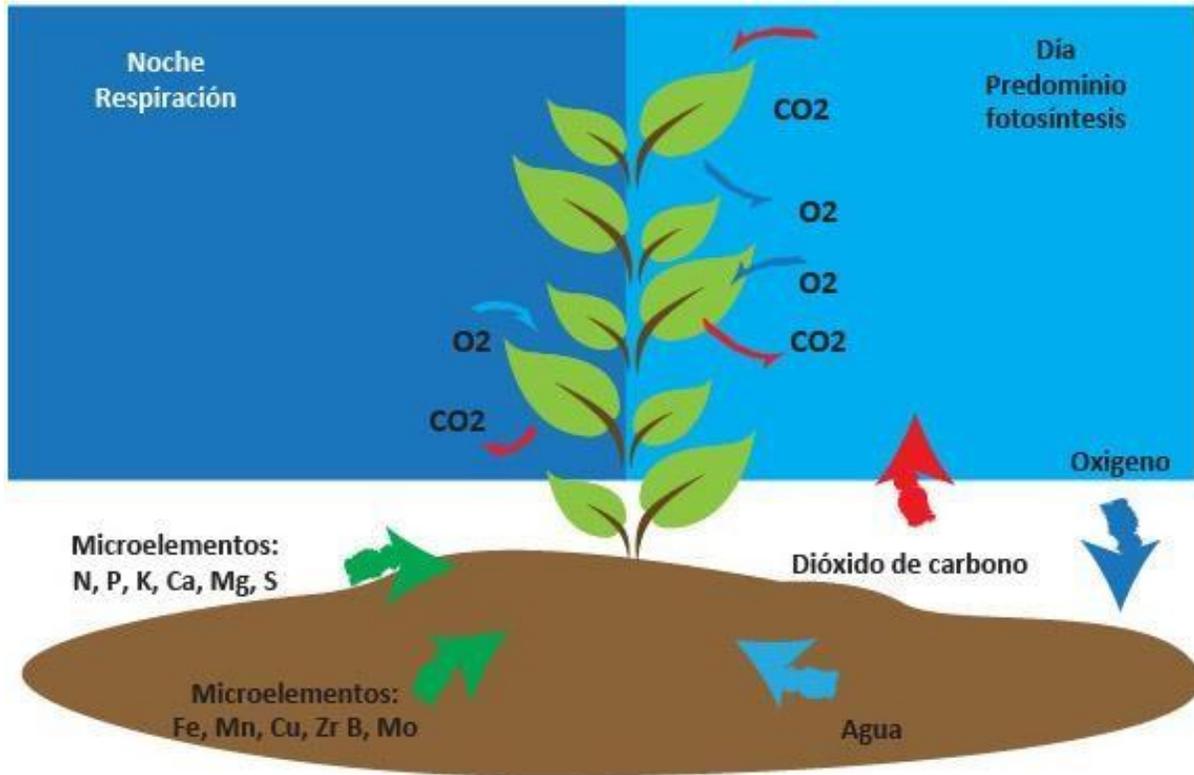
Es importante señalar que la vida que se desarrolla en este mundo se mantiene gracias al proceso de fotosíntesis que realizan las plantas, tanto en el medio acuático como en el terrestre, donde logran tener la capacidad de sintetizar la materia orgánica imprescindible para constituir los seres vivos, tomando como partida a la luz y a la materia inorgánica.



Basado en University of Michigan (2008).



Fijación del carbono.



Para que puedas conocer más sobre la fotosíntesis, consulta la página de *Botanical-online* (1999), que puedes ubicar en la sección *Para saber más*.

2.2. Ciclos biogeoquímicos

¿Qué es un ciclo bioquímico? es el movimiento de elementos en un sistema, el cual se da entre los seres vivos y su ambiente por medio de una serie de procesos de producción y descomposición de los siguientes elementos: carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrogeno, calcio, sodio, azufre, fósforo, potasio, entre otros; estos ciclos se dan tanto en los ecosistemas terrestres como en los acuáticos. En los ciclos biogeoquímicos se describen también los movimientos e interacciones de los elementos químicos que son esenciales para la vida en la Tierra, por medio de los procesos físicos, químicos y biológicos. Estos movimientos o flujos de elementos



pueden ser abiertos (ejemplo de ello es el flujo de energía) o cerrados (como es el ciclo de la materia).

El concepto de ciclo biogeoquímico se utiliza para hacer la descripción de la distribución y transportación de materiales dentro de un ecosistema. Los ciclos biogeoquímicos controlan el cambio y la transformación de los sistemas terrestres, acuáticos y atmosféricos y constituyen el sistema regulador de la capa de la Tierra conocida como hidrósfera y la biósfera; dentro de ésta última, la materia se encuentra limitada de manera que su vida útil depende del reciclaje de la misma y es un punto importante para lograr el mantenimiento de la vida en un sistema dado; es decir, los nutrientes se agotarían y la vida se acabaría.

La mayoría de las sustancias o elementos químicos que existen en la Tierra no están disponibles de forma útil para los organismos, es por ello que los elementos y compuestos deben encontrarse de manera que permitan que los nutrientes sean asimilados por los organismos vivos dentro de un ecosistema, estos elementos químicos tienen que ser continuamente reciclados a formas más complejas por las partes vivas y no vivas de la biósfera, y ser convertidos para que tengan una utilidad en la combinación que se da en los procesos biológicos, geológicos y químicos.

Por medio de los ciclos biogeoquímicos, los elementos que los componen y que encontramos disponibles en el ambiente pueden ser usados una y otra vez por los seres vivos, sin su presencia los organismos dejarían de existir, es ahí donde radica su importancia.

El término **ciclos biogeoquímicos** se deriva del movimiento cíclico de los elementos y/o compuestos con los que están formados todos los organismos biológicos (bio), el ambiente geológico (geo) y los cambios químicos (qui), de ahí su nombre compuesto, por lo que interactúa la parte biológica, geológica y química.

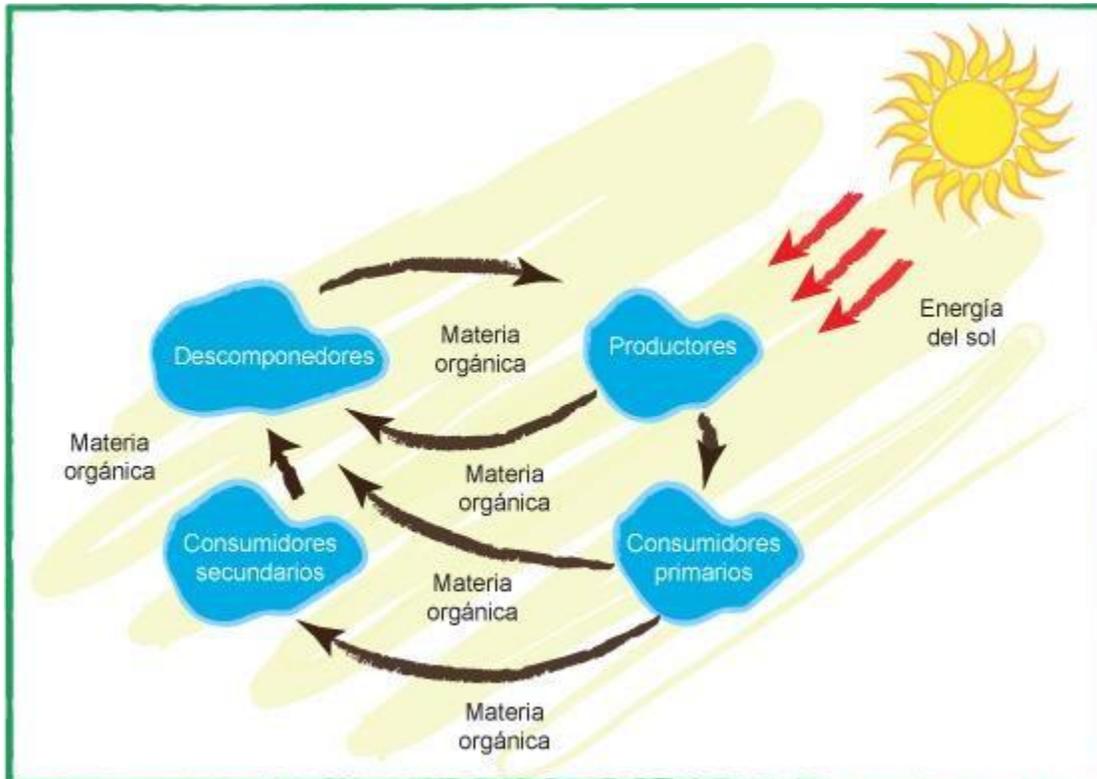
Los ciclos se encuentran divididos en dos tipos interconectados entre sí:

- **Gaseoso:** En este ciclo los nutrientes circulan entre la atmósfera y los organismos. Los elementos que pertenecen a este grupo son el ciclo del carbono, oxígeno y nitrógeno, los cuales son reciclados de forma rápida, es decir, en horas o días.
- **Sedimentario:** Los nutrientes tienen una circulación principalmente a nivel de corteza terrestre, es decir, suelo, rocas y sedimento, de ahí su nombre, también abarca la hidrósfera y a los organismos. Se reciclan generalmente de manera



muy lenta a diferencia del gaseoso. En este se estudian también los ciclos de los contaminantes: ciclo del fósforo y el azufre.

Ciclos de materia dentro de la cadena alimenticia.



Basado en Townsend, Begon y Harper (2008).

En síntesis, podemos decir que dentro de un sistema y entre los mismos, la materia prima con que están contruidos los seres vivos **circula**: desde los componentes inertes llamado ambiente abiótico, hasta los organismos vivos llamado ambiente biótico, y posteriormente tiene un retorno a lo inerte, de ahí nuevamente a los seres vivos y así sucesivamente; esto lo puedes observar en la figura arriba expuesta.

Los ciclos biogeoquímicos son considerados parte de los fenómenos naturales que ocurren de manera constante y cíclica para el mantenimiento de la vida dentro de la biósfera, por lo que a continuación se abordará la descripción de los ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y del agua.



2.2.1. Ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y del agua

En este subtema se describirán los ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y del agua para que conozcas cómo funcionan y cómo interactúan dentro del ecosistema. Se comenzará con la descripción de los ciclos gaseosos: ciclo del carbono y ciclo del nitrógeno. Posteriormente, se abordarán los sedimentarios: ciclo del fósforo y ciclo del azufre. Finalmente, se revisará el ciclo del agua, ya que pertenece tanto a los gaseosos como a los sedimentarios.

Ciclo del carbono

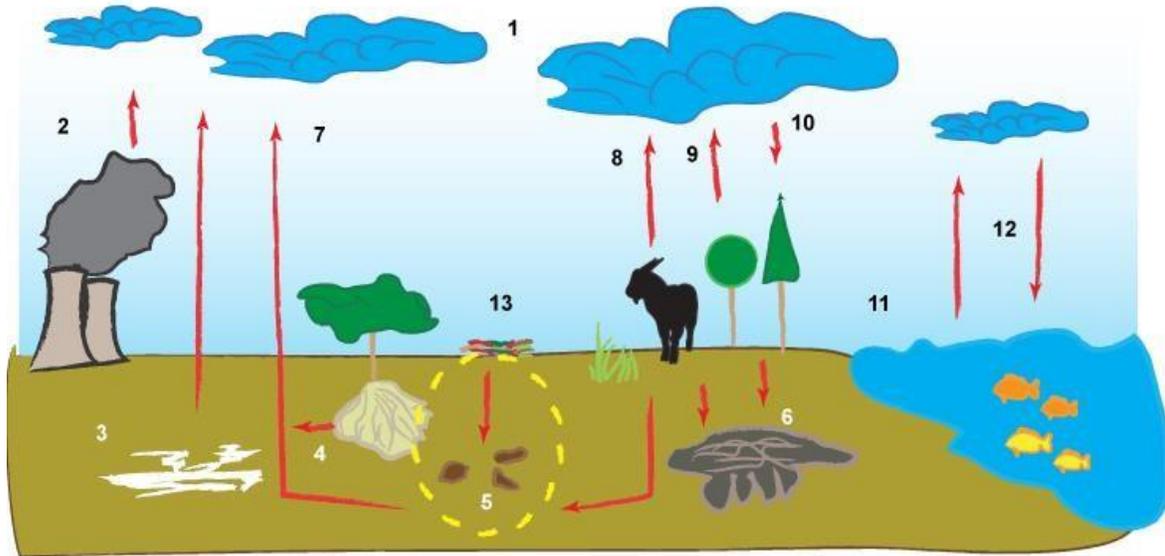
En este ciclo se comprende la función de transferencia del bióxido de carbono (CO_2) y lo referente al carbono orgánico que se da entre algunas capas de la Tierra y que comprenden a la biósfera, atmósfera, hidrósfera y litósfera. Este ciclo es de suma importancia en la regulación del clima en la Tierra, además del sostenimiento de la vida.

El carbono como principal elemento en este ciclo, puede ser almacenado en el aire, cuerpos de agua y en el suelo. Se encuentra presente en el aire como un gas, denominado dióxido o bióxido de carbono (CO_2); mientras que dentro del agua y suelo aparece disuelto, de tal forma que el CO_2 es abundante en el medio.

En la siguiente figura puedes observar la manera en que circula el CO_2 en el medio terrestre y acuático:



Ciclo del carbono.

**CICLO DEL CARBONO**

1-Dióxido de carbono en la atmósfera, 2-Fábricas/centrales térmicas, 3-Depósito calizo, 4-Respiración de las raíces, 5-Descomposición, 6-Depósito de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural...), 7-Emisión del suelo y respiración de los organismos, 8-Respiración de los animales, 9-Respiración de las plantas, 10-Asimilación por las plantas, 11-Respiración de las algas y animales acuáticos, 12-Fotosíntesis de las algas, 13-Restos vegetales.

Basado en Naturaleza educativa (s.f.).

La reserva natural del carbono en el ambiente, como moléculas de dióxido o bióxido de carbono, la ubicamos en la atmósfera y la hidrósfera, de ahí es asimilada por los organismos vivos en un ecosistema. El siguiente paso del carbono en un ecosistema es la formación de biomoléculas que constituyen a los organismos, formando moléculas orgánicas conformadas por cadenas de carbono entrelazadas entre sí.

Este gas lo podemos encontrar en la atmósfera con una concentración de más del 0.03 %, y en cada año alrededor de un 5 % de esta reserva se consume en el proceso de la fotosíntesis, es decir, se renueva en la atmósfera cada 20 años.

El retorno del CO_2 a la atmósfera se realiza a través del proceso de respiración que efectúan los seres vivos, donde se oxidan los alimentos generando con ello el CO_2 . Dentro de la biósfera, la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos que andan en el suelo.



Así como los seres vivos terrestres toman el CO_2 de la atmósfera, los organismos acuáticos lo toman del agua, por ejemplo, del ácido carbónico. La solubilidad que tiene este gas es superior a la que poseen otros gases, como el oxígeno o el nitrógeno. Dentro de los ecosistemas marinos, los organismos realizan la conversión del CO_2 en CaCO_3 (carbonato de calcio), el cual utilizan para la elaboración de sus conchas, caparazones y arrecifes. Al morir estos organismos, sus caparazones se van al fondo marino y forman rocas sedimentarias calizas, quedando el carbono fuera del ciclo durante muchos millones de años. Éste vuelve de manera muy lenta al ciclo al irse disolviendo de las rocas.

Por último, el ciclo del carbono es el constituyente básico en todos los compuestos orgánicos y se le involucra en la fijación de la energía mediante el proceso de la fotosíntesis, la relación es tan íntima que el ciclo de carbono y la fotosíntesis son inseparables.

Ciclo del nitrógeno

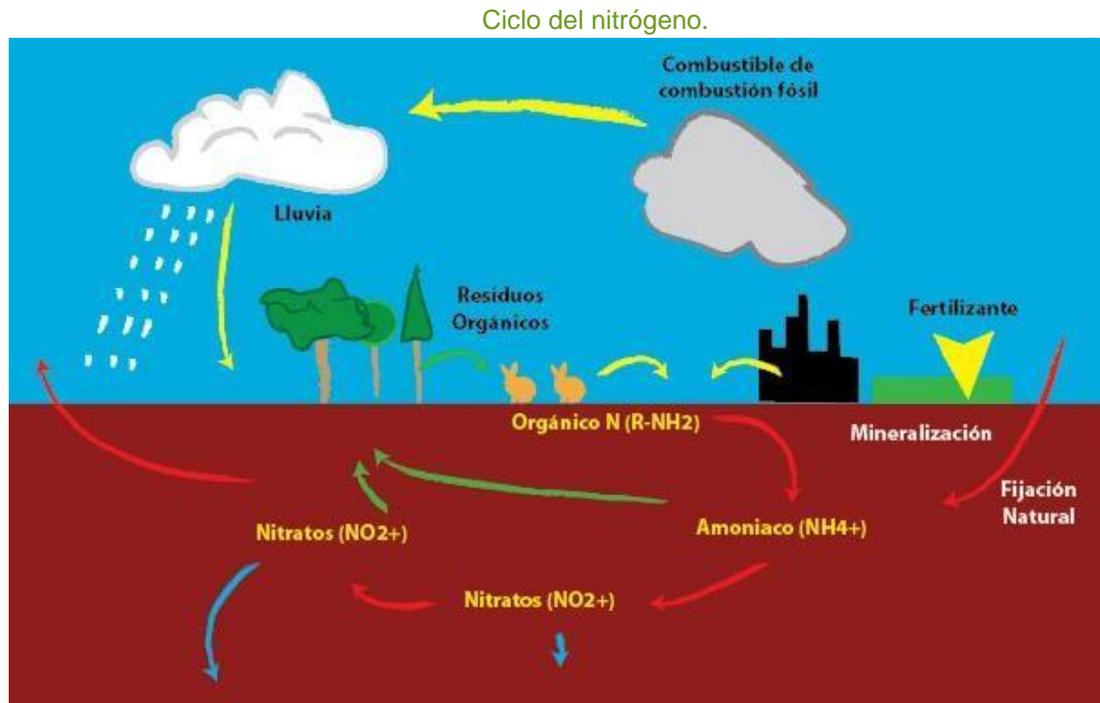
El nitrógeno también es importante para los organismos, por ser un componente esencial de las proteínas; se encuentra en estado gaseoso, formando parte de la atmósfera y del aire que respiramos en una proporción del 78 %. Sin embargo, para utilizarlo, los organismos necesitan tomarlo en forma de compuestos llamados nitritos y nitratos. Las bacterias conocidas como nitrificantes o fijadoras de nitrógeno, transforman el nitrógeno del aire en esos compuestos y así las raíces de las plantas aprovechan los nitratos. Cuando un animal ingiere dichas plantas, indirectamente está utilizando el nitrógeno que le servirá para formar proteínas.

El nitrógeno es devuelto a la atmósfera por medio de las excreciones de los organismos y de los restos en descomposición, que son atacados por bacterias y hongos para formar nitratos. De este nitrógeno, una parte se deposita en el suelo para ser aprovechado nuevamente por las plantas, otra se va a la atmósfera en forma de gas y el resto hacia los sedimentos profundos de la tierra.

El nitrógeno atmosférico también puede transformarse durante las descargas eléctricas de las tormentas y como producto de la actividad volcánica y los compuestos nitrogenados son arrastrados por las lluvias para depositarse en el suelo o ser llevados al fondo del mar en forma de nitratos. El nitrógeno que llega al fondo oceánico es aprovechado por vegetales marinos y, posteriormente, por los peces y aves acuáticas.



En el siguiente esquema se puede observar cómo funciona y cuáles son las etapas que sigue el nitrógeno durante su estancia en los diferentes estratos, como son la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera.



Como puedes observar en la figura, las flechas amarillas son las fuentes de origen humano emisoras de nitrógeno al ambiente, las rojas indican las transformaciones que realizan los organismos microbianos del nitrógeno, las flechas azules marcan las fuerzas físicas que actúan sobre el nitrógeno, mientras que las verdes nos indican que son derivados de procesos naturales y que afectan la forma y destino del nitrógeno.

Este ciclo es necesario para suministrar nitrógeno a los seres vivos, quienes en su composición química tienen una gran cantidad de dicho elemento. Su fijación puede ocurrir de dos formas, de manera abiótica o biológica, con la finalidad de realizar su incorporación del suelo y de los organismos vivos. El proceso abiótico ocurre por procesos químicos espontáneos, como son la oxidación; mientras que el proceso biológico es un fenómeno fundamental que siempre depende de la habilidad metabólica en unos pocos organismos denominados diazotrofos.



Ahora bien, existen tres maneras más de aprovechar o desechar el nitrógeno en los seres vivos, éstas son la amonificación, nitrificación y desnitrificación.

La amonificación es el procedimiento por el cual los organismos vivos se deshacen de este elemento que producen o tienen en exceso; por ejemplo, los animales terrestres lo realizan mediante la descarga de su orina, cuyo compuesto principal es la urea, la cual está formada por nitrógeno.

La nitrificación es la oxidación biológica que se realiza del amonio o nitritos por aquellos microorganismos que utilizan el oxígeno para hacerlo.

Y finalmente, la desnitrificación que es la reducción de los iones nitratos que están presentes en el agua y en el suelo, transformándolos a nitrógeno molecular; éste es un elemento que se encuentra en demasía como parte de la composición del aire.

Ciclo del fósforo

En este ciclo se produce la mineralización del mismo y se van solubilizando las formas insolubles, mientras se realiza la asimilación de los fosfatos inorgánicos; este ciclo es uno de los que pertenecen a los sedimentarios.

El fósforo es un factor limitante para el crecimiento de los ecosistemas, ya que está ampliamente relacionado con su movimiento entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Es diferente al ciclo del nitrógeno, porque el ciclo del fósforo no tiene una fase gaseosa en el aire.

El ciclo del fósforo forma parte importante en los ácidos nucleicos, como el ADN, de algunas sustancias intermedias en el proceso de la fotosíntesis y en el proceso de la respiración celular, que combinadas con el fósforo proporcionan la base para formar enlaces de alto contenido energético de ATP (del inglés *Adenosine TriPhosphate* / adenosín trifosfato o trifosfato de adenosina). También localizamos al fósforo en los huesos, los dientes de animales, incluyendo al ser humano.

La reserva primordial del fósforo dentro de la naturaleza, la encontramos en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas que se generan con la deposición del mismo durante el fenómeno de la meteorización de las rocas, o sacado por las cenizas volcánicas, de esta forma está disponible para que pueda ser utilizado por las plantas como un nutriente. Con facilidad es arrastrado por las aguas y llega al mar, algo de lo que es arrastrado se sedimenta en el fondo de los



cuerpos de agua y empieza a formar rocas que tardarán millones de años en emerger y nuevamente liberar las sales de fósforo. Una parte de dichas sales llegan a ser absorbidas por el plancton que, a su vez, es ingerido por otros organismos filtradores, como son los peces que finalmente alimentan a las aves, devolviendo el fósforo a través de las heces que depositan en la corteza terrestre, estas heces son arrastradas nuevamente al agua y así se inicia el ciclo otra vez.

En el esquema siguiente puedes observar lo mencionado anteriormente.

Ciclo del fósforo.



Basado en Comunidades de educación científica técnica. Elergonomista.com (2009).



Con las considerables cantidades de fósforo que se extraen de los grandes depósitos acumulados en diferentes lugares de la Tierra se abonan las tierras de cultivo, pero el uso desmesurado de éste como abono origina problemas de eutrofización en los terrenos, lo que provoca una desertificación de los mismos. Con esto se puede decir que es importante como ciclo y perjudicial como abono, por lo que siempre hay que estar llevando un control de él.

Ciclo del azufre

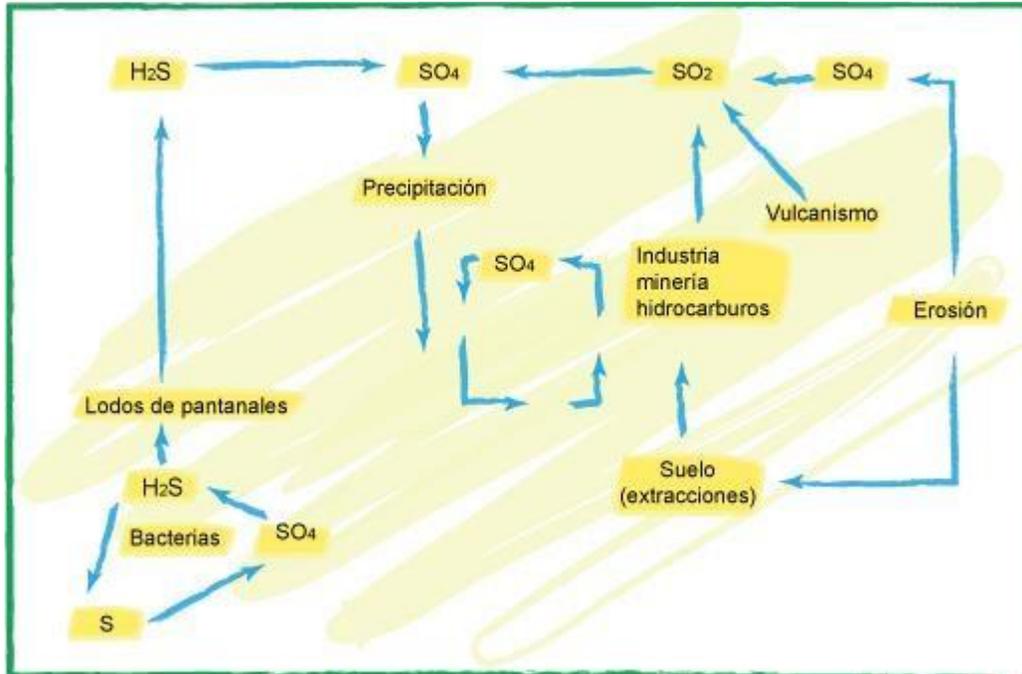
Como nutriente, el azufre es un elemento secundario, requerido por las plantas y animales para poder realizar diversas funciones; lo puedes encontrar en casi todas las proteínas, por lo tanto, se le considera un elemento esencial para la vida de los organismos vivos.

Una parte de la circulación del azufre a través de la biósfera inicia en el suelo, o bien, desde el agua, si es que hablamos del sistema acuático, es decir, inicia en las plantas, de ahí pasa a los animales y por medio de las excreciones de éstos, regresa de nuevo al suelo o al agua. Algunos de sus compuestos como los sulfúricos, que están presentes en la tierra, son conducidos a los ríos por la escorrentía y posteriormente al mar; y a su vez es devuelto a la tierra por algunos mecanismos cuya función es convertirlos en compuestos gaseosos. Estos compuestos gaseosos penetran en la atmósfera y vuelven a la tierra por medio de las lluvias, aunque parte de estos gases pueden ser absorbidos por las plantas directamente de la atmósfera. Los compuestos gaseosos que se forman son el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de azufre (SO_2).

Las actividades industriales generadas por la humanidad provocan un exceso de emisiones de los gases sulfurosos a la atmósfera, lo que ocasiona muchos problemas, pues cuando éstos reaccionan, como es el caso del ácido sulfhídrico, regresan a la tierra en forma de lluvia ácida, ocasionando problemas de salud, en los cultivos, entre otros. En el siguiente esquema puedes ver lo mencionado.



Ciclo del azufre.



Basado de Seoáñez, Bellas, Ladaria y Seoáñez (2000).

Ciclo del agua

El elemento agua parece ser la cosa más simple del mundo; el agua pura no tiene color, olor, ni sabor, pero realmente no es tan simple ni sencilla, ya que es un líquido vital para la vida de toda la Tierra, es decir, donde hay agua hay vida, y donde el agua es escasa, los organismos luchan por sobrevivir. El agua es el compuesto más abundante en los organismos vivos y sin la presencia de ella, la vida en la biósfera sería imposible.

Aunque el agua se mantiene en constante movimiento, ésta se llega a almacenar en repositorios de manera superficial como son los océanos, lagos, ríos, arroyos, cuencas y en el subsuelo como ríos subterráneos y mantos acuíferos, pero ¿qué es el ciclo del agua y cómo funciona?

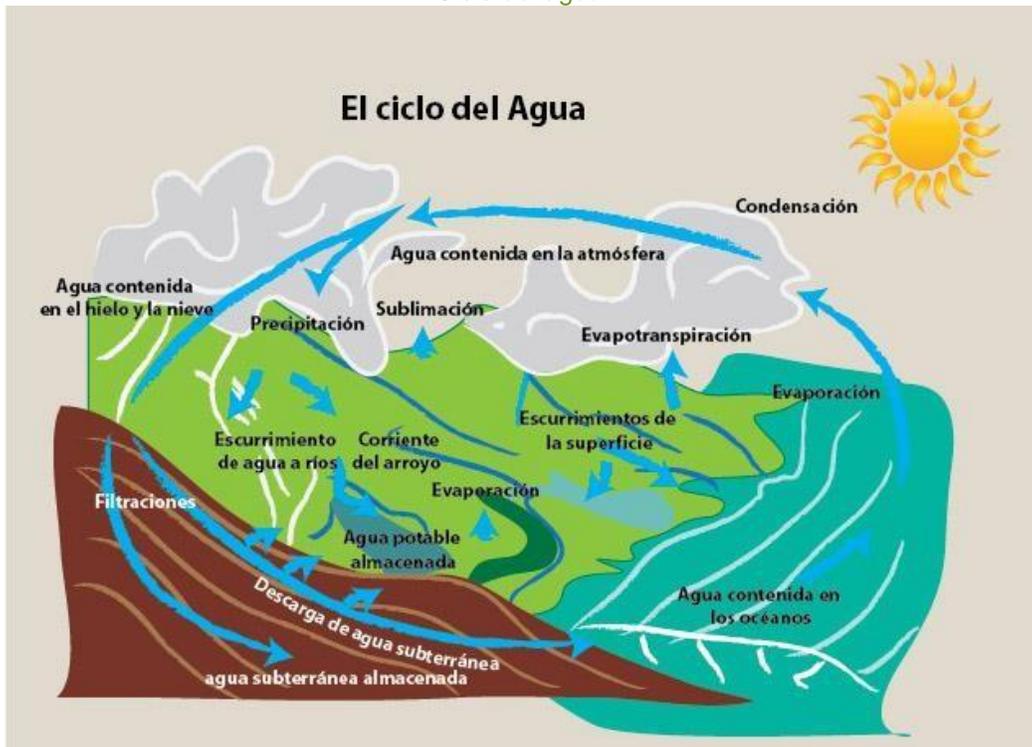
Este ciclo es uno de los más importantes que se da en la biósfera y es el que apoya y amortigua la vida, también llamado ciclo hidrológico. Este ciclo describe la presencia y el movimiento del vital líquido en la biósfera y sobre ella. El agua está sobre la Tierra y siempre se encuentra en movimiento con un constante cambio de estado: líquido-gaseoso-sólido; este ciclo ha estado ocurriendo desde hace billones



de años, y la vida en la Tierra depende de él, ya que la biósfera sería un lugar inhóspito si este ciclo no se llevara a cabo.

En la siguiente ilustración se observan los pasos que sigue el ciclo del agua.

Ciclo del agua.



Basado en U.S. Geological Survey (2012).

El ciclo del agua no tiene un inicio o lugar específico, pero considerando que inicia en los océanos, el sol es quien lo gobierna, pues calienta el agua de los mismos, generando la evaporación hacia el aire como vapor de agua, posteriormente las corrientes ascendentes del aire trasladan al vapor hacia las capas superiores de la atmósfera, donde a menor temperatura el vapor de agua sufre una condensación y se forman las nubes. Nuevamente, las corrientes de aire mueven las nubes, donde las partículas que las componen empiezan a colisionar, crecen y caen en forma de precipitación (lluvia, rocío, nieve), parte de esta precipitación también puede caer en forma de nieve, que se acumula en capas de hielo en las altas montañas y en las zonas extremadamente frías de la Tierra, y cuando los climas son más cálidos la nieve se empieza a derretir, y el agua comienza a correr por gravedad hacia los repositorios donde se acumula, mientras otra se filtra al subsuelo formando ríos



subterráneos y depósitos de agua llamados mantos acuíferos; otra parte de esta agua corre sobre la superficie como escorrentía, hasta llegar de nuevo a los océanos o mares, y nuevamente al tener contacto con los rayos solares, se calienta y reinicia el ciclo; las transpiraciones que tienen las plantas y los organismos vivos también son parte del ciclo del agua.

Para concluir este subtema, es importante mencionar que el individuo es un sistema de paso de las sustancias inorgánicas, ya que en el ecosistema estas sustancias circulan entre los seres vivos y el medio ambiente en el que se encuentran, por lo que reciben el nombre de ciclo, y éstos reciben la denominación de biogeoquímicos por transitar de los seres vivos (bios=vida), al suelo (geo=tierra) y estar expuestos a reacciones químicas, donde usan y liberan energía. La falta o disminución de alguno de estos elementos y sustancias dentro de la biósfera pueden producir grandes y serios problemas en los procesos de producción (producción primaria), es decir, sin las plantas, los consumidores tendrían una deficiencia de crecimiento y reproducción que mermaría su población, provocando una reducción en ellos y hasta su posible desaparición de las cadenas tróficas. A estas alteraciones que se dan en los ciclos biogeoquímicos se les conoce como perturbaciones, las cuales se revisarán a continuación.

2.2.2. Perturbación de los ciclos

Las perturbaciones de los ciclos biogeoquímicos son las alteraciones que se presentan en ellos, afectando la reincorporación del elemento químico y biogeoquímico. Dichas perturbaciones pueden ocurrir de la siguiente forma:

- En la eliminación o alteración directa sobre el elemento químico principal del ciclo. Por ejemplo, en la contribución de los ecosistemas forestales, el ciclo del carbono es de suma importancia, por lo que, al afectar dicho ecosistema con la tala, se estaría alterando directamente, impidiendo así la reincorporación del carbono en los suelos y, por lo tanto, modificando la captación de éste al disminuirlo.
- En la alteración de los ciclos en su fase atmosférica, por la adición de contaminantes, se modifica el ciclo del elemento originando secundariamente cambios en el equilibrio del ecosistema.



Actualmente, tres cuartas partes de estas perturbaciones a los ciclos son causadas directamente por las actividades del ser humano.

Las perturbaciones son sucesos discretos en el tiempo, donde se alteran las estructuras dentro de los ecosistemas, de las comunidades o poblaciones, así como el cambio de los recursos, y la disponibilidad de los hábitats o medios físicos en los sistemas dentro de la biósfera. Éstas no tienen un efecto en los ecosistemas, sino que dependen del régimen de perturbaciones que son características espaciales y temporales dentro de un patrón, a éstas también se les denominan alteraciones de los ciclos, ya sea por cuestiones externas o internas dentro del ecosistema.

Las perturbaciones son parte integral de los sistemas terrestres, por la acción continua de los mismos, provocando la adaptación y evolución de las especies, además de generar un cambio en la diversidad del planeta; de igual forma, tienen un papel importante dentro de los ciclos biogeoquímicos de la materia.

Las perturbaciones se clasifican en dos tipos:

- Naturales. Entre las que se encuentran el fuego, las avalanchas de nieve o tierra, los fenómenos meteorológicos extremos, inundaciones, deposición de partículas, plagas y algunos mamíferos.
- Antropogénicas. Son las que realiza el ser humano: generación de contaminantes, pérdida de biodiversidad, deforestación, quema en demasía de combustibles fósiles, crecimiento de la mancha urbana y utilización de espacios para depositar residuos sólidos.

Los efectos de las perturbaciones sobre los diversos ecosistemas dependen exclusivamente de la magnitud de acción del agente perturbador, así como la susceptibilidad de los ecosistemas. Cuando se realizan o se detectan estas perturbaciones, se consideran factores limitativos dentro de los sistemas, lo cual se revisará más adelante.



2.3. Factores limitativos

¿Qué son los factores limitativos?

Son aquellos agentes que obstaculizan la reproducción e incluso la sobrevivencia de una población determinada dentro de un ecosistema, es decir, todos los factores abióticos tienen su punto óptimo y su límite de tolerancia, de ahí que cualquier factor fuera del margen óptimo causará una tensión y será una limitante.

Los factores limitantes significan un gran problema, ya que, por ejemplo, las plantas pueden morir no por falta de agua, nutrientes naturales o artificiales, sino por exceso de ellos. Otro de los factores limitantes es la temperatura, ya que puede provocar mayor o menor reproducción de una especie, afectando así a la población en un hábitat determinado.

Es importante señalar que uno o más factores abióticos pueden limitar o prevenir el crecimiento, así como la reproducción de una especie, a pesar de que los otros factores se encuentren en o cerca del punto óptimo.

Odum y Barrett (2008) mencionan que otro ejemplo es el caso de la bahía de *Great South* en *Long Island*, Nueva York, donde se demostró que el exceso de un factor bueno puede modificar a todo el ecosistema, influyendo, en este caso, a la industria marisquera. Este caso fue nombrado *Los patos contra las ostras* y fue documentado por las relaciones causa y efecto. Al determinar grandes granjas de patos dentro de esta bahía se ocasionó una extensa fertilización de las aguas originada con el estiércol producido por este animal, que dio como resultado un gran aumento en la densidad de fitoplancton; sin embargo, otro factor determinante fue que la baja circulación de barcos en esta bahía provocó un exceso de acumulación de nutrientes por falta de oxigenación, en lugar de ser desplazados hacia el mar. El exceso de nutrientes agregados y la baja proporción de nitrógeno-fósforo modificaron en la totalidad la producción y crecimiento de organismos.

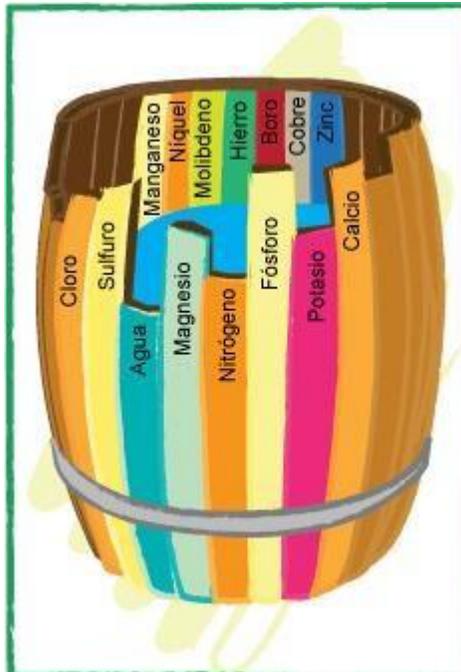
Justus von Liebig, en 1840, a través de experimentaciones y observaciones de factores limitantes, realizadas con los nutrientes químicos en el proceso de crecimiento de las plantas, concluyó que la restricción de alguno de los nutrientes en cualquier instante obtenía el mismo resultado y limitaba el crecimiento de las mismas, con lo cual estableció una ley de factores limitantes, también conocida como **Ley del Mínimo de Liebig**, que a continuación se describirá.



2.3.1. Ley del Mínimo de Liebig

La Ley del Mínimo es un principio desarrollado en la ciencia agrícola, expuesto en 1828 por Carl Sprengel, y más tarde fue interpretado y reformulado por Justus von Liebig, quién afirmó que el crecimiento no es controlado por un monto total de los recursos que están disponibles, sino por el recurso que se encuentra más escaso y que sería el factor limitante. Por lo tanto, la idea de que un organismo es más fuerte que otro de un eslabón más débil dentro de una cadena trófica con ciertos requerimientos, no es del todo cierta, ya que la dependencia del recurso puede afectar a una especie más que a otra. Esta idea fue elaborada por Justus von Liebig en 1840, pionero en el estudio de algunos factores de crecimiento de las plantas, con la cual se descubrió la manera de como los agricultores en la actualidad conocen el rendimiento de las plantas, que suele estar limitado no sólo por los nutrientes, sino por el agua y la temperatura que necesitan; su afirmación señala que el crecimiento de una planta depende de los nutrientes que se encuentran disponibles sólo en rangos mínimos.

Representación de la Ley del Mínimo de Liebig.



Ohio State University (2010).

En esta imagen puedes ver una serie de nutrientes representados por tablas de diferentes colores; el Potasio (K) es el que representa el mínimo, el cual sería el que



limitaría la producción en una determinada área de cultivo. Este concepto fue aplicado al crecimiento de plantas y cultivos, donde se encontró que al aumentar la cantidad de nutriente en mayor abundancia no incrementaba el crecimiento, sólo con el aumento de la cantidad del nutriente limitante, es decir, el más escaso o de menor representación, se podía mejorar el crecimiento de los cultivos. Puedes identificar este principio en el siguiente aforismo, el cual menciona que la disponibilidad de los nutrientes más abundantes en los suelos es como la disponibilidad del nutriente de menor proporción en el suelo.

Varias investigaciones han demostrado que es fundamental agregar dos restricciones subsidiarias a este concepto para que éste resulte aplicable:

- La primera restricción dice: la Ley del Mínimo de Liebig se aplica estrictamente sólo en condiciones de relativa estabilidad; es decir, cuando el promedio de flujos energéticos de entrada y la materia prima se equilibran con los flujos de salida durante un ciclo anual. Por ejemplo: el dióxido de carbono es el principal factor limitativo en un lago y por lo tanto su productividad está controlada por la tasa de suministro de dicho dióxido, procedente de la descomposición de materia orgánica. Suponiendo que otros factores hayan estado disponibles en abundancia como luz, nitrógeno o fósforo y no hayan sido factores limitativos, un cambio climático, como una tormenta, puede ser el factor que lleve más dióxido de carbono al lago provocando que la tasa de producción cambie. Mientras se encuentre cambiando, hay menos probabilidad de que dependa de un constituyente mínimo y se encuentre en equilibrio.
- La segunda restricción es la interacción de factores; es decir, una concentración elevada, la disponibilidad de alguna sustancia o la acción de algún factor distinto del constituyente mínimo, podría modificar la tasa de uso del factor limitante. Hay ocasiones en las cuales los organismos pueden sustituir, por lo menos de manera parcial, alguna sustancia relacionada de una manera cercana por otra que sea deficiente en el entorno, como es el Nitrógeno atmosférico, del cual las plantas toman únicamente lo necesario, aunque éste sea variable y no afecta su crecimiento (Odum y Barrett, 2008).

La Ley del Mínimo fue redefinida por Bartholomew en el año de 1958, se podría utilizar en el problema de la distribución de las especies, tomando en cuenta los límites de la tolerancia de la siguiente forma; se menciona que la distribución de las especies estará siempre controlada por los factores ambientales para que el individuo tenga un espacio de adaptabilidad o un control más estrecho.



Estos límites de tolerancia que menciona Bartholomew los retoma Shelford en su Ley de la Tolerancia, tema que se desarrolla a continuación.

2.3.2. Ley de la Tolerancia de Shelford

La distribución y la abundancia que presentan los seres vivos en un hábitat están determinados por la existencia de los nutrientes, pero también por los factores fisicoquímicos dentro de los ecosistemas.

La existencia y el bienestar de los individuos siempre dependerán del carácter de un determinado conjunto de condiciones, la desaparición o el mal estado de un organismo pueden darse por la deficiencia o la abundancia, de manera cualitativa o cuantitativa, con respecto a uno de los diferentes factores que se acercan a los límites de tolerancia del ente en cuestión.

No siempre la falta de algo puede determinarse como un factor limitativo, sino también el exceso de algo. De forma que los organismos siempre tengan un máximo o un mínimo ecológico, siempre con un margen entre uno y el otro de manera que se puedan representar estos límites de tolerancia.

Las consecuencias que tiene esta ley las definimos en cuatro puntos que a continuación se marcan:

- a) Un organismo siempre tendrá un margen amplio de tolerancia para un factor y un margen chico para otro.
- b) Los individuos con márgenes amplios de tolerancia para todos los factores son los que tienen mayores posibilidades de estar mejor distribuidos.
- c) Cuando las condiciones no sean las óptimas para las especies con respecto a un cierto factor, los límites se reducirán con respecto a otros factores ecológicos.
- d) Los periodos de reproducción suelen ser espacios críticos en los cuales los factores ambientales tendrán mayores posibilidades de ser limitativos; es decir, los límites de tolerancia serán más estrechos en los individuos en etapa reproductiva.

La expresión de los grados relativos de tolerancia se ha diversificado en la Ecología con el empleo de algunos términos que sirven como prefijos y que son utilizados de manera cotidiana en textos ecológicos, dichos prefijos son:



1. *Esteno*, cuyo significado es **corto** u **angosto**.
2. *Euri*, que significa **amplio**.

Es primordial reconocer que la aplicación en la ecología de las leyes de Liebig y de Shelford, nos llegan a explicar en gran medida por qué un organismo puede estar siempre presente o ausente en menor o mayor cantidad dentro de un ecosistema dado. Por ejemplo, los organismos vegetales y animales más esparcidos y distribuidos en nuestro planeta son los que toleran las altas y bajas temperaturas, presiones, salinidad, etc. En este caso podemos mencionar al ser humano, los ratones, las cucarachas, los peces tripones y algunos patos.

Cierre de la Unidad

¡Muy bien! Has concluido la segunda unidad de la asignatura, en la que conociste más sobre el funcionamiento de los ecosistemas, por ejemplo, cómo circula la energía dentro de un sistema y cómo se producen las fuentes primarias de energía, además revisaste la fijación de la energía en los niveles tróficos que conforman un ecosistema, mediante el proceso de la fotosíntesis y la fijación del carbono dentro de un hábitat.

También analizaste lo que son los ciclos biogeoquímicos y cuál es su función dentro de la biósfera, ya que son parte importante del proceso de la vida que hay en un ecosistema, para que las especies que habitan ahí puedan sobrevivir o extinguirse si estos ciclos fueran perturbados.

Y por último, revisaste las dos leyes que son importantes dentro de los procesos ecológicos, la Ley del Mínimo indica que siempre se deben de tomar en cuenta los mínimos que se tienen en los nutrientes, para que éstos no lleguen a provocar una alteración en las especies vegetales que dependen de éstos, y así estar siempre regulándolos para evitar su agotamiento. La otra ley que revisaste es la de la Tolerancia, ésta se utiliza en las poblaciones para determinar la capacidad de adaptación y tolerancia que tienen las especies para un determinado factor abiótico y poder así sobrevivir.

Es aconsejable que revises nuevamente la unidad en caso de que los temas que se acaban de mencionar no te sean familiares, o no los recuerdes, de no ser este tu caso, ya estás preparado(a) para seguir con la unidad 3, en donde abordarás la organización y diversidad que existe en la biósfera.



Para saber más



En Botanical-online podrás conocer más acerca del proceso de la fotosíntesis de una manera sencilla y clara, además podrás consultar diferentes temáticas: funciones y partes de las plantas, sus tipos, entre otras cosas. **Consulta** la información en: <http://www.botanical-online.com/fotosintesis.htm>



El trabajo de Forbes (1887) titulado The Lake as a Microcosm (El lago como un microcosmos), es un trabajo en el que se sugiere que el conjunto de especies en un lago es un complejo orgánico y que si afectamos a una especie puede ejercer influencia en todo el conjunto. **Consulta** la información en: <http://people.wku.edu/charles.smith/biogeog/FORB1887.htm>



En el artículo de Hernández Gil, Rubén podrás revisar con más detenimiento el proceso de la fotosíntesis y sus etapas. Asimismo, en este artículo se exponen diferentes temáticas, entre las cuales se encuentran: naturaleza de la luz, clorofila y pigmento accesorios, estructura del cloroplasto y de las membranas fotosintéticas, entre otros. **Consulta** la información en:

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>



Para desarrollar actividades relacionadas con los ciclos biogeoquímicos y adquieras mayor conocimiento sobre ellos, puedes **consultar** la siguiente liga:

http://www.windows2universe.org/teacher_resources/teach_CO2.html&lang=sp



En la página del Instituto de ecología (Inecol) encontrarás información sobre lo que conlleva la ecología, además podrás consultar proyectos, cursos e investigaciones destacadas, las cuales te podrán guiar en tu proceso de aprendizaje.

Consulta la información en:

<http://www.inecol.edu.mx>



Para comprender la fijación del carbono en los sistemas agroforestales de café y eucalipto en Costa Rica, puedes consultar una liga en la cual observarás que más del 80% del carbono se encontró almacenado en el suelo y la fijación de este mismo elemento incrementó en el año de estudio y se demostró que el monto pagado a Costa Rica por el almacenamiento del mismo elemento no es suficiente para tener una influencia significativa en el uso de la tierra. **Consulta** la información en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Jimenez9/publication/288653502_Almacenamiento_fijacion_de_carbono_y_valoracion_de_servicios_ambientales_en_sistemas_agroforestales_en_Costa_Rica/links/568a72df08aebccc4e19fa4c/Almacenamiento-fijacion-de-carbono-y-valoracion-de-servicios-ambientales-en-sistemas-agroforestales-en-Costa-Rica.pdf



Fuentes de consulta



Bibliografía básica

1. Ghera, C. (2011). *Biodiversidad y ecosistemas. La naturaleza en funcionamiento*. Argentina: Eudeba.
2. Margalef, R. (2004). *Ecología*. España: Omega.
3. Odum, E. P. y Barrett, G. W. (2008). *Fundamentos de ecología*. (Quinta edición) México: Thomson Learning México and Latin America.
4. Rodríguez Castillo, F., Roldán Ruiz, M. D., Blasco Plá, R., Huertas Romera, M. J., Caballero Domínguez, F. J., Moreno Conrado, V. y Martínez Luque-Romero, M. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid: Tébar.
5. Samo Lumbresas, A. J., Garmendia Salvador, A. y Delgado, J. A. (2009). *Introducción a la práctica de la ecología*. España: Pearson.
6. Sapiña, F. (2006). *¿Un futuro sostenible?: el cambio global visto por un científico preocupado*. España: Universidad de Valencia.
7. Smith, T. M. y Smith, R. L. (2012). *Elementos de Ecología*. (Octava edición) E.U.: Benjamin Cummings.
8. Townsend, C. R., Begon, M. y Harper, J. L. (2008). *Essentials of Ecology*. (Third edition) USA: Blackwell Publishing.
9. Viñas, J. M. (2007). *¿Estamos cambiando el clima?* (Segunda edición) Madrid: Colección Milenium.



Bibliografía complementaria

10. Cognetti, M. G. y Magazzù, G. (2001). *Biología marina*. Barcelona: Ariel S.A.
11. Dajoz, R. (2002). *Tratado de Ecología*. (Segunda edición). Madrid: Grupo Mundi-Prensa.
12. Gliessman, R. S. (1998). Rodríguez, E., Benjamin, T., Rodríguez, L. y Cortés, L. (Ed.), *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica: Litocat
13. Hall, D. O., Rao, K. K. y González, P. D. (2001). *Photosynthesis*. (Sixth edition). United Kingdom: University Press, Cambridge.
14. Odum, E. P. y Sarmiento, F. O. (1999). *Ecología: El puente entre ciencia y sociedad*, México: Compañía Editorial Mc-Graw Hill.
15. Ricklefs, R. E. (1998). *Invitación a la ecología*. (Tercera Edición) Panamá: Médica Panamericana.

Fuentes electrónicas

16. Aguado Borrego, J., García-Doncel Hernández, R., Granados García, R., Luna Pérez, M. Pérez Cruz, J. Portero Cobos, R. y Siles Arjona, M. (1999). *Ciencias de la Naturaleza*. Recuperado el 20 de noviembre de 2011, de: <http://books.google.com.mx/books?id=igR81Z9ttOYC&pg=PA145&dq=Red+r%C3%B3fica&hl=es&sa=X&ei=chBMT4i6DpKNsALc2LEU&ved=0CDMQ6AEwAA#v=onepage&q=Red%20tr%C3%B3fica&f=false>
17. Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M. e Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8(30). Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Jimenez9/publication/288653502_Almacenamiento_fijacion_de_carbono_y_valoracion_de_servicios_ambientales_en_sistemas_agroforestales_en_Costa_Rica/links/568a72df08aebcc4e19fa4c/Almacenamiento-fijacion-de-carbono-y-valoracion-de-servicios-ambientales-en-sistemas-agroforestales-en-Costa-Rica.pdf
18. Botanical-online. (2012). *La fotosíntesis*. Recuperado el 19 de noviembre de 2011, de <http://www.botanical-online.com/fotosintesis.htm>
19. Comunidades de educación científica técnica. El ergonomista.com. (2009). *Ciclo del fósforo*. Recuperado el 09 de noviembre de 2011, de: <http://www.elergonomista.com/biologia/ciclof.htm>
20. Forbes, S. A. (1887). *The Lake as a Microcosm*. Recuperado el 1 de noviembre de 2011, de <http://people.wku.edu/charles.smith/biogeog/FORB1887.htm>



21. Gardiner, L. (2007). *Bióxido de Carbono - Fuentes y Sumidero*. Recuperado el 21 de noviembre de 2011, de http://www.windows2universe.org/teacher_resources/teach_CO2.html&lang=sp
22. Harrison, J. A. (2003). The Nitrogen Cycle: Of Microbes and Men. *Visionlearning 2(4)*. Recuperado el 05 de noviembre de 2011, de: http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98&l=s
23. Hernández Gil., R. (2002). *Fotosíntesis*. Recuperado el 20 de noviembre de 2011, de: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>
24. INECOL. (2011). *Instituto de Ecología*. Recuperado el 21 de noviembre de 2011, de: <http://www.inecol.edu.mx/>
25. Naturaleza educativa. (s.f.). *Ciclo del carbono*. Recuperado el 20 de noviembre de 2011, de: http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclocarbono.php
26. Ohio State University (2010). *Adjusting the Barrell Stave Concept*. Recuperado el 22 de noviembre de 2011, de: <http://corn.osu.edu/newsletters/2011/2011-04/adjusting-the-barrell-stave-concept>
27. Perlman, H. (2011). *La ciencia del agua para escuelas*. Recuperado el 23 de noviembre de 2011, de: <http://water.usgs.gov/gotita/earthgw.html>
28. Perú Ecológico. (s.f.) *Enciclopedia Virtual Ecología del Perú*. Capítulo 2. Comunidades bióticas y ecosistemas. Recuperado 17 de enero de 2012, de: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c2.htm
29. Seoáñez Calvo, M., Bellas Velasco, E., Ladaria Sureda, P. y Seoáñez Oliet, P. (2000). *Ingeniería del medio ambiente*. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Madrid: Mundi-Prensa. Recuperado el 24 de noviembre de 2011, de: <http://books.google.com.mx/books?id=lvq2Wn4HNroC&pg=PA77&dq=ciclo+del+azufre&hl=es&sa=X&ei=UA5MT5q9PKKGsgL5yYwq&ved=0CDUQ6AEwAQ#v=onepage&q=ciclo%20del%20azufre&f=false>
30. S.A. (2007). *Recursos de Biología y Geología*. Cap. La naturaleza de los ecosistemas. Componentes del ecosistema. Recuperado el 18 de noviembre de 2011, de: http://www.bioygeo.info/pdf/10_Naturaleza_de_los_Ecosistemas.pdf
31. Strahler, N. A. y Strahler, H. A. (1997). Flujos de energía y ciclos de materia en la biosfera. (Cap. 24) En Strahler, N. A. y Strahler, H. A. (Ed). *Geografía Física*. (Tercera Edición) OMEGA: Barcelona España. Recuperado el 17 de diciembre de 2014, de:



- <http://www.segemar.gov.ar/bibliotecaintemin/LIBROSDIGITALES/ISBN8428208476StrahlerStrahlerGeografiaFisicaCapitulo24.pdf>
32. The Habitable Planet. (2012). *Unit 4: Ecosystems // Section 3: Energy Flow Through Ecosystems*. Recuperado el 01 de noviembre de 2011, de: <http://learner.org/courses/envsci/unit/text.php?unit=4&secNum=3>
33. University Corporation for Atmospheric Research. (s.f.). *Cycles of the Earth and Atmosphere*. Recuperado el 13 de noviembre de 2011, de: <http://www.ucar.edu/learn/>
34. Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Cadena Trófica*. Recuperado el 12 de noviembre de 2011, de: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cadena_tr%C3%B3fica.png
35. Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Interacción entre los organismos y los factores ambientales*. Recuperado el 12 de noviembre de 2011, de: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion1/capitulo05/01_05_01.htm
36. Universidad de Navarra. (s.f.). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Tema 4: Ecosistemas, Producción primaria*. Recuperado el 12 de noviembre de 2011, de: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>
37. University of Michigan (2008). *The Flow of Energy: Primary Production to Higher Trophic Levels*. Recuperada el 24 de noviembre de 2011, de: <http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/king/energyflow/energyflow.html>
38. U.S. Geological Survey (2012). *El ciclo del agua*. Recuperado el 05 de noviembre de 2011, de: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>