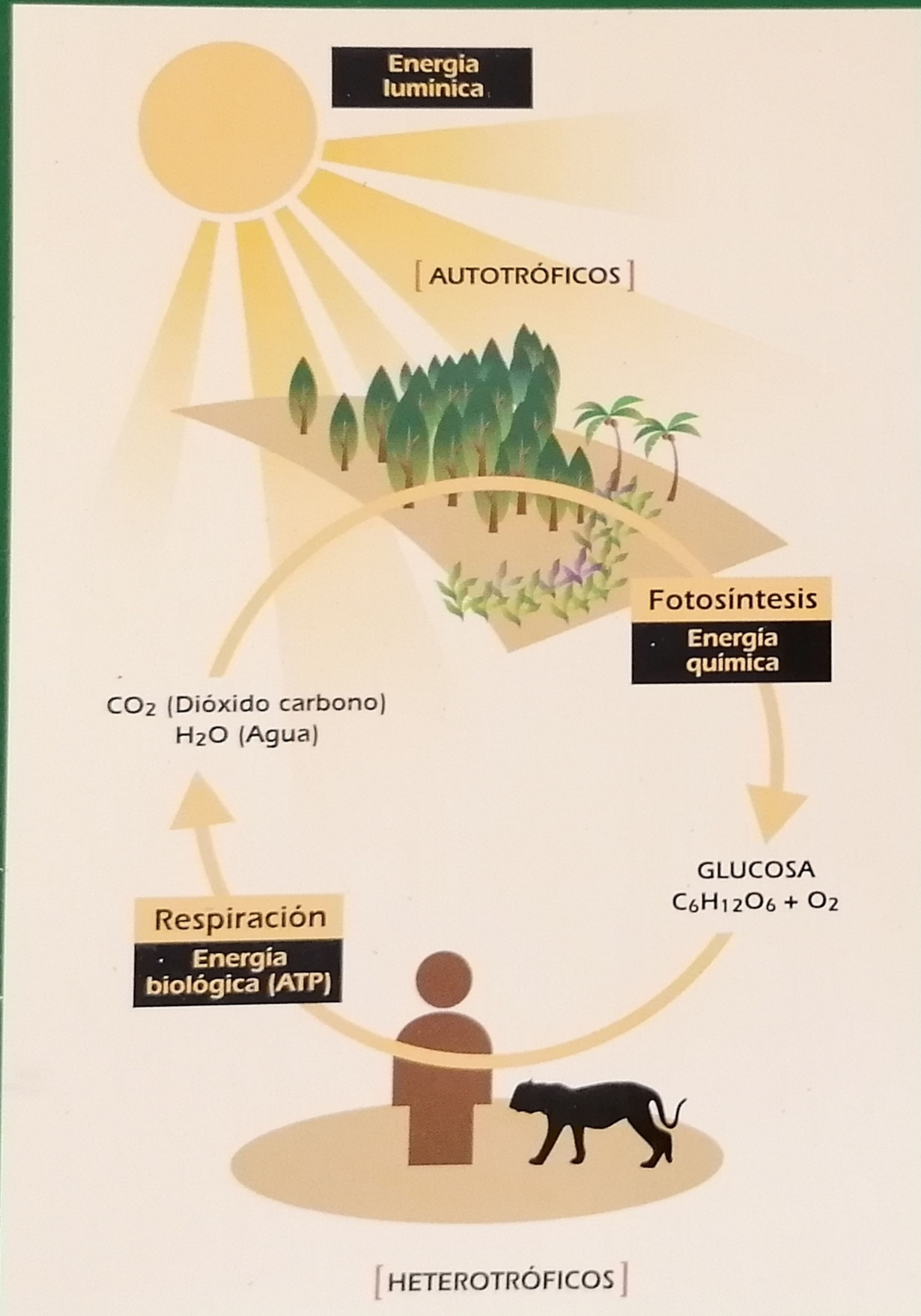


Bolivia Ecológica

REVISTA TRIMESTRAL N° 26

AÑO 2002



ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS

- ¿Qué es la energía?
- Leyes de la termodinámica
- El flujo de energía a través de mundo viviente
- El ambiente energético
- Importancia de la energía en los ecosistemas
- Energía en los ecosistemas
- Radiación solar
- Producción primaria
- Producción secundaria
- Redes alimentarias y producción secundaria
- Ruta de la materia y energía en el ecosistema
- Cadenas alimenticias y niveles tróficos
- Relaciones entre el aprovechamiento de la energía y la productividad en un ecosistema
- Unidades de energía con algunas aproximaciones ecológicas útiles
- Consumo energético humano
- Energía en las células
- ATP: Moneda energética de la célula
- Unidades de energía y valores de energía de los alimentos
- Alimentos energéticos
- Balance de energía
- Necesidades energéticas de un individuo
- Bibliografía

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

EDITOR

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

DIRECTORA DE LA PUBLICACIÓN

Carmina Montoya Köster

ASESOR

Lic. Amalia Antezana Valera

COLABORACIÓN

Daisy Arévalo

Cristina Torrico Laserna

FOTOGRAFÍA PORTADA

Circulación de la energía en el mundo vivo

Amalia Antezana

DISEÑADOR GRÁFICO

María Gracia Sarabia A.

ÍNDICE***ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS***

• ¿Qué es la energía?	pág. 1
• Leyes de la termodinámica	pág. 2
• El flujo de energía a través de mundo viviente	pág. 4
• El ambiente energético	pág. 5
• Importancia de la energía en los ecosistemas	pág. 6
• Energía en los ecosistemas	pág. 7
• Radiación solar	pág. 8
• Producción primaria	pág. 9
• Producción secundaria	pág. 11
• Redes alimentarias y producción secundaria	pág. 12
• Ruta de la materia y energía en el ecosistema	pág. 12
• Cadenas alimenticias y niveles tróficos	pág. 13
• Relaciones entre el aprovechamiento de la energía y la productividad en un ecosistema	pág. 17
• Unidades de energía con algunas aproximaciones ecológicas útiles	pág. 18
• Consumo energético humano	pág. 19
• Energía en las células	pág. 19
• ATP. Moneda energética de la célula	pág. 20
• Unidades de energía y valores de energía de los alimentos	pág. 20
• Alimentos energéticos	pág. 21
• Balance de energía	pág. 23
• Necesidades energéticas de un individuo	pág. 23
• Bibliografía	pág. 24

¿QUÉ ES LA ENERGÍA?

La energía es la capacidad para realizar un trabajo o la capacidad de producir un cambio en el estado o movimiento de la materia. Puede comprenderse mejor, en el contexto de la materia como todo lo que posee masa y ocupa espacio.

La energía puede existir de diversas formas y convertirse de una forma a otra. Las dos clases principales de energía son: la energía cinética y la potencial.

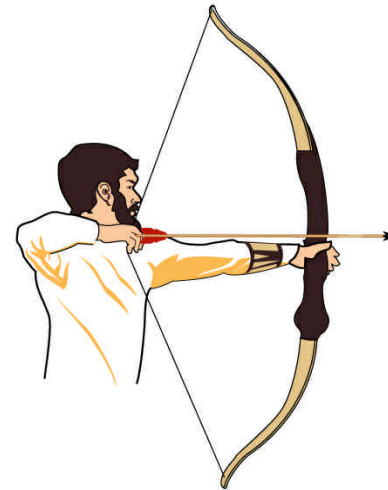
Energía cinética

Es la energía que se refiere al movimiento, incluye no sólo el movimiento de objetos grandes como un balón de fútbol lanzado al aire, sino también otras formas de movimientos, como la energía eléctrica (movimiento de electrones) y el calor (movimiento de átomos y moléculas).

Energía potencial

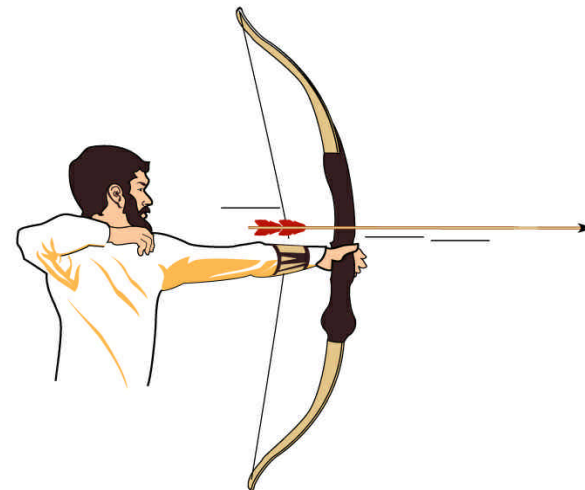
Se refiere a la energía “almacenada” que puede liberarse como energía cinética bajo condiciones adecuadas, por ejemplo un coco que se localiza en lo alto de una palmera tiene energía potencial, debido a su ubicación. Su energía potencial se convierte en energía cinética cuando cae. Los alimentos que ingerimos contienen energía potencial química y algunos se convierten en energía de movimiento y calor por ejemplo cuando corremos (AUDESIRK T. Y G. AUDESIRK 1996).

POTENCIAL



La energía potencial es la almacenada

CINÉTICA



La energía cinética es el movimiento

Para entender como rige el flujo de energía y las interacciones con la materia, necesitamos conocer la cantidad de energía disponible y su utilidad, que son los aspectos de las leyes de la termodinámica.

LEYES DE LA TERMODINÁMICA

Todas las actividades del universo de la vida y la muerte de las células, hasta la vida y la muerte de las estrellas, están regidas por las leyes de la termodinámica.

Primera Ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica, o ley de la conservación de la energía, indica que la energía total de cualquier sistema cerrado (cualquier objeto y sus alrededores) permanece constante, dado que el término alrededores se refiere al resto del universo que se considera un sistema cerrado, por tanto, la energía total del universo se define como constante.

Así la primera ley de la termodinámica, establece que la energía *“no puede crearse ni destruirse”*, sin embargo, sí puede transferirse y cambiar de forma, durante los procesos químicos o físicos.

Un organismo es un **sistema abierto**, que puede intercambiar materia y energía con su entorno, cualquier cambio en su contenido de energía debe ser balanceado por un cambio correspondiente en el contenido de energía de su medio.

Dado que los organismos no pueden crear ni destruir la energía, deben contar con adaptaciones que les permitan captarla de su ambiente, convertirla en otras formas y utilizarla conforme a sus propias necesidades.

Segunda ley de la termodinámica (entropía)

La segunda ley de la termodinámica es también conocida con el nombre de ley de la entropía. Siendo la entropía en términos de la cantidad de energía no recuperable, una medida de desorden en un sistema termodinámico cerrado (AUGESIRK T.,1997). Esta segunda ley sostiene, que los procesos físicos y químicos ocurren de manera tal, que aumentan la entropía del sistema.

Aún cuando la energía no se crea ni se destruye, al utilizarse se degrada (se transforma) en una forma que no se puede recuperar (calor disipado). Sin embargo, los organismos y los ecosistemas pueden recuperar esta energía (calor disipado).

El calor es el movimiento aleatorio de átomos y moléculas, así, un aumento de calor hace el sistema más desordenado. Debido a que existe una relación entre calor y cantidad de desorden en el sistema, podemos considerar el calor como la forma más desordenada de energía. Este aumento de desorden o aleatoriedad, puede medirse como un aumento en cantidad denominada entropía. Conforme a la segunda ley de la termodinámica, la cantidad total de entropía (energía aleatorizada o desordenada, no disponible para realizar trabajo) del universo aumenta de manera constante.

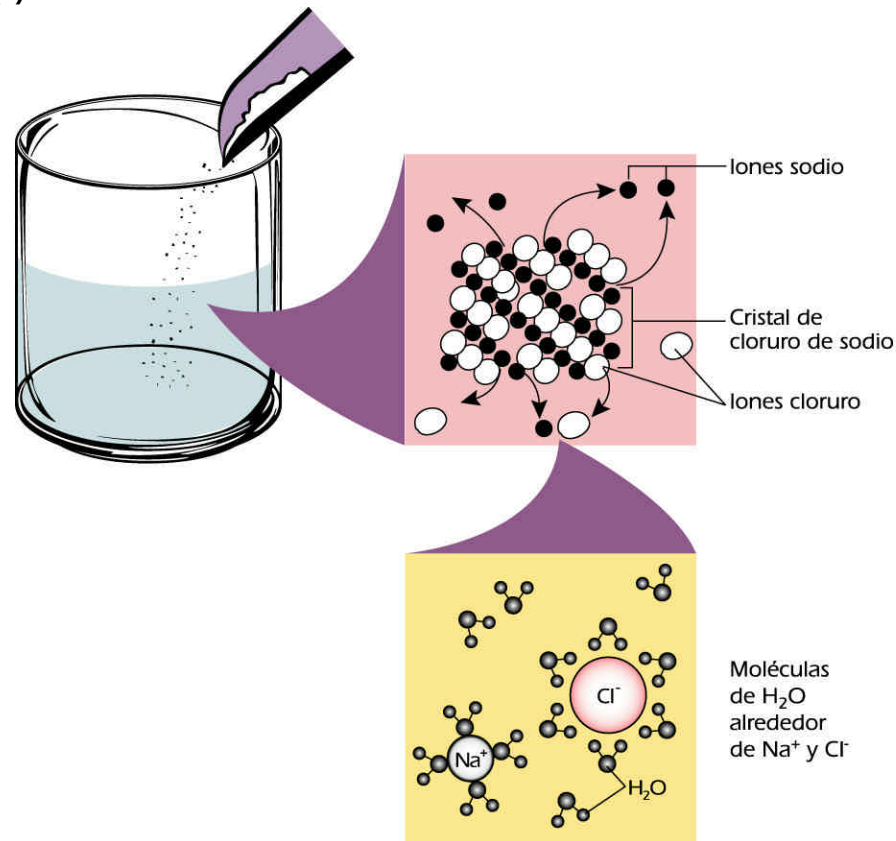
Los organismos y los ecosistemas mantienen un estado altamente organizado y de baja entropía (menor desorden), mediante la transformación de energía de un estado alto de utilidad a uno más bajo. De modo que, tiene que ver tanto con la clase, como con la cantidad de energía. Los ecosistemas se adaptan y organizan de acuerdo a la clase y nivel de energía; si se reduce la cantidad o la clase de energía que fluye a través de un bosque o una ciudad, entonces éstos concretamente empiezan a degradarse –o llegan a tener un grado de

desorden más alto que el original- por lo menos hasta que pueda reorganizarse.

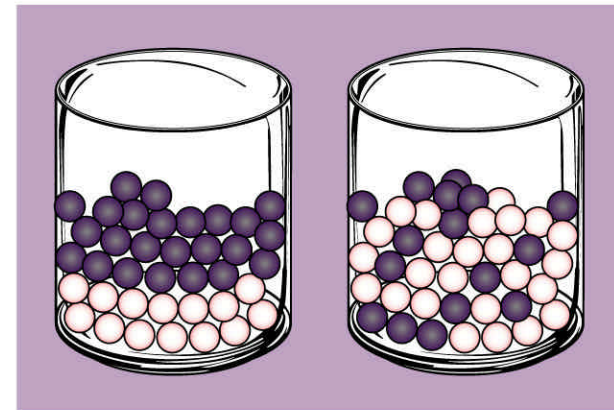
La interacción de energía y materiales en el ecosistema es de fundamental interés para los ecólogos. En realidad, se puede decir que el flujo unidireccional de la energía y la circulación

de los materiales, son los dos grandes principios o “leyes” de la ecología general, ya que se aplican por igual a todos los tipos de ambientes y a todos los tipos de organismos, incluso al hombre, además es el flujo de energía el que mueve el ciclo de la materia.

(a)



(b)



La entropía es una medida del grado de desorden. **(a)** Conforme las partículas dejan un cristal para entrar en solución se vuelven cada vez más desordenadas, y la entropía (aleatoriedad) de este sistema aumenta durante el proceso. **(b)** Imagínese que agita un recipiente que contiene canicas de dos colores. El número de posibles distribuciones desordenadas de las canicas es mucho mayor que el de posibles distribuciones ordenadas. Por tanto, una distribución desordenada como la de la derecha es más probable que su distribución ordenada de la izquierda, en que todas las canicas del mismo color permanecen juntas (**(b)** Charles, Steele).

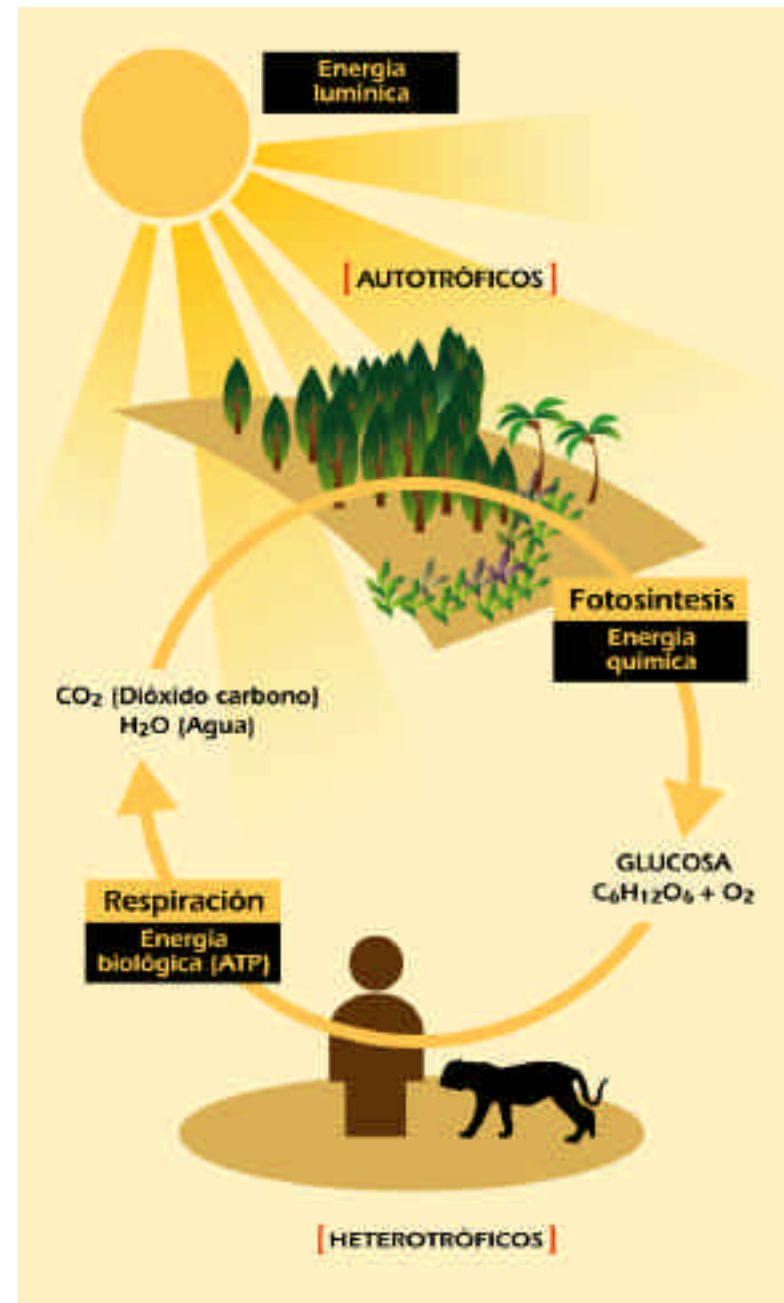
EL FLUJO DE ENERGÍA A TRAVÉS DE MUNDO VIVIENTE

La puerta de entrada de la energía radiante del sol en todos los ecosistemas son los organismos fotosintéticos, los únicos capaces de utilizarla para sintetizar sus propias células y tejidos a partir del agua, dióxido de carbono y minerales del suelo y de las plantas (o de los ambientes acuáticos, las algas).

Parte de esta energía queda acumulada en los enlaces químicos ricos en energía, que mantienen unidos los átomos una vez reordenados en la materia orgánica formada por células y tejidos vegetales. La otra parte se disipa al exterior en los procesos respiratorios propios de las plantas verdes.

Cuando un herbívoro ingiere una planta (o cuando las bacterias la descomponen), la energía potencial que ésta conserva en forma química, es utilizada por el consumidor de dos maneras: una parte de la energía queda nuevamente acumulada en forma química en las células y tejidos sintetizados; la otra se gasta en respiración y trabajo biológico en general, debido a que el animal no puede utilizar la energía solar para sintetizar su propia materia orgánica. Otro tanto ocurre si este herbívoro es consumido por un carnívoro y éste a su vez por otro predador, o si cualquiera de estos consumidores es digerido y/o metabolizado por descomposición.

De modo que, en última instancia, toda la energía atrapada inicialmente por las plantas durante la fotosíntesis acaba por convertirse en biomasa animal. Una parte es destinada a mantener los procesos metabólicos del animal y otra parte se convierte en calor y se disipa en el espacio exterior, es decir, no se reutiliza. Por tanto, el flujo de energía a través del mundo viviente es unidireccional, lo que equivale a decir que, en lo referente a la energía, la biosfera es un sistema abierto.



EL AMBIENTE ENERGÉTICO

Los organismos de la superficie de la tierra o cerca de ella están sumergidos en un medio ambiente de radiación, que consta de la radiación solar y de la radiación térmica de onda larga que fluye de las superficies vecinas. Ambas contribuyen al medio climático (temperatura, evaporación de agua, movimiento de aire y agua, etc.).

Solamente una pequeña porción de la radiación solar puede convertirse mediante fotosíntesis para proporcionar energía a los componentes bióticos del ecosistema. La Luz solar extraterrestre llega a la biosfera a razón de 2gcal por cm^2 y por minuto, resultando atenuada exponencialmente a medida que atraviesa la atmósfera (constante solar), a lo sumo 67 por 100 (1.34gcal por cm^2 por minuto) llega a la superficie de la tierra a medio día de un día claro de verano (Gates, 1965).

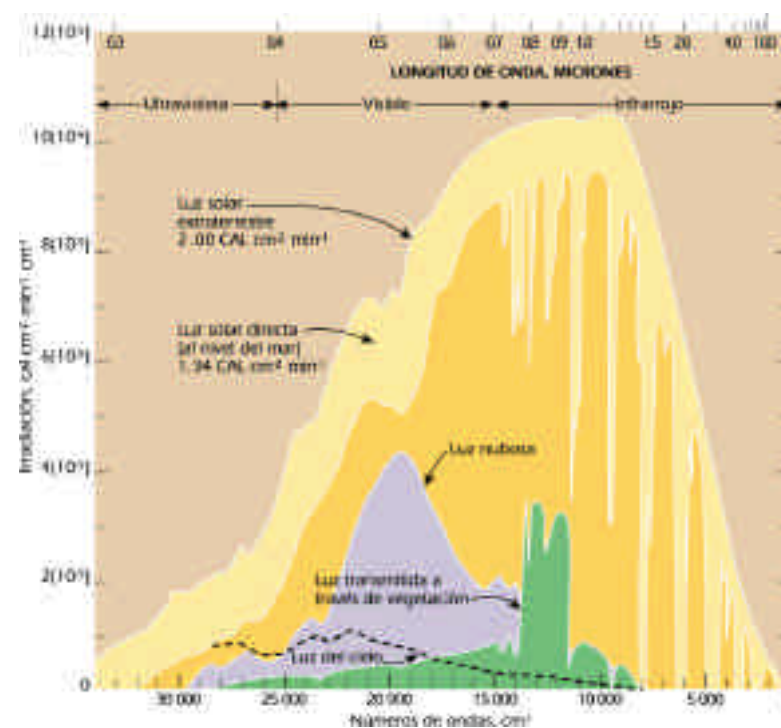
La radiación solar es atenuada además –y la distribución espectral de su energía es profundamente alterada– a medida que atraviesa la capa de nubes, el agua y la vegetación.

El suministro diario de luz solar a la capa autotrófica de un ecosistema varía la mayoría de las veces entre 100 y 800, con un promedio de unas 300-400 gcal por cm^2 (= 3 000-4 000 Kcal por m^2) en un área de una zona templada.

La corriente de energía calorífica de 24 horas en un ecosistema (o la recibida por organismos expuestos) puede ser varias veces más, o también considerablemente menos, que la suministrada por la radiación solar. La variación en la corriente total de radiación, tanto en las diferentes capas de un ecosistema como de una estación a otra o de un lugar a otro en la

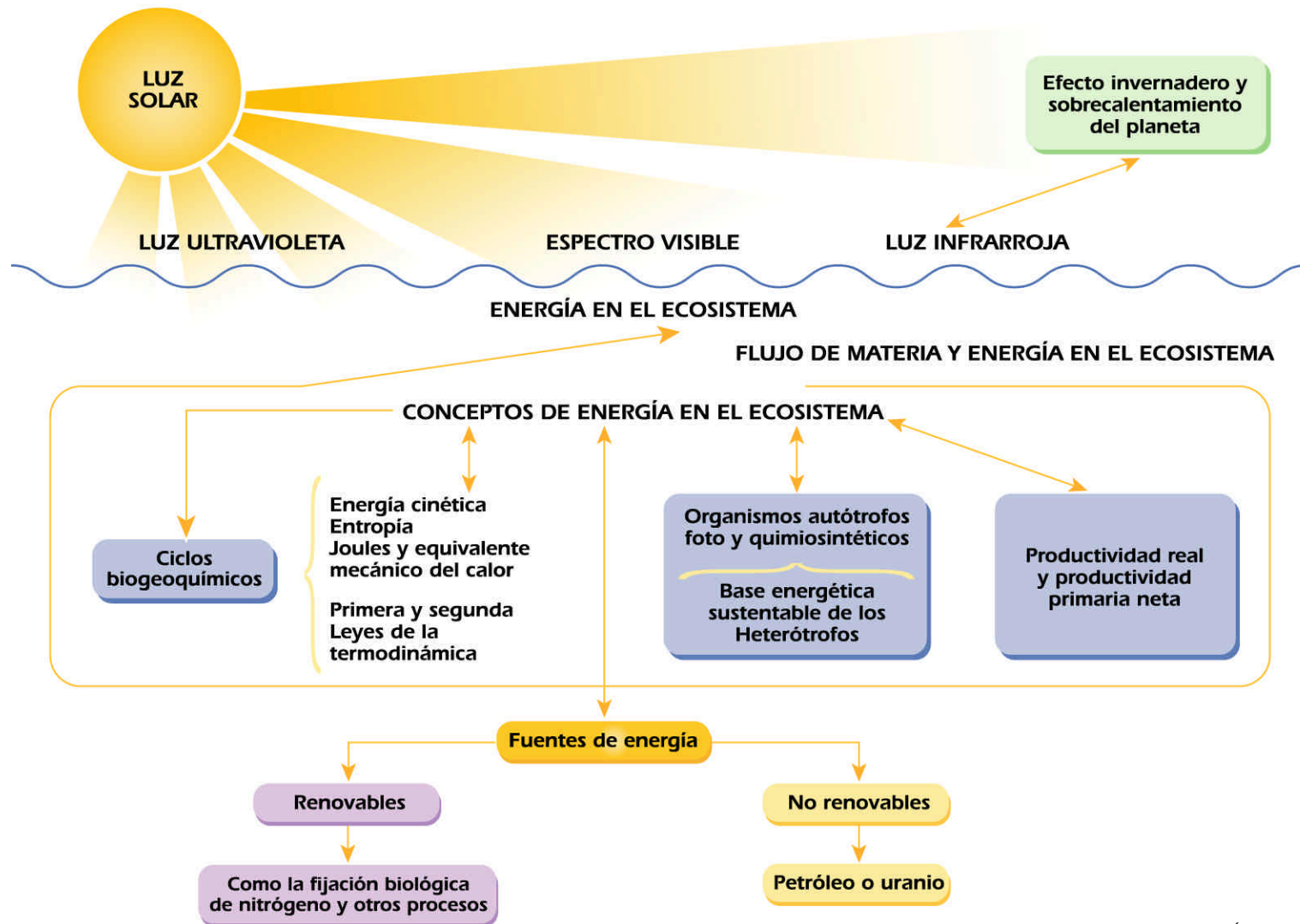
superficie de la tierra, puede ser enorme, y la distribución de organismos individuales concuerda con ello.

CONCEPTOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS ECOLÓGICOS



Distribución espectral de la radiación solar extraterrestre, al nivel del mar en un día claro, de la luz solar con un cielo totalmente encapotado y de la luz solar que penetra en una masa de vegetación. Cada curva representa la energía que cae en un superficie horizontal (DE GATES, 1965).

IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS



VÁSQUEZ, 1998

Como se explicó anteriormente, la energía puede definirse como la capacidad de producir trabajo o de transferir calor,

mientras que la materia representa algo dotado de masa, y por lo tanto, ocupa un lugar en el espacio.

La materia puede transformarse en energía y la energía en materia. Los biólogos pueden constatar esta afirmación en el proceso respiratorio donde los alimentos se desdoblan, liberando la energía química que poseen, la cual permanece almacenada en las células en forma de la molécula de ATP (VASQUES, A. 1998) .

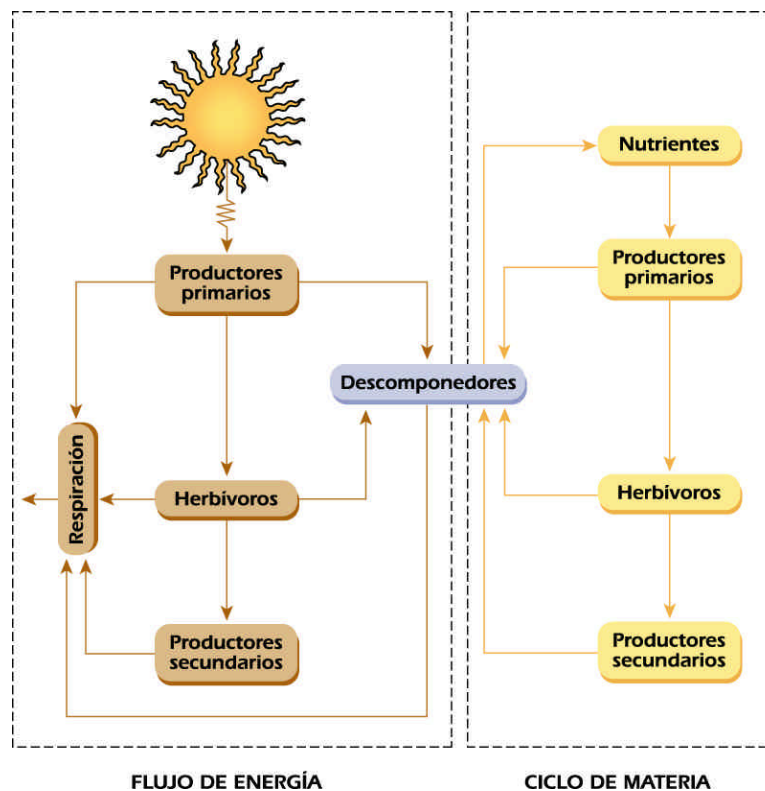
La transformación de energía en materia se presenta en el proceso recíproco, es decir en la fotosíntesis, la cual permite almacenar la energía radiante del sol como material químico orgánico, del tipo de azúcares. Fundamentalmente estos productos fotosintéticos representan la base energética de todos los seres vivos del planeta.

En la superficie terrestre, así como en el mar y las aguas dulces, las células u organismos autótrofos fotosintéticos y los heterótrofos son mutuamente dependientes, ya que los mecanismos de la respiración y la fotosíntesis son recíprocos.

Las estructuras heterótrofas dependen de la energía de las moléculas alimenticias que han sido procesadas por las autótrofas, además de que la mayor parte de los seres vivos también requieren del oxígeno liberado en la fotosíntesis, para efectuar un proceso respiratorio aeróbico. En la respiración aerobia, fermentación y respiración anaeróbica (diversos tipos respiratorios presentes en los seres vivos acuáticos terrestres) se genera el CO_2 , material indispensable para el desarrollo fotosintético.

Los organismos unicelulares o pluricelulares, autótrofos y heterótrofos, están sujetos a la tendencia natural de disminuir el "orden energético" e incrementar "desorden", es decir, la pérdida de energía sin un aprovechamiento útil.

ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS



Los ecosistemas incluyen tanto a los organismos (bacterias, hongos, plantas y animales) como a su medio abiótico (clima, suelos) de cualquier lugar definido. Las comunidades biológicas, "lo vivo", se integran en su medio "lo inanimado", y juntos establecen una serie de relaciones complejas que dan lugar a un sistema funcional.

No tiene sentido tratar cada uno de los componentes de un ecosistema por separado, ya que si se divide un ecosistema en las partes que lo forman, se pierde la característica que intrínsecamente lo definen: su funcionalidad y su compleja organización.

El estudio de un ecosistema se basa en la relación íntima que establecen los organismos con su medio ambiente y en la dependencia funcional que tienen unos componentes con respecto a otros (ya sean “vivos” o “inanimados”).

Estas relaciones se basan en la transferencia de energía y de nutrientes, en los lugares por donde pasan y en el empleo que se hace de ellos.

Los nutrientes circulan en los ecosistemas unidos a la energía, pero a diferencia de los nutrientes, que entran en un ciclo para volver a ser reutilizados, una parte de la energía se disipa en cada transferencia.

RADIACIÓN SOLAR

Es la fuente principal de energía de un ecosistema. La radiación solar que se recibe sobre la superficie terrestre varía según el ángulo de incidencia.

Energía luminosa

El sol es el emisor de luz, la vida en el planeta tierra depende de la luz, de modo que es importante comprender la naturaleza de la luz y cómo permite que ocurra la fotosíntesis.

La luz es una pequeña porción de un espectro continuo muy amplio de radiación llamado espectro electromagnético. Todas las radiaciones en este espectro viajan a manera de ondas. La longitud de onda es la distancia que hay entre el pico o cima de una onda hasta el siguiente. El espectro de luz visible va de la longitud de onda de 380 a 760 m.

La luz se compone de pequeñas partículas llamadas fotones. La energía de estos varía con la longitud de onda, cuanto más breve es dicha longitud, mayor es la energía por fotón y cuanto mayor es la longitud de onda, menor es la energía por fotón. Es decir, la energía por fotón es inversamente proporcional a la longitud de onda de la luz.

Otro aspecto es que sólo la radiación de la porción de luz visible del espectro excita a ciertos tipos de moléculas biológicas, provocando el movimiento de electrones a niveles de mayor energía. Los organismos vivos por ejemplo utilizan la luz visible porque es la más abundante.

Además de su efecto térmico, la luz solar es la materia prima energética para el proceso de la fotosíntesis, aunque la mayor parte de la energía no es susceptible de ser transformada en energía de enlaces químicos. Del total de energía irradiada se calcula que el 2% ha logrado convertirse en fotosintatos. Este índice tan bajo de aprovechamiento puede deberse a que no toda la energía irradiada es aprovechable.

Entre las radiaciones de la luz visible se encuentran las que calientan el medio ambiente y las que absorben las plantas verdes para efectuar la fotosíntesis, fenómeno de fundamental importancia para iniciar el flujo de materia de energía en un ecosistema.

PRODUCCIÓN PRIMARIA

Es la actividad que realizan los productores primarios en el primer nivel trófico. En un ecosistema de tierra son las plantas las que realizan esta actividad y en un ecosistema acuático las algas. Para la realización de este trabajo emplean la energía luminosa para elaborar carbohidratos y otros compuestos. Los productores en volumen llegan al 99% de toda la materia orgánica del mundo viviente.

Los organismos vivos requieren el aporte constante de energía para recuperar las energías perdidas en su mantenimiento, crecimiento y reproducción. Por tanto, los individuos pueden considerarse como máquinas complejas dedicadas a procesar energía y materias primas.

Los seres vivos animales, plantas, microorganismos sobre la base de su requerimiento nutricional de carbono pueden clasificarse en dos grupos: heterótrofos y autótrofos.

Heterótrofos

Los organismos *heterótrofos* consiguen la energía y las materias primas que precisan para su desarrollo alimentándose de plantas o de otros animales. Es decir, requieren carbono (C) en forma de ligadura carbono-hidrógeno (C-H) de los compuestos orgánicos, tales como carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos para poder efectuar su crecimiento y desarrollo. A este grupo pertenecen los animales, el hombre y muchos microorganismos.

Los heterótrofos producen carbono y la energía de la respiración de las moléculas orgánicas ya preconstituidas que le son

suministradas del medio ambiente, por ejemplo carbohidratos, grasas y proteínas, originando como uno de sus productos finales bióxido de carbono que se desprende a la atmósfera.

Autótrofos

Los organismos *autótrofos* son aquellos seres vivos que utilizan carbono inorgánico, generalmente en forma de bióxido de carbono como única fuente de energía. Estos pueden subdividirse en dos grupos: los fotosintéticos y los quimiosintéticos.

Los fotosintéticos y/o fotoautótrofos que son los más abundantes, están representados casi completamente por las plantas verdes y en una cantidad más pequeña por las bacterias fotosintéticas. Las plantas verdes, las algas y las bacterias fotosintéticas son aquellas capaces de utilizar la energía luminosa para poder asimilar o convertir las ligaduras de carbono de baja energía en ligaduras de carbono-hidrógeno de alta energía, a través de la fotosíntesis, utilizando la energía solar y moléculas simples como el dióxido de carbono.

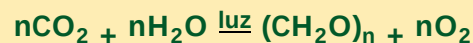
En cambio, los organismos *quimiosintéticos* son un grupo pequeño y exclusivo de bacterias. Estos utilizan también el bióxido de carbono como fuente para su crecimiento y desarrollo normal, pero a diferencia de los seres fotoautótrofos, no utilizan la luz solar como fuente de energía, sino que está suministrada por la oxidación biológica de substratos inorgánicos, como el amonio, nitratos, ácido sulfúrico, etc. Como ejemplos de estos organismos podemos citar las bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso fundamental del que depende todo organismo autótrofo, para mantenerse mediante la transformación de energía solar en energía química, donde participan el dióxido de carbono de la atmósfera más el agua en presencia de luz solar y pigmento de la célula vegetal para formar carbohidratos (glucosa) y oxígeno.

El mundo vegetal produce anualmente, por lo menos, 10^{17} kilocalorías de energía libre a expensas de la energía solar. Esta cantidad es de 10 veces mayor que toda la energía obtenida de combustibles fósiles que consume la humanidad. Por otro lado, los combustibles fósiles (gas natural, carbón y petróleo) son producto de procesos fotosintéticos que tuvieron lugar hace millones de años.

Casi la mitad de toda la actividad fotosintética del planeta transcurre en los océanos, ríos y lagos y la realizan los diferentes microorganismos que constituyen el fitoplancton. La ecuación fundamental de la fotosíntesis es:

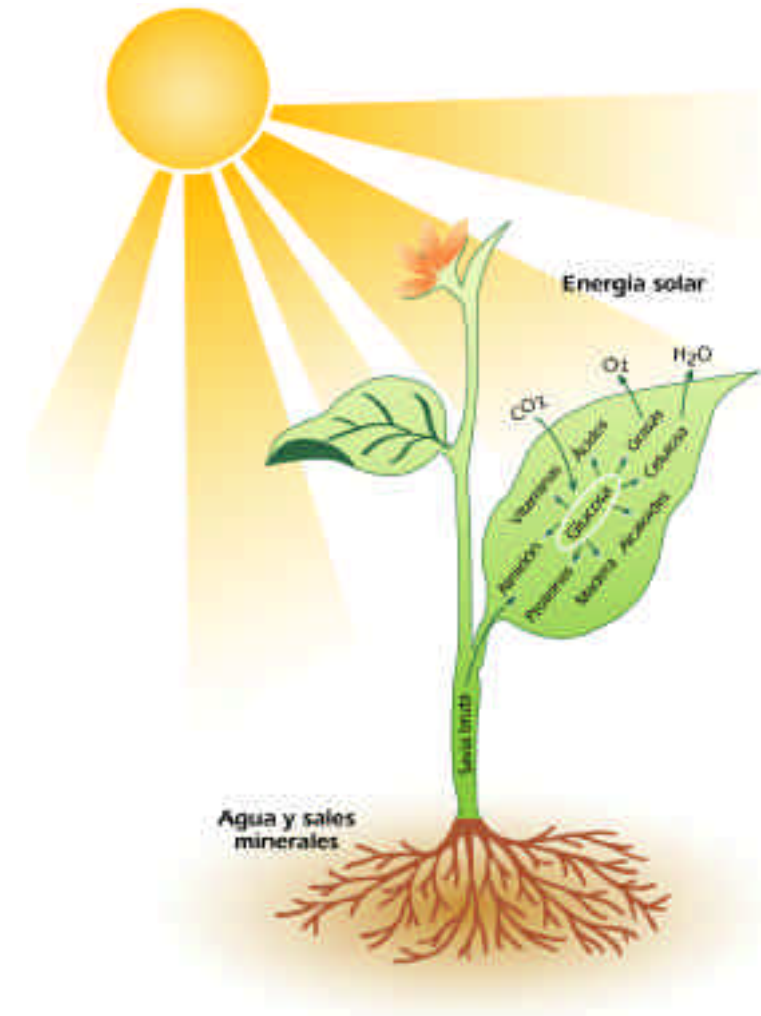


Las moléculas de clorofila de las hojas son las encargadas de captar la luz solar, gracias a esta fuente de energía, los organismos autótrofos combinan el carbono del CO_2 atmosférico con el hidrógeno del H_2O que captan del suelo. De esta reacción bioquímica se obtiene materia orgánica en forma de glúcidos, moléculas muy ricas en energía que liberan oxígeno a la atmósfera.

La materia orgánica obtenida de los procesos fotosintéticos es la producción primaria

La producción primaria es la cantidad de materia orgánica producida por los organismos autótrofos en una unidad de área y en un período de tiempo determinado.

Importancia ecológica de la fotosíntesis



No se debe confundir la producción primaria con el proceso de la fotosíntesis. La fotosíntesis es una serie de procesos fisiológicos que se desarrollan en unos órganos vegetales concretos, mientras que el concepto de producción primaria se utiliza en niveles de integración superiores, generalmente a nivel de ecosistemas.

La producción primaria se puede medir:

- En cantidad de materia orgánica producida
- En cantidad de carbono fijado, (carbono inorgánico no asimilable por organismos heterótrofos transformado en carbono orgánico asimilable por organismos heterótrofos).
- En kilocalorías es decir, la cantidad de energía química acumulada en la nuevas moléculas orgánicas.

La biomasa es toda la materia orgánica producida y acumulada en un ecosistema. Pero no toda la producción primaria pasa a incrementar la biomasa vegetal del ecosistema. Parte de esta energía acumulada es empleada por el ecosistema para su propio mantenimiento.

Así, se define la **producción primaria bruta (PPB)** como la cantidad total de materia orgánica fijada por el sistema, mientras que la **producción primaria neta (PPN)** se define como la cantidad de materia orgánica fijada por el sistema, una vez que se han descontado los gastos de mantenimiento (gastos de **respiración** (R_A)).

$$PPN = PPB - R_A$$

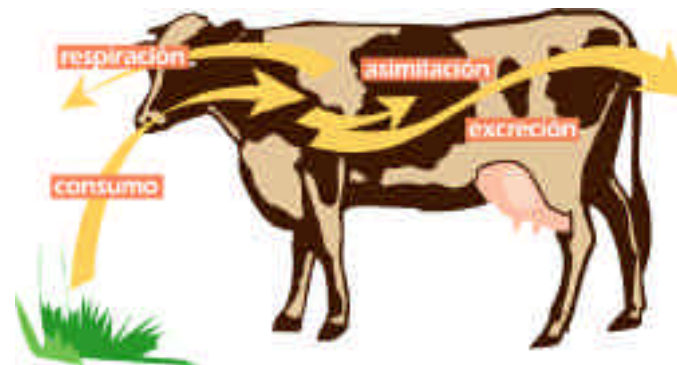
El cociente entre la producción primaria y la biomasa PPN/B es un buen indicador de la productividad de un sistema.

PRODUCCIÓN SECUNDARIA

Los organismos heterótrofos son los productores secundarios.

La producción secundaria es la cantidad de energía que los organismos heterótrofos destinan a su crecimiento y a su desarrollo.

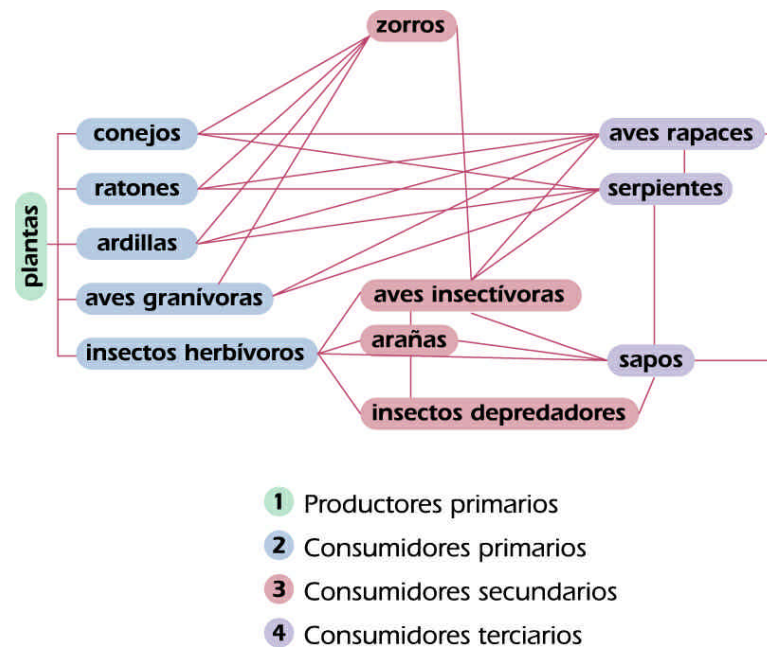
La producción secundaria es más heterogénea que la primaria. Hay varios tipos de productores secundarios: herbívoros, carnívoros, descomponedores, organismos comedores de detritos, etc. En realidad, no es una producción de energía, sino una transformación de la energía producida por los organismos autótrofos. Pasado un tiempo, la biomasa resultante de los procesos fotosintéticos puede ser aprovechada por estos organismos.



El organismo heterótrofo de un determinado nivel trófico tomará una parte del alimento y en consecuencia de la energía disponible en el nivel trófico anterior. Parte de esta energía no será utilizada, por ejemplo un animal herbívoro puede arrancar una planta para comerse sólo los brotes más tiernos y abandonar el resto para que se descomponga. De toda esta energía ingerida, una parte será asimilada por el organismo mientras que otra será excretada con las heces (MORALES, C. 1998).

REDES ALIMENTARIAS Y PRODUCCIÓN SECUNDARIA

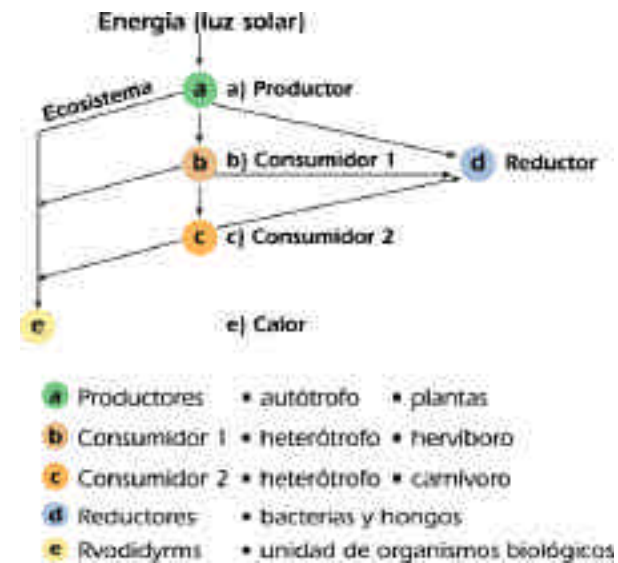
La biomasa que resulta de la producción primaria y la energía que contiene esta biomasa, se distribuye entre todos los componentes del ecosistema a través de las cadenas alimenticias. Podemos aceptar en forma general que los consumidores no se contentan con comer un solo tipo de alimento. Debido a este fenómeno se forma una red compleja de cadenas alimenticias como podemos observar por ejemplo en el borde de un bosquecillo:



MORALES, C., 1998

NOTA: En este esquema, no se han tomado en cuenta a los parásitos.

ruta de la materia y energía en el ecosistema



Flujo de energía de un ecosistema

La combinación por donde fluye la energía y circula la materia entre los componentes bióticos y abióticos en la naturaleza, se denomina ecosistema.

La ruta de la energía se establece desde que los autótrofos, generalmente fotosintéticos, producen materiales orgánicos que resultan fuente energética para otros heterótrofos. Iniciándose de esta manera la cadena alimenticia y el flujo de energía en el ecosistema.

Existe también una ruta de materiales cíclicos que va del ambiente abiótico (no viviente) hacia los organismos vivos (bióticos), regresando posteriormente al reservorio del ambiente abiótico. La fase del ciclo correspondiente al retorno de los elementos al medio abiótico la efectúan los organismos degradadores, quienes descomponen la materia orgánica muerta para formar materiales reutilizables por los organismos autótrofos, así y en esta secuencia se nutren los ecosistemas para realizar las transformaciones de energía y materia en su seno.

CADENAS ALIMENTICIAS Y NIVELES TRÓFICOS

La cadena alimenticia es la serie de transformaciones que sufren la energía y la materia al pasar a través de los organismos que integran una comunidad, en la cual se indica quién se come a quién.

Para analizarla, comencemos con los vegetales, los cuales son capaces de producir alimento a partir de compuestos inorgánicos simples mediante la acción del sol; de esta fase la materia y energía pasa a los animales; cuando éstos mueren la materia orgánica es descompuesta en elementos sencillos mediante la acción de los desintegradores lo mismo sucede con los vegetales cerrando así el ciclo.

Así, cada eslabón de una cadena alimenticia representa un nivel diferente de alimentación, el cual se denomina nivel trófico. Consecuentemente, cuando los organismos comparten la misma fuente de energía, se dice que se localizan en el mismo nivel trófico. Por ejemplo, los vegetales que son la base

de la comunidad, ocupan el primer nivel trófico, mientras que una oveja ocuparía el segundo nivel trófico, considerando que se trata de un herbívoro; un jaguar, por el contrario, ocuparía un tercer nivel trófico, puesto que se alimenta de carne; los organismos que se alimentan de carnívoros, como es el caso de los buitres, ocuparían un cuarto lugar, hasta llegar a los desintegradores que cerrarán el ciclo. Como se puede advertir, el nivel trófico indica el número o pasos que ha de seguir la energía (alimento), antes de su llegada a un organismo.

Las cadenas tróficas describen el flujo de energía a través de un ecosistema

La energía almacenada por las plantas se mueve a través del ecosistema en una serie de etapas, a través de las cuales los organismos comen y son comidos (cadena trófica). Las cadenas tróficas son diagramas descriptivos: una serie de flechas, cada una de las cuales va desde una especie hasta otra, por lo cual representa una fuente de alimento. Un ejemplo de esta relación puede ser de la siguiente manera:

hierba ➡ saltamontes ➡ gorrión ➡ águila

La misma planta sirve de comida para una gran variedad de herbívoros e insectos, y el mismo animal sirve de alimento para varios depredadores. De este modo, las cadenas tróficas se conectan entre sí para formar una **red trófica**, cuya complejidad varía entre diferentes ecosistemas y dentro de ellos.

Las especies se ubican dentro de niveles tróficos basándose en su alimentación

En lugar de dibujar una red trófica, podemos agrupar las especies en categorías llamadas **niveles tróficos** que están basados en una fuente alimenticia común. Por ejemplo, todos los organismos que se alimentan exclusivamente de plantas – saltamontes, ardillas terrestres, topillos y los *Geomys* – ocupan el mismo nivel trófico.

- **El primer nivel trófico** pertenece a los *productores* o plantas; su fuente de energía es el sol, y sus nutrientes provienen del suelo, el agua y la atmósfera.
- **El segundo nivel trófico** corresponde a los herbívoros o comedores de vegetales, que constituyen los consumidores primarios. Los herbívoros son capaces de transformar en tejido animal la energía almacenada en forma de tejido vegetal. Su función es esencial para el ecosistema, pues sin ellos los niveles tróficos superiores no existirían. Sólo los herbívoros pueden vivir con una dieta rica en celulosa. La capacidad que tienen estos animales para utilizar tejido vegetal como fuente alimenticia se debe a que presentan modificaciones en la estructura de los dientes, estómagos complejos, intestinos largos, un ciego bien desarrollado y flora microbiana simbiótica.

Los herbívoros, a su vez, son la fuente de energía para los carnívoros, animales que se alimentan de otros animales. Aquellos que se alimentan directamente de los herbívoros, son los carnívoros primarios o consumidores secundarios. Estos a su vez, constituyen la fuente de energía para los carnívoros secundarios o consumidores terciarios.

Carroñeros: son animales que comen materia animal y vegetal muerta, entre ellos se pueden citar a las termitas y varios tipos de escarabajos que se alimentan de madera muerta y en descomposición y las almejas y otros invertebrados marinos que se alimentan de materia orgánica particulada, que sedimenta en el agua. Los carroneños pueden ser tanto herbívoros como carnívoros.

Saprofitos: son el equivalente de los carroñeros en los vegetales, y al igual que los anteriores, se nutren de materia animal y vegetal muerta. Como no requieren luz solar como fuente de energía, pueden vivir a la sombra o en cuevas oscuras. Los hongos y las bacterias son ejemplos de saprofitos; en su mayoría son herbívoros sin descartar las bacterias saprofitas de cuerpos muertos de animales.

Los descomponedores como grupo heterogéneo

Los descomponedores constituyen el último grupo dentro de la cadena alimenticia, sin embargo, ésta categoría comprende un complejo grupo de organismos.

Todos los consumidores en algún grado, funcionan como descomponedores, reduciendo el alimento mediante la digestión o fragmentación en pedazos más pequeños, haciendo el alimento más accesible a otros consumidores, incluyendo bacterias y hongos. Generalmente, se conocen como descomponedores, aquellos organismos que se alimentan de materia orgánica muerta en forma de restos troceados, llamada detritos.

Los descomponedores se dividen en dos grupos: los microscópicos y los macroscópicos. En conjunto, pueden existir cer-

ca de un millón de estos organismos en los primeros siete a diez centímetros de un metro cuadrado de suelo forestal de clima templado, aproximadamente el 40% de éstos son bacterias, el 50% son hongos microscópicos, del 5-9% son protozoos, el 0.5% son hongos y sólo el 0.4% de este conjunto, está compuesto por los descomponedores macroscópicos.

Los detritívoros dominantes son bacterias y hongos, las bacterias pueden ser aeróbicas, que requieren oxígeno, y las bacterias anaeróbicas que realizan sus funciones metabólicas en ausencia de oxígeno libre, éstas normalmente viven en el fango y en el sedimento de los ambientes acuáticos.

Como grupo, las bacterias son los principales descomponedores de materia animal. Los mayores descomponedores de materia vegetal son los hongos. Tanto las bacterias heterótrofas como los hongos producen enzimas que catalizan reacciones químicas específicas, segregando estas enzimas en la materia animal y vegetal, absorbiendo el producto resultante como alimento.

Existe una relación complementaria entre macrodescomponedores y microdescomponedores, los macroorganismos fragmentan el material detrítico, poniéndolo a disposición de los pequeños detritívoros, así como de bacterias y hongos.

Finalmente, la materia queda tan reducida que incluso la actividad bacteriana no puede seguir, en esta instancia las bacterias asimilan los compuestos orgánicos, concentrándolos en partículas mayores, que aún pueden hacerse más grandes por agregación bacteriana, encontrándose nuevamente disponible esta materia para los macrodescomponedores. Estos

a su vez, pueden producir bolitas fecales más grandes que el material digerido, proporcionando superficies para la colonización microbiana. De esta forma, la materia orgánica descompuesta puede pasar entre diferentes grupos de la cadena alimenticia hasta que finalmente alcance su forma inorgánica.

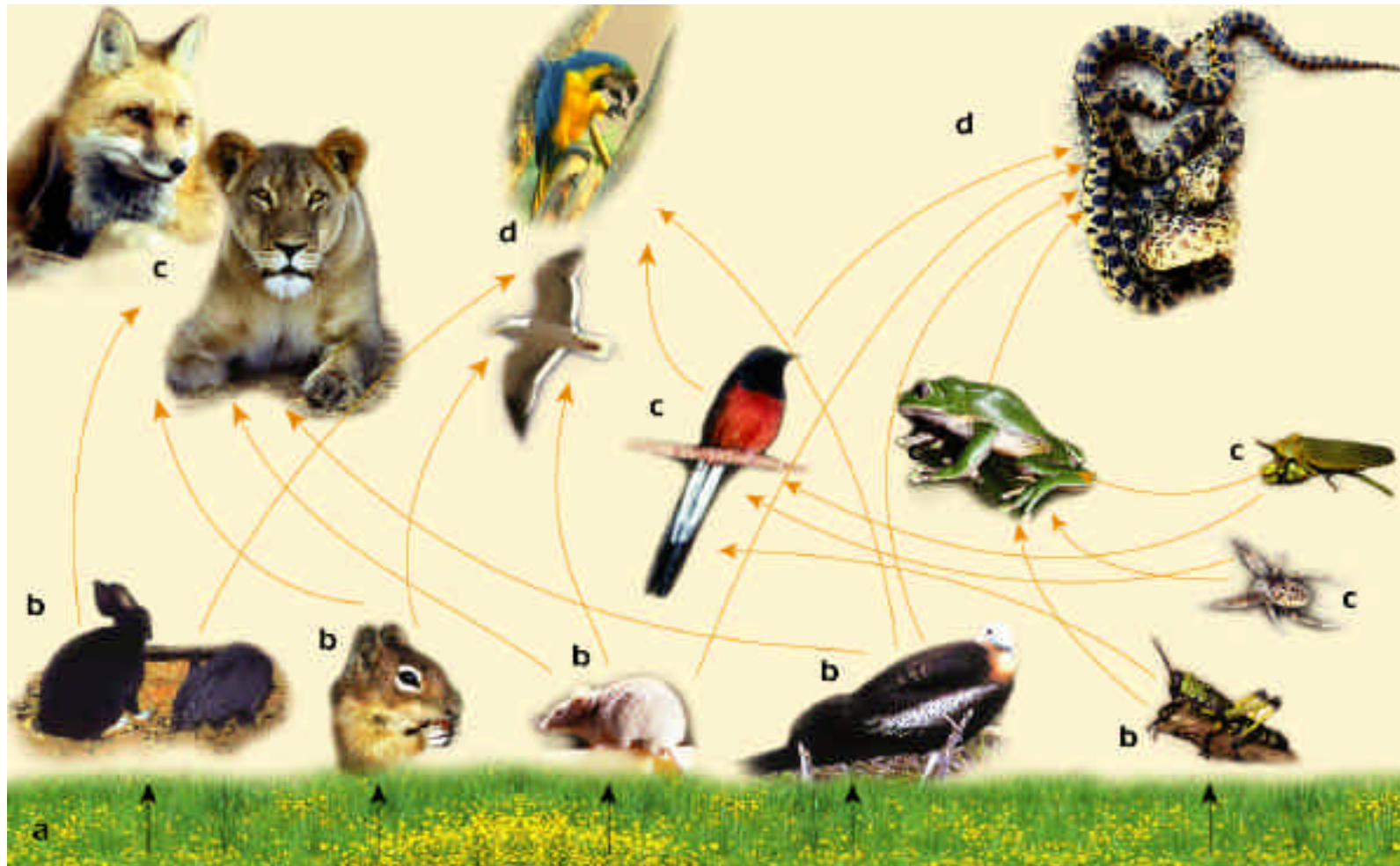
En ambientes terrestres las bacterias son los principales regeneradores de nutrientes y concentradores de energía en su bioma.

En los ecosistemas acuáticos, el fitoplancton y el zooplancton juegan un papel fundamental en el reciclado de nutrientes y energía. Fitoplancton, macroalgas y zooplancton proporcionan materia orgánica disuelta, siendo las algas las principales contribuyentes. En ciertos estados de su ciclo vital, en particular durante la fase de crecimiento rápido, el fitoplancton y otras algas excretan grandes cantidades de materia orgánica que se disuelven en el agua.

Las bacterias concentran estos nutrientes al incorporarlos en su propia biomasa. Los ciliados y el zooplancton se comen a estas bacterias y excretan nutrientes en el agua en forma de exudados y bolitas fecales.

El zooplancton cuando la comida es abundante, consume más de lo que necesita, excretando más de la mitad como materia fecal, lo que constituye una fracción significativa de la materia en suspensión. Esta materia es atacada por bacterias que utilizan compuestos orgánicos y la energía que contienen, de esta forma el ciclo vuelve a empezar.

INTERACCIONES ENERGÉTICAS EN LOS ECOSISTEMAS



Los organismos de un ecosistema están en continua interacción, productores con consumidores de diferente orden, estableciéndose un flujo de energía entre ellos y el ecosistema.

- a = Productores primarios
- b = Consumidores de primer orden
- c = Consumidores de segundo orden
- d = Consumidores de tercer orden

RELACIONES ENTRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA Y LA PRODUCTIVIDAD EN UN ECOSISTEMA

El ecosistema se reduce a dos flujos básicos superpuestos (materia y energía). Estos dos ciclos involucran a las redes alimenticias, ya que dichas redes se inician entre los productores, consumidores, descomponedores, nutrimentos, agua y gases que son las partes siguientes que integran dichas redes.

Los autótrofos representan las puertas de entrada de la energía al ecosistema, procesándola y presentándola en una forma utilizable para el resto de los seres vivos del planeta.

La materia sigue un curso cíclico en la biosfera, donde un elemento circula en el ambiente ya sea como forma orgánica o inorgánica, dependiendo si se encuentra en los ciclos alimenticios de los organismos, es decir en la “poza de intercambio”; allí se encuentra por lo general en forma orgánica para, finalmente, ser devuelto al ambiente donde se iniciará nuevamente el ciclo en la “poza de depósito”

Existe un ciclo particular para el fósforo, otro para el nitrógeno, el carbono, el agua, etc., teniendo cada uno de ellos características muy peculiares. Estos ciclos de materiales se denominan ciclos bio geoquímicos.

Gran parte de la energía y la materia que ingieren los heterótrofos se pierde en las heces fecales y en su metabolismo de conservación. Los invertebrados y los peces usan la materia

con mayor eficiencia que los vertebrados de sangre caliente ya que los invertebrados aprovechan alrededor del 98% de la energía ingerida, mientras que los herbívoros no almacenan más de 25% de la que poseían las plantas verdes.

En los niveles alimentarios o tróficos que resultan después de los productores se pierde aproximadamente un 90% de energía entre uno y otro, aunque en algún caso puede aprovecharse hasta un 20% de la energía del nivel anterior. Estas consideraciones varían en cada caso particular, ya que mientras en ecosistemas acuáticos los consumidores de primer orden o herbívoros, consumen una gran porción de la producción primaria, en los forestales el consumo por parte de los herbívoros es mucho menor. En muchos ecosistemas terrestres gran parte del flujo de materia y energía pasa directamente de los productores a los degradadores como los hongos, bacterias y actinomicetos.

Como se ha señalado anteriormente, parte de la energía química de los alimentos ingeridos se transforma en otro tipo de energía (calor, movimiento, metabolismo digestivo). Una fracción del material ingerido se convierte en nuevo material, biomasa, que está constituida por la masa del organismo individual o la de sus hijos o vástagos.

La productividad y la biomasa de un ecosistema presentan una cierta relación, aunque no son directamente proporcionales, ya que por ejemplo, un bosque maduro puede poseer una enorme biomasa y una pobre productividad; por otro lado si en un jardín se corta continuamente el pasto disminuye la biomasa, pero aumenta la productividad (VÁSQUEZ, G.A. 1998).

UNIDADES DE ENERGÍA CON ALGUNAS APROXIMACIONES ECOLÓGICAS ÚTILES

A) Unidades básicas

Gramcaloría (gcal o cal) = Cantidad de calor necesaria para aumentar un gramo de agua (o un mililitro) en 1°C a 15°C.
Kilogramocaloría (Kcal o Cal) = 1000 cal (cantidad de calor necesaria para aumentar un kilo o un litro) de agua en 1°C a 15°C
Unidad térmica británica (B.t.u.) = Cantidad de calor necesaria para aumentar una libra de agua en 1°F = 252 gramcaloría = 0.397Kcal
Joule (J) = 0.24 gramcaloría = 10^7 ergs = 0.74 libras - pie = 0.1 kilogrametro
Langley (ly) = 1gramcaloría/cm ²
Watt (w) = 1 Joule/sec = 14.3 gcal/min = 3.7×10^{-7} horas de caballo de fuerza

B) Valores de referencia (promedios o aproximaciones)

Alimentos purificados, Kcal/g peso seco: hidratos de carbono 4; proteínas 5; lípidos 9.2

	Kcal/g peso seco	Kcal/g peso seco sin cenizas
Biomasa*		
Plantas terrestres (total)	4.5	4.6
Semillas solamente	5.2	5.3
Algas	4.9	5.1
Invertebrados (sin insect.)	3.0	5.5.
Insectos	5.4	5.5
Vertebrados	5.6	6.3

Producción del fitoplancton: 1 g carbono = 2.0 + g materia seca = 10Kcal

Necesidades diarias de alimentación (a temperaturas no agobiantes)

El hombre: 40 Kcal/Kg de peso vivo = 0.4 Kcal/g (3 000 Kcal/día para un adulto de 70 Kg)

Ave pequeña o mamífero: 1.0Kcal/g de peso vivo

Insecto: 0.5 Kcal/g de peso vivo

Intercambio gaseoso-coeficientes calóricos en la respiración y fotosíntesis

% de hidratos de C en la materia seca espirada o sintetizada	Oxígeno Kcal/litro	Bióxido de C Kcal/litro
100	5.0	5.0
66	4.9	5.5
33	4.8	6.0
0 (sólo grasa)	4.7	6.7

Puesto que la mayoría de los organismos vivos son unos $\frac{2}{3}$ ó más agua y minerales, 2 Kcal/g de peso vivo (húmedo) constituye una aproximación muy burda de la biomasa en general. Los valores calóricos para los pesos secos que figuran en este cuadro se basan en Golley, 1961; Odum, Marshall y Marples, 1965 y Cummings, 1967.

CONSUMO ENERGÉTICO HUMANO

Los seres humanos necesitan energía para trabajar, no sólo para los tipos de actividad más evidente, sino también otras formas de esfuerzo mecánico como caminar, hablar, levantar objetos y practicar juegos físicos. El trabajo metabólico se realiza en nuestros cuerpos cuando digerimos. Los alimentos y los productos de digestión se usan para el crecimiento y reparación de los tejidos. Para realizar todas estas formas de trabajo debemos proporcionar energía a nuestros cuerpos.

El cuerpo obtiene energía por oxidación de los nutrimentos combustibles de los alimentos, especialmente de los carbohidratos y grasas y en menor grado de las proteínas y el alcohol.

La liberación de energía a partir de los nutrimentos se denomina *respiración*. La principal sustancia que se rompe es la glucosa y si el proceso se realiza en presencia de oxígeno se denomina *respiración aeróbica*.

ENERGÍA EN LAS CELULAS

La energía se produce en las células de acuerdo con las necesidades del cuerpo, por el catabolismo de carbohidratos y grasas. Las proteínas también pueden romperse para producir energía, pero esto no es deseable, excepto en casos en que la ingestión de proteína es excesiva y existe suficiente proteína para el crecimiento y reparación de los tejidos.

La energía química que producimos, se encuentra en forma de compuestos ricos de energía, como el trifosfato de adenosina, ATP, que se usa después, según se requiere para realizar trabajo mecánico, mantener los tejidos del cuerpo y crecer. El calor es un producto colateral de estas reacciones, ya que la conversión de energía química a energía mecánica tiene solo una eficiencia del 15 al 20% y el restante se pierde como energía calorífica. Esto estimula la producción de sudor que enfría el cuerpo.

ATP. MONEDA ENERGÉTICA DE LA CELULA

La glucosa y otros carbohidratos, son forma de almacenamiento de energía y también formas en las cuales la energía se transfiere de una célula a otro (dinero depositado en el Banco) y de un organismo a otro. El ATP (Adenosin trifosfato) es como el dinero en efectivo, porque representa la moneda energética que la células puede gastar al instante.

En casi todas las transacciones que ocurren en las células y requieren energía interviene el ATP “Moneda Universal de las células”.

La molécula de ATP se compone de tres subunidades:

- La primera es la adenina a la que se clasifica como una base nitrogenada, es decir, tiene las propiedades de una base y contiene nitrógeno.
- La segunda unidad del ATP, es el azúcar de cinco carbonos que es la ribosa.
- La tercera subunidad son grupos de fosfatos inorgánicos, identificables como átomos de fósforo que rodean a los del oxígeno. El compuesto formado por una base nitrogenada más un azúcar, más grupos de fosfatos se conoce como nucleótido. El ATP como su nombre indica, posee tres fosfatos unidos por enlaces covalentes fáciles de romper, liberando una cantidad de energía adecuada. Cuando se elimina por hidrólisis un grupo fosfato, la molécula de ATP se convierte en ADP, que se puede recargar con un aporte de 7Kcal/mol. La molécula de ADP se puede recargar con un aporte de 7Kcal/mol, recuperando su tercer grupo fosfato para luego convertirse en ATP.

Existen monedas energéticas parecidas al ATP como el GTP la guanosina trifosfato donde la adenina ha sido substituida por guanina.

UNIDADES DE ENERGÍA Y VALORES DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTOS

El contenido de energía de los alimentos y las necesidades de energía del hombre y de los animales se han expresado habitualmente en kilocalorías termoquímicas denominadas simplemente Calorías. Aunque se continúe usando esa nomenclatura debe recordarse que actualmente la unidad de energía reconocida por el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el joule o julio (OLIVARES *et. al.*, 1994).

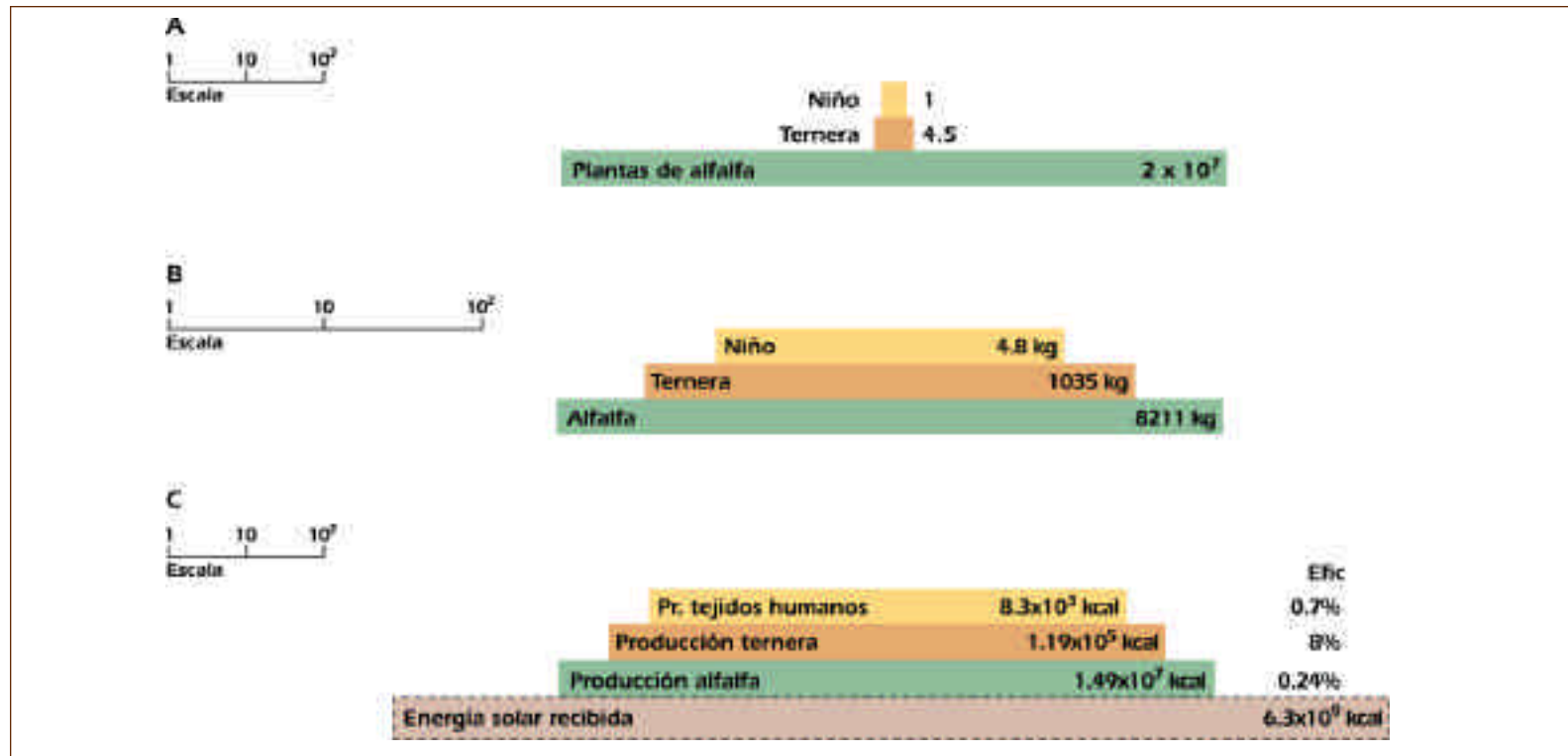
Las equivalencias entre kilocalorías (Kcal) y julios con las siguientes: 1 Kcal = 4,184 KJ (kilojulios). Inversamente, 1 KJ = 0,239 Kcal y 1 MJ (megajulio) = 1.000 KJ = 239 Kcal.

Nutrimientos de energía

Nutrimiento	Energía proporcionada por el catabolismo de 1 G. del nutrimento	
	KJ	Kcal
Grasa	37	9
Proteína	17	4
Carbohidrato	16	4
Alcohol	29	7

Para dar un ejemplo muy simple, la biomasa y la energía necesaria para alimentar durante un año a un niño de 12 años, suponiendo que este solamente comiera carne de ternera y suponiendo que los terneros eran alimentados únicamente con alfalfa. El ecólogo Odum presentó los resultados de estos cálculos en forma de pirámides en la siguiente forma:

Síntesis ecológica



DUVIGNEAUD, 1978

Pirámide de los números, de las biomásas y de la energía para el ecosistema simplificado: alfalfa, ternera, niño de 12 años, según Odum (1959). En **A** se ve que hacen falta 2×10^7 plantas de alfalfa, lo que representa un cultivo de 4 hectáreas, para producir las 4.5 terneras que necesitaría el niño como único alimento durante un año. En **B** estos números están sustituidos por las biomásas. En **C** se ha representado la producción en los distintos niveles, añadiendo la energía solar en la base de la pirámide.

ALIMENTOS ENERGÉTICOS

Los alimentos energéticos son aquellos que pueden ser rápidamente oxidados por el cuerpo para liberar calor y energía. Los hidratos de carbono son los más baratos y abundantes de estos elementos nutritivos, estos alimentos aseguran de 60 a 80% de la ración calórica.

Existen dos tipos de alimentos energéticos: glucídicos y lipícos. Los alimentos glucídicos aportan esencialmente hidratos de carbono, y se hallan esencialmente en los azúcares, almidones y celulosa. El almidón es un azúcar complejo que se encuentra en los cereales, en las raíces y en los tubérculos. Los cereales (trigo, maíz, sorgo, arroz, etc.) contienen de 70 a 76% de glúcidos, en particular de almidón pero aportan igualmente proteínas (8 a 14%).

Los tubérculos y las raíces son alimentos esencialmente glucídicos, pero también contienen proteínas en una proporción mínima (1 a 2%).

Los lípidos también aportan calorías y abastecen en los regímenes alimentarios de 8-10% hasta 40-50% de energía total. Los lípidos pueden ser de origen animal (manteca, mantequilla grasa) y de origen vegetal (aceite de palma, girasol, soya, maní). Juegan un rol importante en el crecimiento, el desarrollo cerebral, el metabolismo celular y la síntesis de las prostaglandinas.

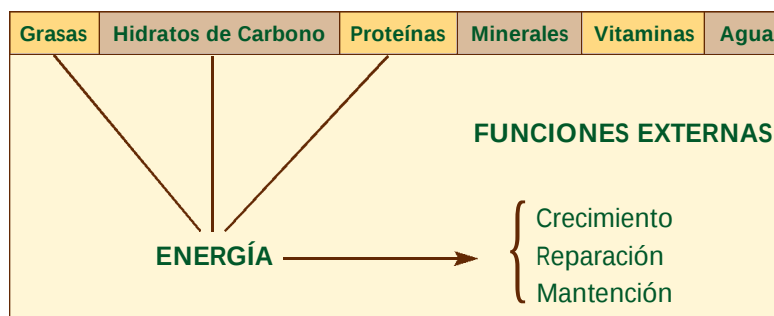
Los lípidos además sirven como vehículos a las vitaminas liposolubles (A,D,E,K), que son indispensables en la salud pero que no deben encontrarse en exceso sino en una cantidad suficiente en el régimen alimentario.

La mayoría de las personas en los países en desarrollo reciben su aporte energético de los alimentos ricos en hidratos de carbono, y éstos constituyen su dieta básica. Todos los cereales (arroz, maíz, mijo, trigo) raíces y tubérculos; (yuca, papa, camote), algunas leguminosas (poroto, arvejas, habas), algunas frutas (plátanos) y azúcar son buenas fuentes de hidratos de carbono.

Los alimentos energéticos dan calor, fuerza y energía al organismo para desarrollar las actividades diarias tales como trabajar, caminar, mantener la temperatura del cuerpo, etc.

Requerimiento energético por edad/sexo y actividad

Edad	Sexo	Actividad	Peso Kg	Kcal/día
0.3 – 3	M.F		Varía según la edad	Varía según la edad
3.1- 5	M.F		6.5	1.550
5.1 - 7	M.F		20.5	1.800
7.1 - 7	M.		27	2.100
	F.		27	1.800
10.1 -12	M.		36	2.200
	F.		34	1.950
12.1 - 4	M.		43	2.350
	F.		42	2.000
14.1 - 18	m.	Ligera	45-55	2.450
		Moderada	45-55	2.750
		Intensa	45-55	3.200
14.1 - 18	F.	Ligera	40-50	2.000
		Moderada	40-50	2.150
		Intensa	40-50	2.350
18.1 - 65	M.	Ligera	60-75	2.600
		Moderada	60-75	3.050
		Intensa	60-75	3.500
18.1 - 65	F.	Ligera	45-60	2.100
		Moderada	45-60	1.950
		Intensa	45-60	2.300
>65	M.	Ligera	65	1.900
		Moderada	65	2.200
		Intensa	65	2.600
>65	F.	Ligera	55	1.650
		Moderada	55	1.850
		Intensa	55	2.100



Los seres vivos y el hombre necesitan energía para realizar todas las actividades vitales

- El trabajo metabólico se realiza en nuestros cuerpos cuando digerimos los alimentos y los productos de la digestión se usan para las funciones externas.
- El cuerpo obtiene energía por oxidación de los nutrientes combustibles de los alimentos, especialmente carbohidratos y grasas y en menor grado de las proteínas.
- La liberación de energía a partir de nutrimentos se denomina RESPIRACIÓN.



- Solo la glucosa participa en el proceso de la respiración, sin embargo los otros monosacáridos, disacáridos, las grasas, lípidos y alcohol (en pequeñas dosis) también nos dan ENERGÍA.

BALANCE DE ENERGÍA

1) ENTRADA DE ENERGÍA = GASTO DE ENERGÍA = PESO CORPORAL CONSTANTE Y SALUDABLE

2) ENTRADA DE ENERGÍA < GASTO DE ENERGÍA = INANICIÓN, ANEMIA, PESO BAJO

3) ENTRADA DE ENERGÍA > GASTO DE ENERGÍA = SOBREPESO Y OBESIDAD

NECESIDADES ENERGÉTICAS DE UN INDIVIDUO

Es la dosis de energía alimentaria ingerida que compensa el gasto de energía, cuando el tamaño y composición del organismo y el grado de actividad física de ese individuo son compatibles con un estado duradero de buena salud, permitiendo el mantenimiento de la actividad física, que sea económicamente necesaria y socialmente deseable FAO/OMS/UNU (1985).

Las necesidades de un individuo dependen:

- Gasto energético para el metabolismo basal
- Crecimiento y neoformación tisular
- Efecto calorígeno de los alimentos (termogénesis)
- Energía metabolizable de orina y deposiciones
- Actividad física ocupacional y no ocupacional

BIBLIOGRAFÍA

AUDESIRK T. y G. AUDESIRK. 1996. Biología 1 Unidad en la diversidad. México.

FAO/OMS/UNU. 1985. Necesidades de energía y de proteínas. Informe de una reunión consultiva conjunta FAO/OMS/UNU de expertos OMS. (Serie de Informes Técnicos 724).

MOLLES, JR MANUEL. 1999. Ecology Concepts and Applications. MacGraw-Hill. Boston, EEUU.

MORALES, CECILE B. 1988. Manual de Ecología. Instituto de Ecología UMSA. La Paz, Bolivia.

ODUM, EUGENE P. 1972. Ecología. México.

OLIVARES, S., ANDRADE, M., ZACARIAS, I. 1994. Manual de Autoinstrucción. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Chile. INTA.

VÁSQUEZ, A. 1998. Ecología y Formación Ambiental. México.

VILLEE CLAUDE. 1998. Biología. México.

UNU/FUNDACIÓN CAVENDES. 1998. Guía de alimentación. Bases para su desarrollo en América Latina. Caracas.