



CONCEPTOS DE ECOLOGÍA

INTERACCIONES BIÓTICAS

LA ENERGÍA EN EL ECOSISTEMA

Para alumnos de:

Carrera de Ingeniería de Paisajes, Asignatura Ecología del Paisaje

Carrera de Ingeniería Agronómica, Asignatura Ecología Agraria

Ing. Agr. Eduardo Atilio de la Orden *

*** Dr. En Docencia Universitaria en Disciplinas Tecnológicas
Mgt. En Ciencias Regionales y Planificación Regional
Prof. Titular Área Ecología. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca**

San Fernando del Valle de Catamarca, marzo de 2020

CONTENIDO

- **INTRODUCCIÓN**
- **TIPOS DE INTERACCIONES**
- **INTERACCIONES POSITIVAS**
- **INTERACCIONES NEGATIVAS**
- **LA ENERGÍA EN EL ECOSISTEMA**
- **ESTRUCTURA TRÓFICA**
- **EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA**
- **BIBLIOGRAFÍA**

INTRODUCCIÓN

La existencia de los ecosistemas, de las comunidades y de las poblaciones en un área determinada, es posible en virtud del sin número de relaciones que se establecen entre los elementos bióticos entre sí, entre los bióticos y los abióticos y entre los elementos abióticos entre sí. No es posible realizar una planificación de conservación, restauración o producción sin tener en cuenta la diversidad de especies. A modo de ejemplo se puede mencionar que los animales en una comunidad son capaces de influenciar en la composición florística a través de la selección que pueden ejercer sobre la selección de flores, frutos, semillas y/o plántulas, como fuente de alimentación. Además, algunas especies animales pueden jugar un papel clave no únicamente en el éxito reproductivo y regeneración poblacional si no también en la sucesión ecológica, y por tanto, pueden utilizarse como indicadores de la salud de los ecosistemas. El tipo de interacciones tienen lugar entre distintos tipos de organismo.

Cuando las relaciones son entre los elementos abióticos, se denomina **acción**; un ejemplo de acción se da cuando observamos en las laderas de las montañas un menor desarrollo de suelos debido a las fuertes pendientes. En este caso, se destaca la relación existente entre pendiente y profundidad de suelo. Otro ejemplo es el que se observa entre exposición de paisaje y humedad ambiental. En nuestro hemisferio, las laderas con exposición sur y este, son relativamente más húmedas y frías que aquellas con exposición norte y oeste.

La relación entre elementos abióticos y bióticos se denomina **reacción**. Un ejemplo de esto se puede observar en la reacción del suelo frente a un mayor aporte de material por parte de las plantas y animales. A medida que un área es colonizada por elementos bióticos, se incrementa el aporte de hojas, frutos, ramas muertas, etc., y desechos orgánicos en general, lo que redundará en un aumento del contenido de materia orgánica del suelo, consecuentemente una mejor estructura y mayor capacidad de retención de agua.

La relación que se establece entre los elementos bióticos entre sí, se denomina **coacción o interacción biótica**.

Coacción o interacción biótica son las relaciones que se establecen entre los elementos bióticos en el ecosistema.

TIPOS DE INTERACCIONES

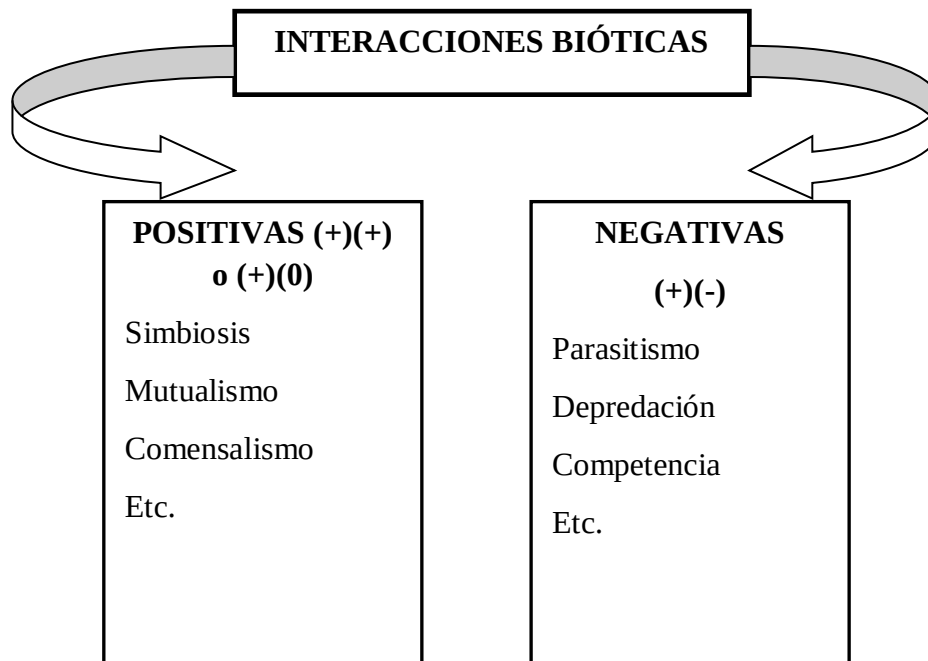
Cuando se realiza el estudio de alguna población en particular, en condiciones naturales, existen relaciones con las demás poblaciones (animales o vegetales) que no se pueden dejar de tener en cuenta. Estas relaciones se establecen para la obtención de alimento, protección, reproducción o algún otro tipo de necesidad. Asimismo, varias clases de animales y vegetales son vecinos indeseables, constituyendo igualmente una influencia importante en el ambiente.

Algunas relaciones establecidas entre las especies en un área determinada, son importantes y fácilmente detectables, mientras que otras son muy sutiles y presentan dificultades para su estudio.

Las relaciones mutuas entre las especies presentan una gran complejidad. Los animales se relacionan con otros animales; los vegetales con otros vegetales; muchos animales dependen de las plantas que crecen en su ambiente y algunas plantas pueden depender, a su vez, de los animales. Los tipos de relaciones establecidas pueden presentar una amplia gradación, desde las vitales y permanentes, hasta las casuales y netamente temporales. La interdependencia puede establecerse entre especies de muy diferentes clases y tamaños: especies arbóreas y microscópicas bacterias, o los grandes mamíferos con insectos, bacterias o ácaros.

Las relaciones entre poblaciones diferentes pueden resultar beneficiosas para ambas, perjudiciales para las dos, benéfica o perjudicial para una de ella e indiferente para la otra. Estos son los casos extremos. Pueden presentarse todo tipo de gradaciones e incluso pasar de un tipo de interacción a otro con facilidad.

Teniendo en cuenta el beneficio o el daño de la población en estudio, las relaciones pueden dividirse en dos grandes tipos:



INTERACCIONES POSITIVAS

Las interacciones positivas son aquellas en las que ambas especies, o miembros de la relación, resultan beneficiadas (+) (+) o al menos uno de ellos beneficiado y el otro no es perjudicado (+) (0).

Simbiosis

Esta asociación se caracteriza porque ambos organismos establecen una relación cerrada y en la mayoría de los casos permanente y obligatoria. En casos extremos de simbiosis los organismos participantes no pueden cumplir todo su ciclo en forma aislada. El ejemplo típico de esta forma de simbiosis lo constituyen los líquenes, formados por un hongo dentro del cual se encuentran dispersas las células de un alga. El hongo conserva la humedad y permite el aprovechamiento de los minerales a los dos organismos, a cambio de lo cual el alga, portadora de cloroplastos, realiza la fotosíntesis, aportando hidratos de carbono al hongo y a sí misma. El hongo de un líquen no puede desarrollarse en la naturaleza sin estar asociado a un alga, y las algas dependen del hongo en condiciones naturales.

Otro ejemplo importante en la naturaleza es la simbiosis realizada por las bacterias del género *Rhizobium*, alojadas en nudosidades de las raíces de las leguminosas (Fig. 1). Las bacterias obtienen de su huésped hidratos de carbono y otras sustancias. A cambio de esto, suministran nitrógeno a las leguminosas, que fijan de la atmósfera del suelo. En las zonas áridas, caracterizadas por suelos pobres en materia orgánica, esta asociación cobra una mayor significancia, proveyendo a la planta nitrógeno libre de la atmósfera del suelo, que luego será incorporado al suelo a través de la descomposición de hojas y frutos.



Figura N° 1: Simbiosis entre una leguminosa y bacterias del género *Rhizobium*

Un ejemplo similar al de las bacterias con las leguminosas es el de las micorrizas. Éstas pueden encontrarse en el exterior o en el interior de las raíces de los árboles. Micorrizas ectotrofas, aquellas que se desarrollan fuera del huésped, pueden encontrarse en pinos, robles, nogal americano y hayas; mientras que la endotrofas, aquellas que se desarrollan dentro del huésped, se hallan en el arce rojo, y son muy frecuentes en las raíces y otros tejidos de las orquídeas. Los hongos de este tipo se alimentan con los materiales orgánicos que toman de sus huéspedes. Las micorrizas ectotrofas desempeñan el papel de los pelos radicales, absorbiendo agua del suelo.

(Buscar otros ejemplos importantes para las ciencias agropecuarias)

Mutualismo

El mutualismo se diferencia de la simbiosis en que los miembros asociados no establecen relaciones permanentes. El contacto es intermitente o se produce únicamente por un corto intervalo de tiempo. En general, la asociación está relacionada con la alimentación, por lo menos para una especie, obteniendo la otra especie, o ambas, un tipo de beneficio diferente.

El ejemplo de mutualismo más citado es el de los pájaros que se posan en el lomo de los grandes rumiantes, alimentándose de los ectoparásitos de aquellos. De esta manera, los pájaros obtienen una buena cantidad de alimento, y los rumiantes se ven libres de los parásitos.

Varias especies de hormigas mantienen una población de pulgones en sus nidos. Aquellas obtienen de éstos una exudación nutritiva del extremo del tubo digestivo, acariciando el abdomen del pulgón con sus antenas. Los pulgones se alimentan de las raíces de las plantas, o son transportados por las hormigas fuera del nido para que puedan alimentarse de los pecíolos de las hojas. Los huevos de los pulgones son depositados en las partes externas de las plantas, y luego transportados al interior del nido por las hormigas, donde quedan protegidos durante el invierno hasta hacer eclosión en primavera, repoblando así los jóvenes pulgones la granja lechera de las hormigas.

La polinización de las flores, realizada por abejas u otro tipo de insectos o aves, es otro ejemplo de mutualismo, y desarrollado a tal punto, que existen casos de coevolución estrecha entre vegetal y animal, adaptándose anatómicamente hasta lograr especificidad entre polinizador y planta.

Comensalismo

En este caso, uno de los organismos resulta beneficiado y ninguno perjudicado (+)(0). Esta relación se inicia mediante la mera tolerancia de los “invitados” cerca de los hospederos, sobre o en el interior de sus cuerpos. Las ventajas obtenidas son en general para lograr abrigo, transporte o sustrato, o muy frecuentemente alimento. En algunos casos, el comensal está en contacto permanente con el hospedero, ya sea fijado a la superficie o en el interior, pero frecuentemente el comensal es libre, y va o viene en

intervalos irregulares. Un ejemplo de comensalismo es el de las plantas epifitas, que se desarrollan sobre los árboles, obteniendo de éstos soporte. Ejemplo: clavel del aire.
(Buscar ejemplos de otros tipos de interacciones bióticas positivas, dar ejemplos)

INTERACCIONES NEGATIVAS

Las interacciones bióticas negativas son aquellas en las que por lo menos una de las especies de la asociación resulta perjudicada (+)(-).

(A modo de ejemplo se dan tres tipos de interacciones bióticas negativas, el estudiante deberá presentar en el examen al menos tres más)

Competencia

El término competencia hace referencia a la lucha por una misma cosa, un mismo recurso. En ecología se habla de competencia cuando dos organismos luchan por un recurso que no está en cantidades suficientes para ambos. Por ejemplo, las plantas, en un plantel denso, compiten fundamentalmente por luz, nutrientes y espacio, mientras que los animales lo hacen por alimentos, refugios, territorio, etc.

En todos los casos, la competencia se establece cuando las densidades poblacionales son altas y el recurso es el mismo y escaso.

Desde el punto de vista de las poblaciones, esto significa que la densidad o la tasa del flujo de energía de la población, será reducida o constantemente comprobada por la competencia. Tanto las poblaciones animales como vegetales pueden regularse por sí mismas y evitar la sobrepoblación. Si se observa la vegetación de una zona árida (jarillal del Bolsón de Pipanaco, Andalgalá – Catamarca, o Campo del Arenal, Santa María – Catamarca), salta a la vista que los arbustos están ampliamente espaciados, distribuidos de forma equidistante siguiendo un patrón de distribución. Esto puede deberse a una estrategia de competencia por el recurso escaso, el agua. Así, se elimina a todos los individuos de un área determinada, excepto uno.

La competencia puede darse entre individuos de la misma especie, **intra específica**, o de distintas especies, **inter específica**. En el primer caso, la competencia es mucho más

severa que en el segundo. Esto se debe a que los individuos compiten por el mismo recurso (igual rango de temperatura, hábitat idéntico, etc.). Mientras que para que se establezca la competencia inter específica, las especies deben estar estrechamente relacionadas, es decir, adaptadas al mismo nicho (recurso) o a uno similar.

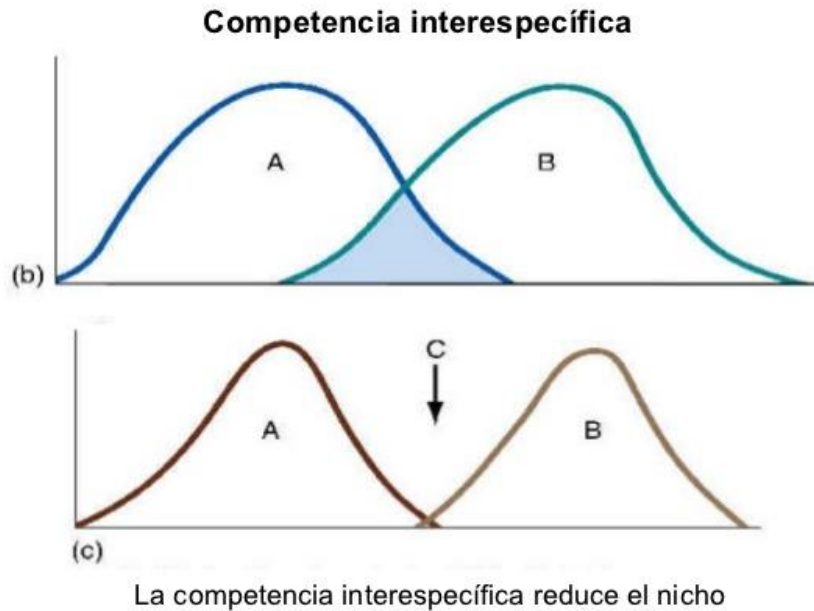
¿Qué ocurre con la competencia inter específica? Si la competencia es muy severa, una de las especies puede ser eliminada por completo u verse obligada a desplazarse a otro nicho ecológico u otra región geográfica. En algunos casos, las especies competidoras pueden ser capaces de convivir en el mismo hábitat en densidades reducidas, compartiendo los recursos en alguna manera de equilibrio. En condiciones naturales, las especies se adaptan a la coexistencia cambiando su nicho, reduciendo de esta manera la presión de competencia mediante cambios fisiológicos o de comportamiento, o explorando los mismos recursos en tiempos distintos (diferentes estaciones del año u horas del día).

“La eliminación de una especie por otra como resultado de la competencia inter específica ha llegado a conocerse como el principio de la exclusión competitiva o principio de Gauss, en honor al investigador, quien demostró dicha exclusión en cultivos de protozoarios en la década de 1930” (Odum, 1994). La competencia no suele darse en una comunidad natural en equilibrio, ya que en ésta, dos especies distintas nunca ocupan el mismo nicho ecológico.

Principio de exclusión competitiva: si dos poblaciones de distintas especies presentan los mismos nichos ecológicos y viven en el mismo lugar, la población que crece más rápido ocupará toda el área y la otra desaparecerá.

La desaparición de una especie de un área determinada, no implica, necesariamente, la desaparición total de la especie, sino la desaparición de esa especie del área en la que se produce la competencia. En la siguiente curva se representa gráficamente el desplazamiento de la una especie del área de competencia. El solapamiento de las curvas, sombreada en celeste, representa el área de competencia.

Tipos de competencia



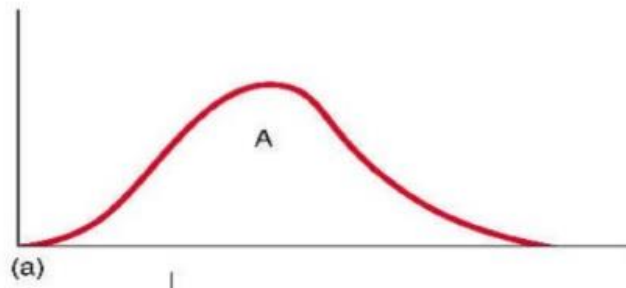
¿Cuál es el resultado de la competencia intra específica?

La eliminación del más débil o del menos eficiente, regulándose de esta forma la densidad poblacional, o el desplazamiento de algunos individuos hacia áreas marginales.

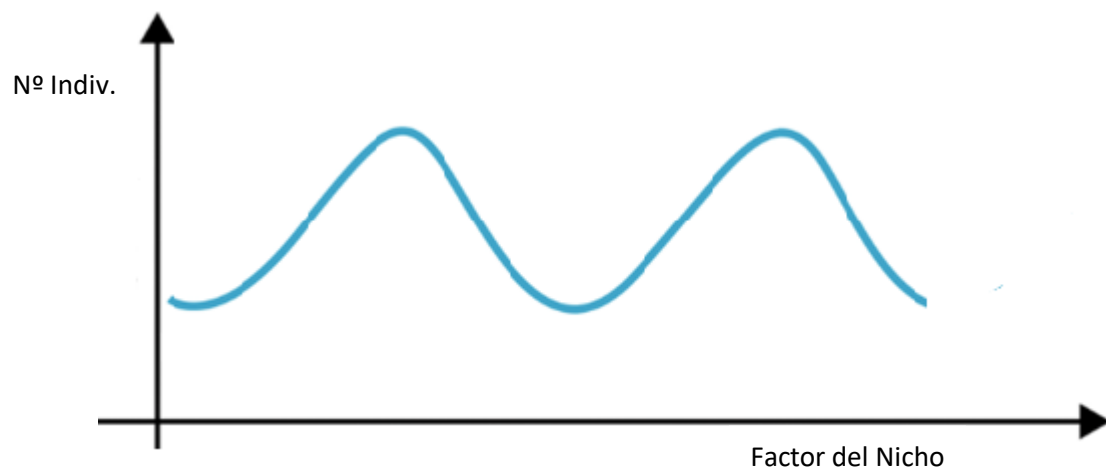
En el siguiente gráfico se observa el efecto de la competencia en la distribución del hábitat de una especie determinada. Cuando domina la competencia en el seno de la misma especie, los individuos tienden a ocupar áreas menos favorables (marginales). Es decir, que la población se extiende hacia los extremos de la curva, achatándose la misma. En cambio, cuando la competencia es intensa entre especies distintas, los individuos de la población tienden a agruparse en el óptimo, en el centro de la curva y, por lo tanto, la curva original de distribución de la población se enangosta.

Tipos de competencia

Competencia intraespecífica



La competencia intraespecífica amplía el nicho ecológico



Depredación

Este tipo de interacción se da entre organismos de vida libre, es decir, que el depredador busca de su presa únicamente una fuente de energía. En general, el depredador es mayor que su presa, y en la estrategia de obtención de alimento, la mata.

En líneas generales, se pueden establecer dos principios que regulan la relación depredador presa.

1. La vida del depredador depende de la cantidad de energía que debe gastar para buscar y capturar a su presa, y la de ésta depende de su habilidad para escapar y evitar ser comida.
2. SE puede expresar que “los efectos limitantes de la depredación tienden a disminuir, y los efectos reguladores a aumentar en donde las poblaciones que accionan recíprocamente han tenido una historia evolutiva común en un ecosistema relativamente estable” (Odum, 1994). Es decir, que la selección natural tiende a disminuir los efectos negativos de la depredación, ya que una disminución drástica en la densidad poblacional de las presas pone en peligro la supervivencia de la población de depredadores. Una brusca interacción depredador – presa, tiene lugar cuando la interacción es de carácter reciente, es decir, cuando las poblaciones se ponen en contacto por primera vez, o cuando tuvo lugar una fuerte perturbación en el ecosistema, como son las realizadas por el hombre.

Parasitismo

El parasitismo es una estrecha relación en la cual uno de los participantes, (el parásito o huésped) depende del otro (hospedador o anfitrión) y obtiene algún beneficio; lo cual no siempre implica daño para el anfitrión.

“El término parásito generalmente se utiliza si el organismo es pequeño y, en realidad, vive dentro de o sobre el huésped, el que, en consecuencia, es tanto fuente de energía como su hábitat” (Odum, 1994). En consecuencia, los parásitos se pueden dividir en endoparásitos y en ectoparásitos, según vivan en el interior o en el exterior del hospedante. Ejemplo de los primeros son las plantas que viven a expensas de otras, penetrando sus raíces y extrayendo la savia de la planta hospedadora, ejemplos de este tipo de parásito son la cuscuta, liga, corpus, etc., y de los segundos, las bacterias y hongos que prosperan en el interior de los organismos.

Los parásitos son siempre más pequeños que sus hospederos y se caracterizan por su alta especificidad en la selección del anfitrión y no lo matan. Además se caracterizan por tener una alta tasa reproductiva (“r” estrategias), En la naturaleza existe una amplia gama de parásitos, pudiendo ser estos permanentes o temporarios, facultativos u obligados, internos o externos, etc. A modo de breve descripción, los parásitos obligados son aquellos que no sobreviven fuera del huésped, mientras que los parásitos facultativos son los que pueden cumplir todo el ciclo vital, o parte de él, fuera del huésped.

Existen un grupo de organismos que se encuentran entre los parásitos y los depredadores, son los **parasitoides**. En general son insectos con un estadio larval parasítico que se desarrolla alimentándose del cuerpo de un sólo insecto o artrópodo hospedador. A diferencia de los parásitos, los parasitoides (más concretamente, sus larvas) **SÍ MATAN AL HOSPEDADOR** con el fin de completar su ciclo vital; entonces, ¿qué los diferencia de los depredadores? Pues que **cada larva sólo necesita de un hospedador del cual alimentarse para continuar su desarrollo hacia la etapa adulta** (normalmente una forma libre herbívora o depredadora), y no de varias presas como los depredadores. Al mismo tiempo, varias larvas parasíticas pueden atacar a un mismo hospedador.

Existen insectos parasitoides en diversos órdenes de insectos (coleópteros, dípteros,...), aunque **la mayoría** de ellos se incluye dentro de los **himenópteros** (abejas, avispas y hormigas).

LA ENERGÍA EN EL ECOSISTEMA

El ecosistema terrestre se mantiene estable gracias a las entradas continuas de radiación solar. En el gráfico siguiente se representa el flujo de energía que entra a la tierra y cuál es el camino de la misma.

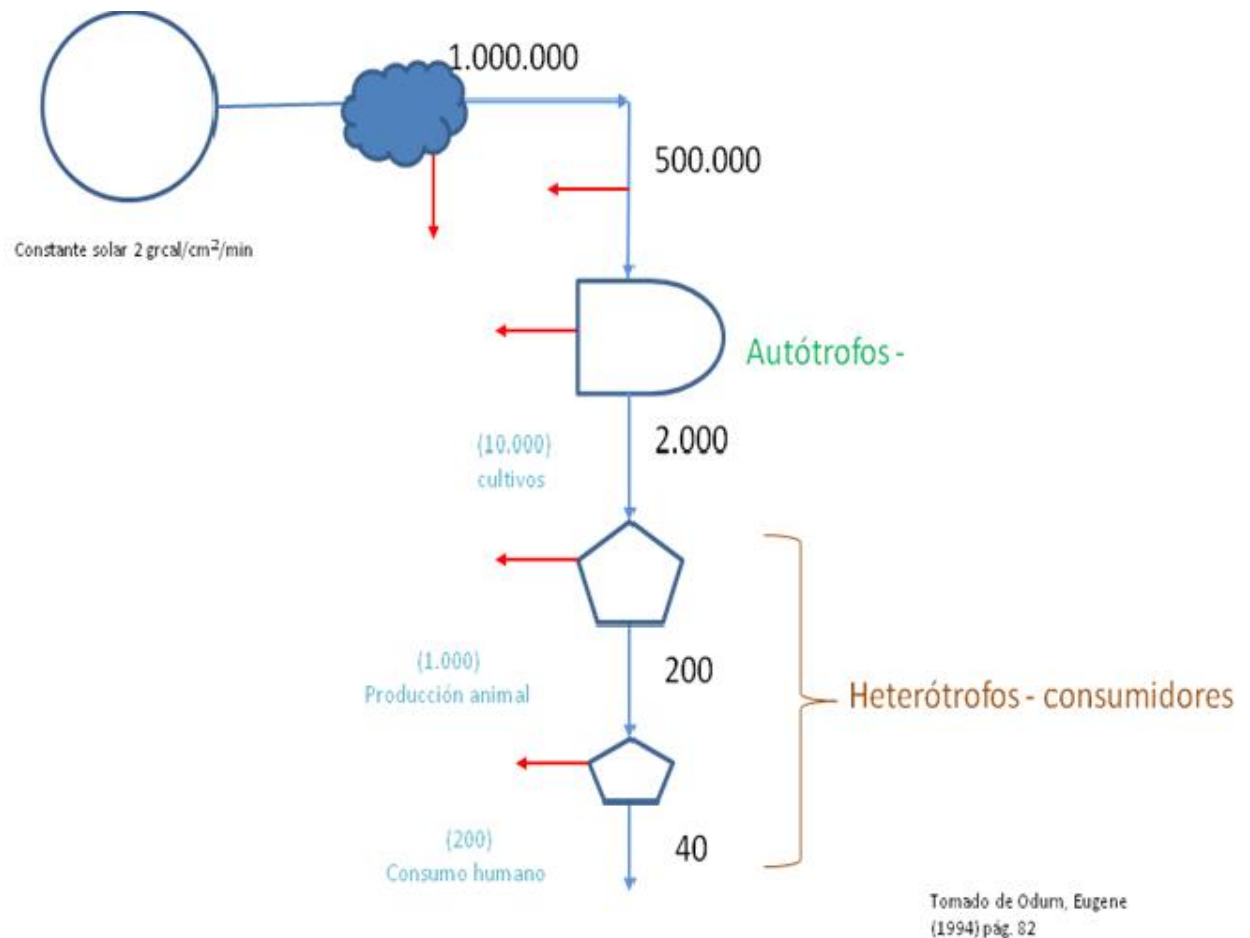


Gráfico N° 1: Flujo de energía en el ecosistema en Kcal/m²/año

Según la primera ley de la termodinámica, **la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma**. La segunda ley postula que **ningún proceso que implique transformación de energía se verificará a menos que esa energía pase de un estado concentrado a uno disipado, es decir desde un nivel mayor de energía a uno de menor**.

Las dos leyes de la termodinámica se cumplen desde el ingreso de la energía en el nivel superior de la atmósfera hasta que se incorpora en los ecosistemas terrestres.

La atmósfera absorbe, de forma selectiva, las distintas longitudes de onda de la radiación solar. Así, en la ionosfera o termosfera se absorben las radiaciones de onda corta y alta energía (rayos X y gamma). En la ozonosfera se absorbe gran parte de la radiación ultravioleta, especialmente la de mayor energía y efectos más letales para la

vida. Sin embargo, las ondas correspondientes al espectro visible atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre, sin producir calentamiento aparente de aquella. Las radiaciones infrarrojas de menor energía, son absorbidas por el CO₂, vapor de agua y otros gases atmosféricos y producen un aumento de la temperatura.

Del total de la energía provista por la radiación solar, que llega a la tierra, en razón de 2 grcal/cm²/min a medida que atraviesa la atmósfera se va atenuando, en líneas generales de la siguiente manera:

- 2 grcal/cm²/min es el 100%.
- 30% es reflejado por las nubes y la atmósfera.
- 8% es reflejado por sólidos en suspensión.
- 10% es absorbido por la superficie de la tierra.

La energía que va atravesando la atmósfera se va transformando, de acuerdo a la primera ley de la termodinámica, es decir que alrededor del 48 %, (cerca de 1 grcal/cm²/min), de la energía tuvo algún tipo de transformación.

De esta cantidad (1 grcal/cm²/min), un 10 % es reflectado (albedo) y aproximadamente un 50% de lo que resta se insume en procesos de evapotranspiración:

$0,90 - 0,45 = 0,45$ gcal./cm²/min queda a disposición de la capa verde para ser empleada en procesos fotosintéticos.

9 % radiación ultravioleta.

Ese 0,45 gcal./cm²/min se compone de: 42 % luz visible y un 49 % de infrarrojo.

En consecuencia, la radiación fotosintéticamente útil (RFU) es de, aproximadamente, 0,20 gcal/cm²/min (aproximadamente el 10 % de la luz total) y sólo un porcentaje variable de esa cantidad (casi nunca superior al 55 - 65 %) es absorbido por la clorofila. La cantidad de energía solar aprovechada por la fotosíntesis es de 0.2%.

Todos estos valores se modifican mucho según la hora del día, la época del año, la latitud y longitud geográfica, la topografía, el Índice de área foliar (IAF) de la comunidad vegetal. La cantidad absorbida va a depender también del tipo de hoja, según sus propios valores de reflexión, transmisión y absorción.

Una vez que la energía lumínica fue transformada en energía química, por los vegetales, la energía fluye a través de los distintos componentes del ecosistema conformando una estructura trófica.

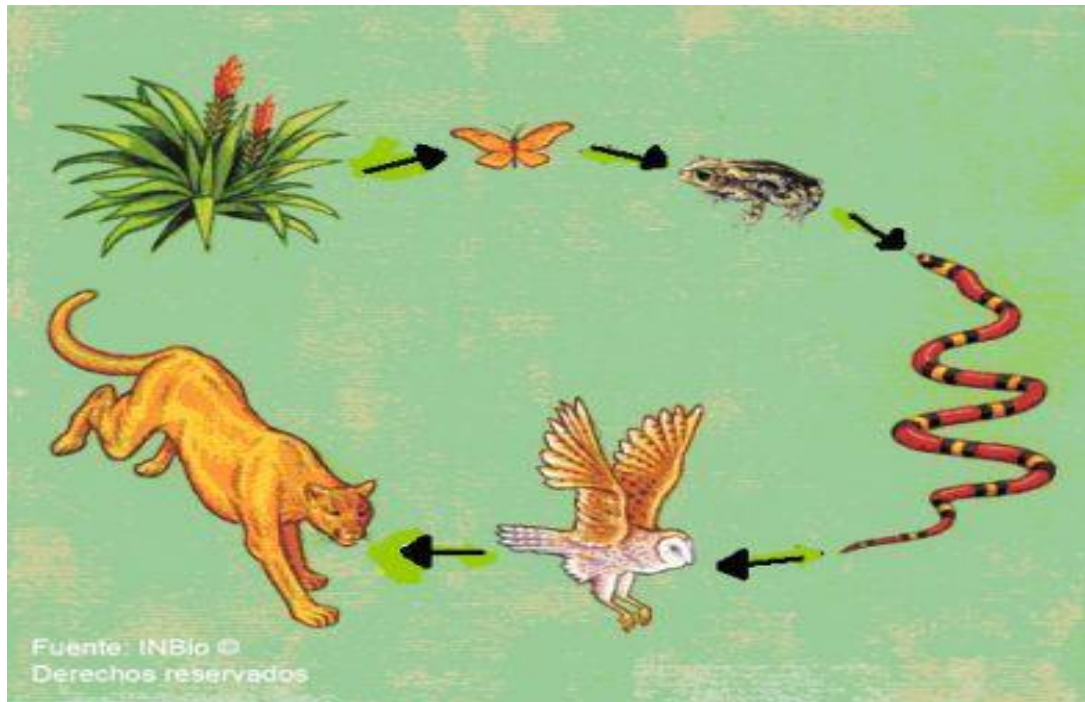
ESTRUCTURA TRÓFICA

La estructura trófica se refiere al modo en que los organismos se relacionan desde el punto de vista de la alimentación o adquisición de nutrientes.

La base de la estructura trófica está en los organismos vegetales capaces de realizar fotosíntesis. La energía captada por ellos en este proceso se mueve a través del ecosistema en una serie de etapas constituidas por organismos que se alimentan de otros y que, a su vez, sirven de alimento. Esta interdependencia se representa por ***cadena tróficas***.

Las cadenas tróficas son relaciones lineales entre organismos implicados en la función de comer o ser comido.

La gráfica siguiente representa una estructura trófica lineal, en la que la dirección de las flechas indica el flujo de la energía, desde los productores hasta el último eslabón de la cadena, en este caso un carnívoro de 4º orden o consumidor de 5º orden.



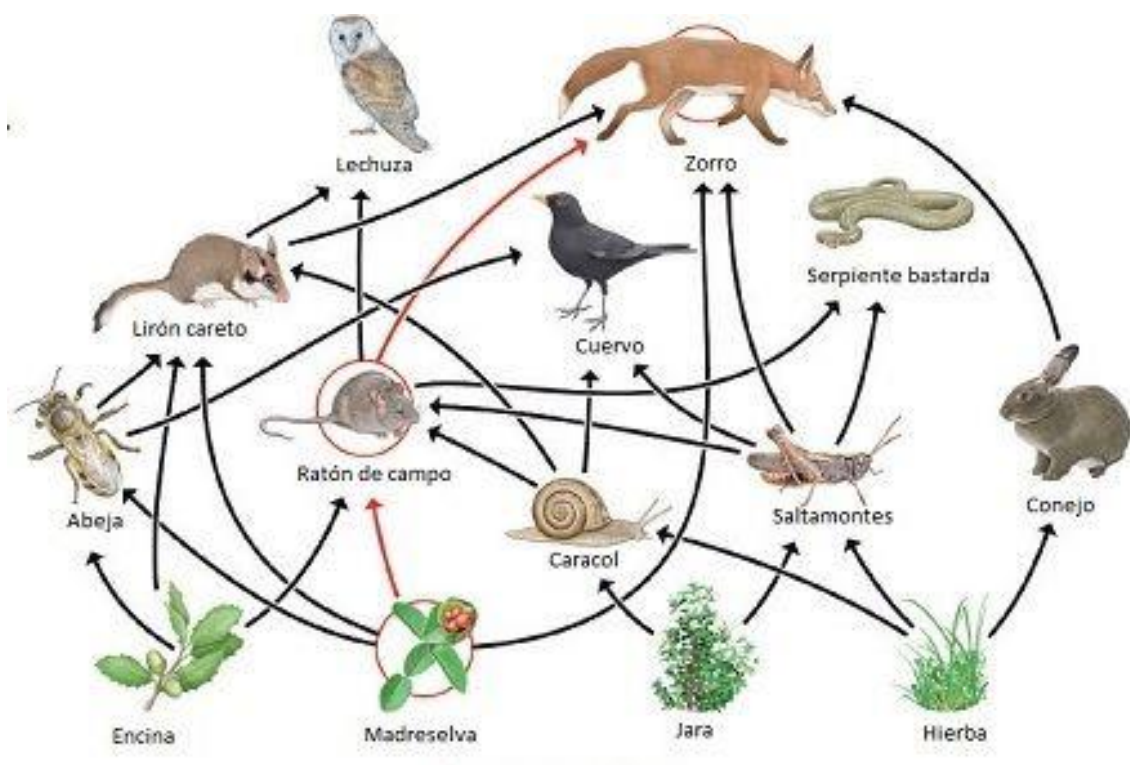
En la transferencia de energía de un nivel a otro, es indispensable la participación de los vegetales, puerta de entrada de la energía al ecosistema. La materia orgánica producida en la fotosíntesis es utilizada por las plantas para crecer. Otro porcentaje es empleado para respirar, liberar energía y realizar las funciones vitales propias del vegetal.

Según la figura anterior, el segundo nivel trófico es el de los herbívoros. Estos usan parte de esa materia vegetal consumida para crecer y desarrollarse. Esto mismo se repite en todos los niveles tróficos consecuentes y en la muerte de los individuos pasa a ser descompuesta y convertida en materia inorgánica usada por los productores. Así podemos decir que **el flujo de materia es cíclico**. Sin embargo, la energía se va transformando de nivel en nivel en calor que se desprende al medio sin recuperarlo. En consecuencia, se puede decir que **el flujo energético es unidireccional**: la energía solar es transformada por las plantas en energía química y devuelta al medio en forma de energía calorífica.

El número de eslabones que constituye una cadena alimenticia es variable, dependiendo del sistema en la que se desarrolla. La combinación de cadenas constituye una red trófica.

La red trófica o alimenticia es el conjunto de cadenas tróficas interconectadas que pueden establecerse en un ecosistema.

En la figura siguiente se observa la representación de una red trófica terrestre. Se observa acá los distintos caminos que puede tomar la energía en un ecosistema.



Las redes son diagramas no lineales en los que se manifiestan las relaciones de depredación en un ecosistema, aunque resulta muy complejo representar a todos los organismos presentes en dicho ecosistema. Esta puede ser o muy simple o compleja de acuerdo al medio en el que se desarrolla. Se puede decir que a través de la actividad de los descomponedores y transformadores (estadios larvales de insectos, hongos, bacterias), quienes cierran el ciclo de la materia, las redes tróficas son estables y cerradas.

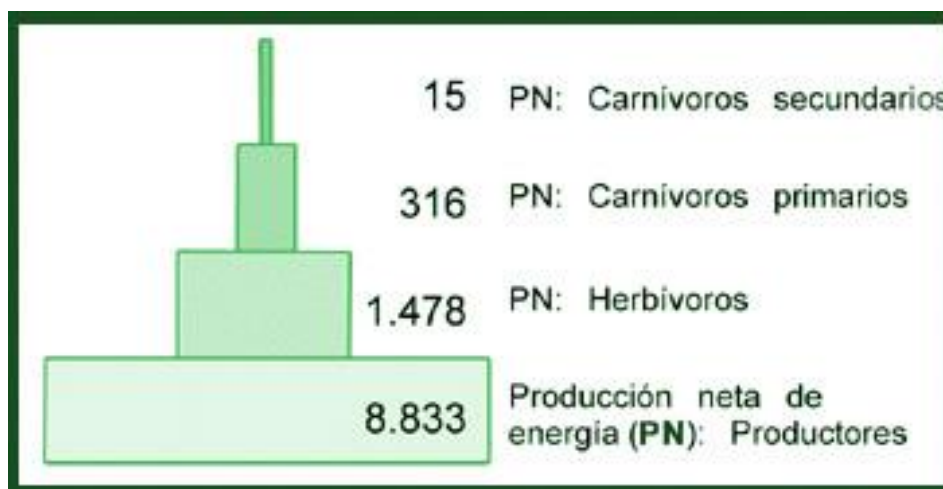
Como se observa en la figura la base de la red trófica la constituyen los productores, y continuación se encuentran los consumidores primarios, secundarios y terciarios.

En cada eslabón o nivel trófico de una cadena alimenticia se origina una pérdida de materia y energía, las cuales, por tanto, van disminuyendo a lo largo de dicha cadena (se cumple así la segunda ley de la termodinámica: en cada traspaso de energético parte de la energía se pierde como calor)

Otra forma de representar una red trófica es a través de la **pirámide de energía**; es aquella donde se representa la energía que llega a un determinado nivel trófico. La energía que recibe un nivel es aproximadamente el 10% de la energía que disponía el nivel inmediatamente inferior. Ésta se puede observar en el gráfico siguiente.

Como se pierde tanta energía en cada transferencia, la cantidad que persiste después de dos o tres transferencias sucesivas es tan pequeña que pocos organismos podrían sobrevivir con la cantidad de alimento que llegaría al final de una cadena trófica larga. Por eso las cadenas tróficas se limitan a tener cuatro o cinco eslabones.

Como consecuencia de esta pérdida progresiva de materia y de energía -especialmente de esta última- las cadenas alimenticias pueden representarse gráficamente como una pirámide formada por varios estratos en la que los superiores (más pequeños) se nutren de los inferiores (más grandes).



La producción neta de energía está expresada en Kcal/m²/año

Por lo general, los estratos superiores no son sólo más pequeños que los inferiores, en cuanto a la cantidad de materia y de energía, sino también en cuanto al número de individuos. En consecuencia, la reducción de la disponibilidad de energía, traducida en la disponibilidad de alimentos para los niveles superiores, supone un mayor gasto energético para lograr la obtención de alimento. Por esta razón es que las cadenas tróficas no superan los cinco o seis niveles, en el mejor de los casos. Esto se conoce como **limitante de extensión.**

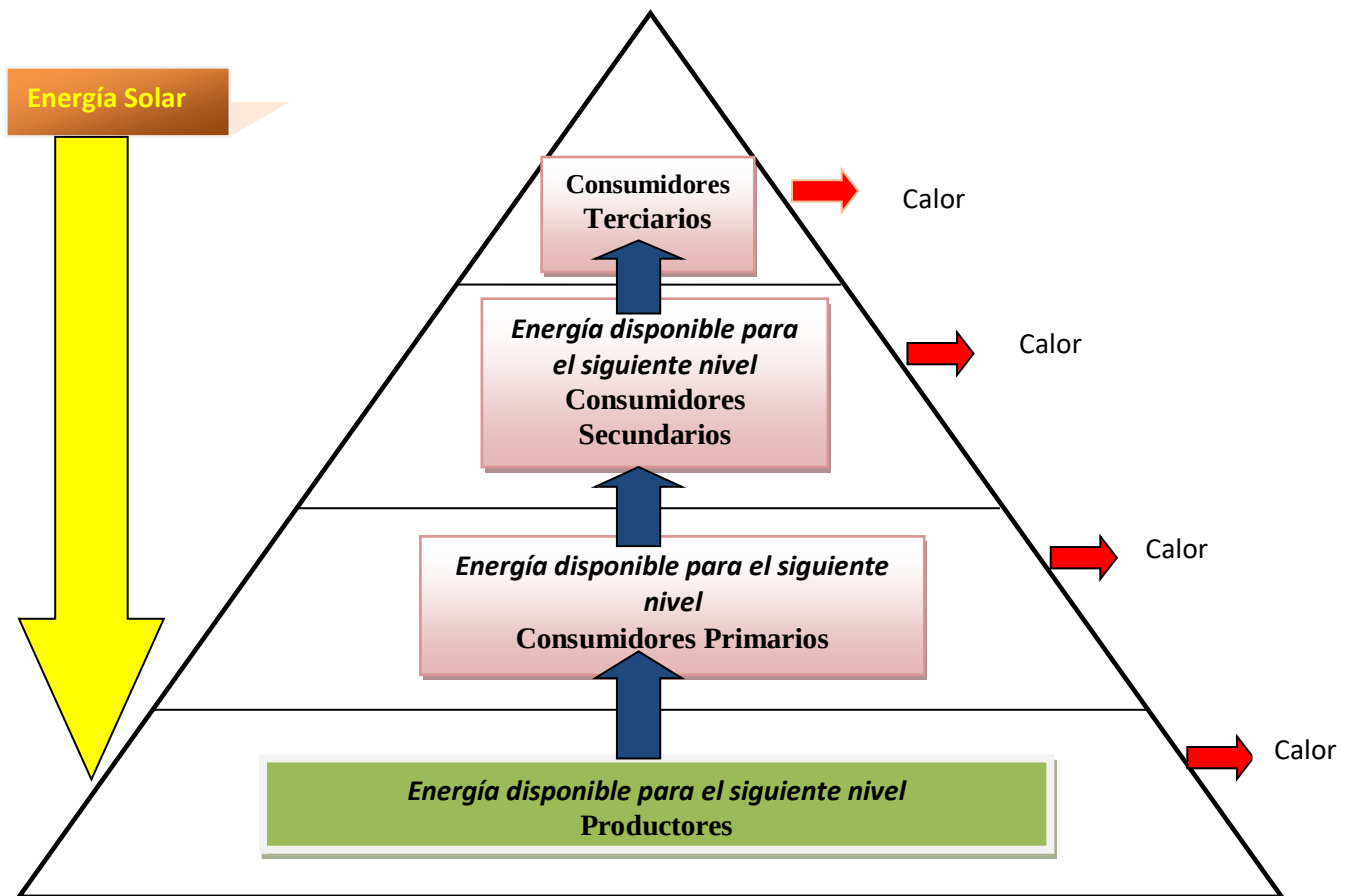
Esto significa que cuanto más cerca esté un organismo del principio de la cadena, tanto mayor será la energía disponible. Así por ejemplo, la hierba que alimenta a una vaca alimentaría de 10 a 15 veces más personas (si estas consumieran directamente la hierba y no la vaca).

En síntesis, la energía fluye a través de las cadenas alimenticias de manera predecible, entrando desde la base de la cadena alimenticia, mediante la fotosíntesis (Energía proviene del Sol) en los productores primarios y posteriormente, fluyendo por los eslabones a niveles tróficos más altos.

Debido a que la transferencia de energía de un nivel trófico al siguiente es ineficiente, hay menos energía entrando a niveles tróficos más altos. El flujo de energía en un ecosistema se pierde de tres formas:

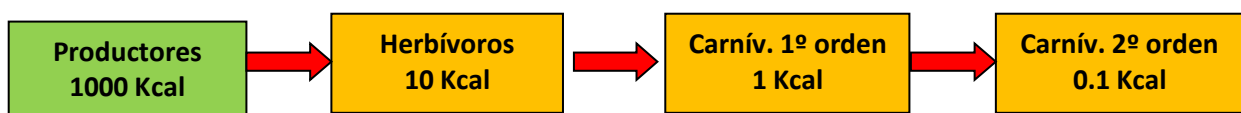
- Por pérdida de calor
- Por material no consumida
- Por materia no digerido

En el gráfico siguiente se muestra otra forma de representación del flujo de energía en el sistema. La energía disminuye a medida que se pasa desde el primer nivel trófico hasta llegar al último nivel de la cadena. En cada nivel trófico la energía tomada es utilizada para el crecimiento y mantenimiento de todas las funciones que cumple el organismo y en ese proceso se genera calor que es eliminado al ambiente.



Al considerar el flujo de la energía en las cadenas y las redes trófica se debe tener en cuenta **la regla del 10%**. Esto es que sólo el 10% de la energía de un nivel trófico, se usa para sintetizar la energía neta del nivel siguiente. Los consumos de energía se utilizan para respiración, reproducción, caza, metabolismo interno, etc. A mayor nivel trófico más pérdida de energía.

Por ejemplo:



En consecuencia, en cada nivel la utilización de la energía se realiza con distintos grados de eficiencia.

EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA

Eficiencia es la relación que existe en la cantidad de energía producida sobre la cantidad de energía utilizada

Cuando se compara el producto obtenido en relación a lo que se obtiene, es decir cantidad de energía producida dividida por cantidad de energía utilizada, entre los organismos de un mismo nivel trófico (N) hablamos de **Rendimiento**, cuando son de distintos niveles (entre N y N₁), se trata de **Eficiencias**.

Un rendimiento o eficiencia es siempre un cociente entre dos variables: la variable dependiente o de salida, dividida por la variable independiente o de entrada; corresponde por tanto a una proporción entre el paso y el contenido.

En todos los casos, numerador y denominador tienen que estar expresados en el mismo tipo de unidad, de modo que el resultado sea a dimensional. Generalmente se lo expresa en términos de porcentaje.

Otra manera de expresar la eficiencia, y es muy utilizada en ecología es la cantidad de biomasa que se transfiere de un nivel trófico al siguiente. La transferencia se produce cuando un ser vivo cede su materia orgánica a un depredador, a un parásito o pasa de los productores a los herbívoros. Este cociente de salidas /entradas se lo puede expresar como:

Eficienc. Ecológica = (Productividad del nivel N / Productividad del nivel N₁) x 100

La mayoría de los autores concuerdan en que, en promedio para la biosfera, la eficiencia de producción del estrato vegetal en el nivel de la biosfera es del orden del 1 % en relación a la luz solar total; los cultivos intensivos pueden funcionar con una eficiencia del 5 - 6 % para la productividad. De esa cantidad, las pérdidas por respiración varían

entre el 20 (en el mejor de los casos) al 40, 50 o 60 % dependiendo del tipo de comunidad, su grado de desarrollo y de las condiciones ambientales.

Se puede ejemplificar esta fórmula para producción animal considerando:

$(\text{Kg de carne producidos} / \text{Kg de pasto ingerido}) \times 100$

Se dan algunos ejemplos para producción animal:

- Ganado vacuno (promedio) = 5 - 7 %
- Gallinas seleccionadas = 14 %
- Cerdos (promedio) = 12 %

Otros organismos:

- Arañas = 30 %
- Ser humano = 0,1 %

Bibliografía

- Krebs, Charles J. (1985): Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. 2º Edición. Ed. Harla. México.
- Margalef, Ramón (1986): Ecología. Ed. Planeta.
- Odum, Eugene (1985): Ecología - Ed. Interamericana.