

Tema 7. ECOSFERA: BIOSFERA (I). DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS

1. Conceptos básicos
2. Concepto de ecosistema.
3. Factores abióticos. El biotopo
 - 3.1. Factor limitante y valencia ecológica
 - 3.2. Principales factores abióticos
4. Factores bióticos. La biocenosis
 - 4.1. El estudio de las poblaciones
 - 4.2. El crecimiento de la población
 - 4.3. Estrategas de la r y de la K
 - 4.4. Relaciones intraespecíficas
 - 4.5. Relaciones interespecíficas
- 5. Principales tipos de ecosistemas. Biomas.**
 - 5.1. Biomas terrestres. (Fotocopia).**
 - 5.2. Biomas acuáticos.**
6. Relaciones tróficas
 - 6.1. Niveles tróficos
 - 6.2. Cadenas y redes tróficas
7. Flujo de energía
8. Ciclo de la materia. Ciclos biogeoquímicos
 - 8.1. Ciclo del carbono
 - 8.2. Ciclo del Nitrógeno
 - 8.3. Ciclo del fósforo
 - 8.3. Ciclo del azufre
9. Parámetros tróficos
 - 9.1. Principales parámetros tróficos.
 - 9.2. Factores que limitan la producción primaria.
 - 9.3. Pirámides tróficas.
10. Sucesión ecológica
 - 10.1. Características de la sucesión
 - 10.2. La regresión

1. CONCEPTOS BÁSICOS

ECOLOGÍA. Compuesto por las palabras griegas *oikos* (casa, vivienda, hogar) y *logos* (estudio o tratado), es por tanto la **Ciencia** que estudia las relaciones entre los seres vivos y de éstos con el medio físico-químico que les rodea. Es la ciencia que estudia los ecosistemas.

ECOSFERA. Es el ecosistema global o conjunto de todos los ecosistemas de la Tierra. Abarca todos los seres vivos (biosfera) y las interacciones entre ellos y con la tierra, el agua y la atmósfera.

BIOSFERA. Engloba a todos los organismos vivos de la Tierra. Reúne a todas las comunidades o biocenosis.

POBLACIÓN. Conjunto de seres vivos de la misma especie que viven juntos en un lugar y en un tiempo determinados.

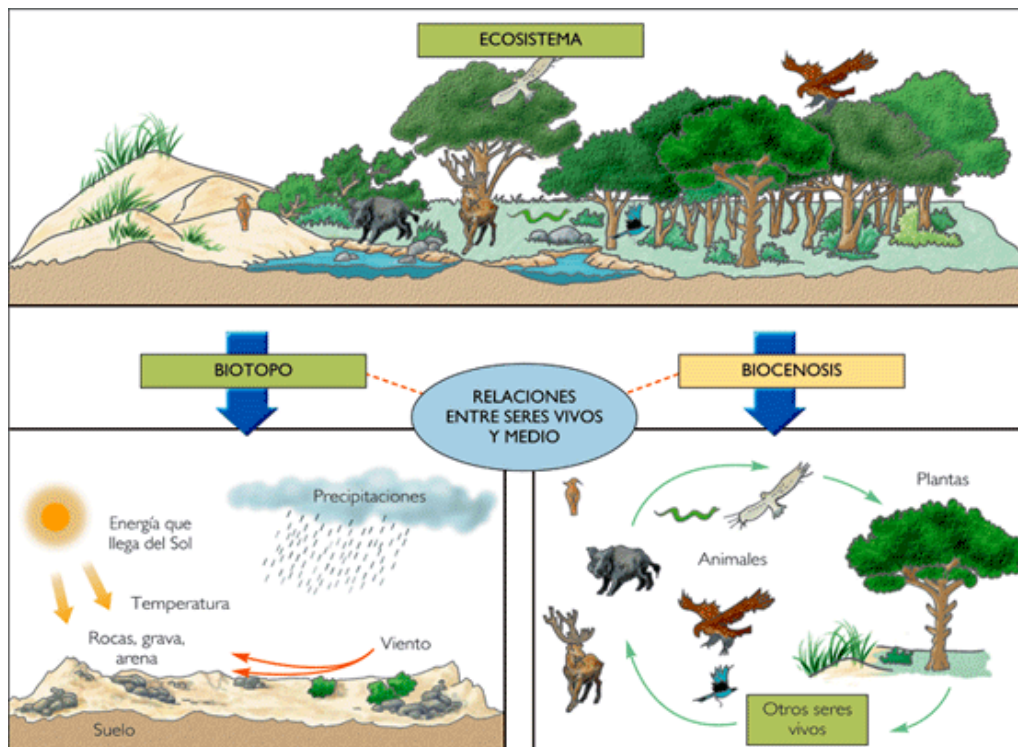
HÁBITAT. Área con las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de una especie, es decir es el conjunto de biotopos donde puede vivir una especie.

NICHO ECOLÓGICO. Función que desempeña una especie en el ecosistema. Por ejemplo, un ratón de bosque ocupa el nicho de pequeño roedor que come semillas y una lechuza ocupa el nicho de ave rapaz que se alimenta de pequeños roedores, que son las funciones que cumplen en el ecosistema.

2. CONCEPTO DE ECOSISTEMA.

Sistema formado por un conjunto de seres vivos y el medio físico-químico en el que habitan más las relaciones que se establecen entre los seres vivos y entre estos con el medio físico-químico en el que habitan. El ecosistema está formado por:

- **Biocenosis o Comunidad.** Es el conjunto de seres vivos de un ecosistema.
- **Biotopo.** Es el conjunto de factores físico-químicos del ecosistema.
- **Todas sus interrelaciones.**



En el ecosistema hay un conjunto de factores que influyen en el desarrollo de una especie, u organismo en el ambiente en el que vive. Estos pueden ser:

- **Factores abióticos.** Constituyen el biotopo. Son los factores físico-químicos que influyen en el desarrollo de una especie. Son la luz, T^a, humedad...
- **Factores bióticos.** Conjunto de seres vivos que influyen en el desarrollo de una especie. Son las relaciones intraespecíficas e interespecíficas.

3. LOS FACTORES ABIÓTICOS.

El exceso o defecto de un factor ambiental puede impedir el desarrollo de una especie. Llamamos **límites de tolerancia** a los valores máximo y mínimo de un factor dentro de los cuales una especie puede vivir. Estos límites constituyen el **intervalo de tolerancia**. Al intervalo en el cual el rendimiento de la especie es máximo se conoce como **zona de respuesta óptima**.

3.1. Factor limitante y valencia ecológica

Factor ecológico que se encuentra por encima del nivel de tolerancia, o bien por debajo de un mínimo crítico, condicionando el éxito de una especie.

Los factores limitantes de los **ecosistemas terrestres** son principalmente el agua, la temperatura y los nutrientes.

En los **ecosistemas acuáticos** son la luz, que disminuye con la profundidad, los elementos nutritivos, que se depositan en el fondo y sólo ascienden mediante movimientos verticales del agua, el oxígeno y la salinidad.

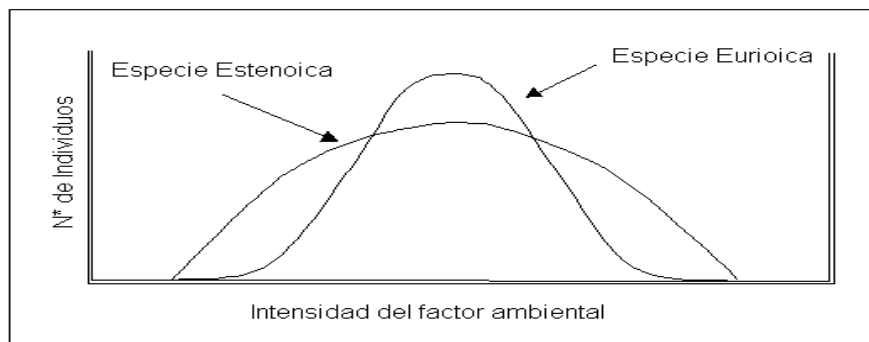
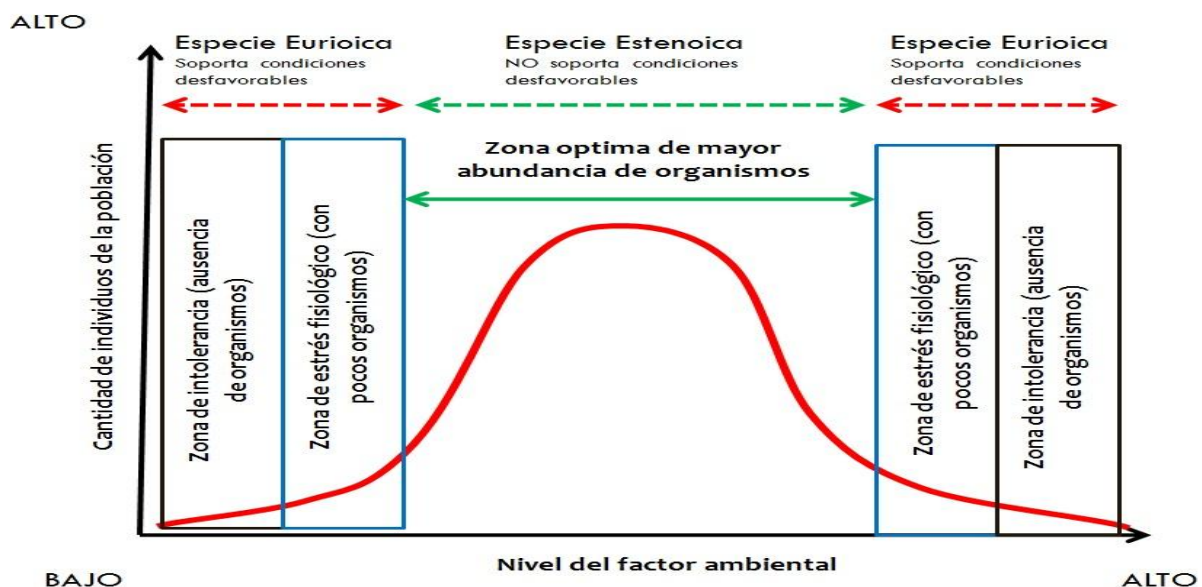
La **ley del mínimo** (de Liebig) establece que el crecimiento de una especie vegetal se ve limitado por un único elemento que se encuentra en cantidad inferior a la mínima necesaria y que actúa como factor limitante.

Valencia ecológica. Intervalo de tolerancia de una especie respecto a un factor cualquiera del medio que actúa como factor limitante, supone la aptitud de un organismo para explotar medios diferentes.

Según su valencia clasificamos las especies en:

- **Estenoicas.** Valencia pequeña, coloniza pocos ambientes.
- **Eurioicas.** Valencia grande. Coloniza muchos ambientes.

Cuando se trata de un factor concreto, se escribe el prefijo euri- o esteno-, a continuación, el factor ambiental. Euritermo / estenotermo, eurihialino / estenohialino..)



están al revés.

Las flechas

3.2. Principales factores abióticos. El biotopo

- **La luz:** condiciona la proliferación de organismos fotosintéticos. Por ejemplo, una elevada luminosidad favorece el crecimiento de algas en un ecosistema acuático. Será factor limitante en el medio acuático, rara vez en el medio terrestre.
- **El agua:** los seres vivos necesitan agua para vivir pero también existen adaptaciones a lugares áridos. Factor limitante en medio terrestre (Plantas xerófilas e hidrófilas, adaptaciones en animales como la joroba de los camellos...).
- **La temperatura** media y sus cambios: normalmente, las especies de un ecosistema están adaptadas a un determinado margen de temperaturas. (animales homeotermos y poiquilotermos, hibernación,...). En el agua condiciona la cantidad de gases disueltos, como el O_2 , condicionando la vida, también las diferencias de T^a generan corrientes que distribuyen los nutrientes.
- **La salinidad:** las aguas oceánicas tienen un contenido en sales muy estable, mientras que las aguas continentales son muy heterogéneas, dependiendo de las características de los suelos por donde circulan. (Plantas halófitas, pocas especies soportan variaciones por ejem. salmón).
- **El pH:** depende de la composición de los elementos que forman el suelo y las sustancias que el agua contiene en disolución. La mayoría de las plantas prefieren suelos neutros pero algunas como la encina prefieren suelos alcalinos o básicos, o el alcornoque que los prefiere ácidos.

4. FACTORES BIÓTICOS. LA BIOCENOSIS

4.1. El estudio de las poblaciones

Para conocer las características de las poblaciones, es necesario tener en cuenta las siguientes variables:

. **Tamaño de la población (N):** es el total de individuos que forman parte de una población.

. **Densidad ecológica:** es el número de individuos por unidad de superficie o volumen ocupada o hábitat. La densidad de población ha de mantenerse en equilibrio para la supervivencia de la especie. Una densidad de población muy pequeña puede dificultar los mecanismos de reproducción sexual, ya que puede resultar difícil el encuentro entre individuos de diferente sexo.

. **Tasa de natalidad (TN):** corresponde al número de individuos que nacen en un período de tiempo determinado.

. **Tasa de mortalidad (TM):** es el número de individuos que mueren en un período de tiempo determinado.

Las tasas de natalidad y mortalidad varían en función de diversos factores, como la disponibilidad de nutrientes, los depredadores que actúan sobre la población...

. **Tasa de inmigración (I):** corresponde al número de individuos que se incorporan a la población, procedentes de otros lugares.

. **Tasa de emigración (E):** es el número de individuos de la población original que la abandonan y se marchan hacia otro lugar.

La valoración global del aumento y disminución de la población debidos a la natalidad, mortalidad, inmigración y emigración nos da el valor del crecimiento de una población determinada.

Tasa de crecimiento

Según su tasa de crecimiento, una población puede presentarse en expansión, estable o en regresión.

Si suponemos que en una población no existe inmigración ni emigración, la ecuación anterior quedaría:

$$\Delta N/\Delta t = (TN-TM) \cdot N$$

y si se hace $TN-TM = r$, $\Delta N/\Delta t = r \cdot N$

El factor r se denomina **tasa de crecimiento** y representa el aumento o disminución del número de individuos de una población. El valor máximo que puede alcanzar r se denomina **potencial biótico**.

Si $r > 0$ la población crece.

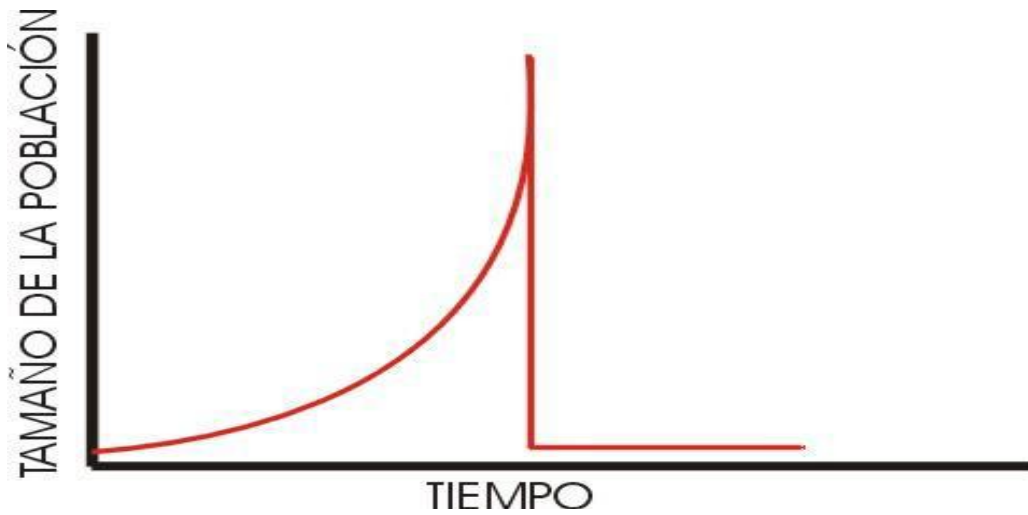
Si $r < 0$ la población decrece

Si $r = 0$ crecimiento cero, la población alcanza un equilibrio dinámico.

4.2. El crecimiento de la población

. **Crecimiento exponencial:** Una población que tuviese un crecimiento ajustado a la última ecuación aumentaría exponencialmente. Este tipo de crecimiento se denomina **exponencial o logarítmico**.

La curva exponencial presupone un crecimiento ilimitado de la población, pero, en la realidad, esto no puede darse en un medio natural, pues siempre existe una o varias condiciones del medio que actúan como factores limitantes del crecimiento.

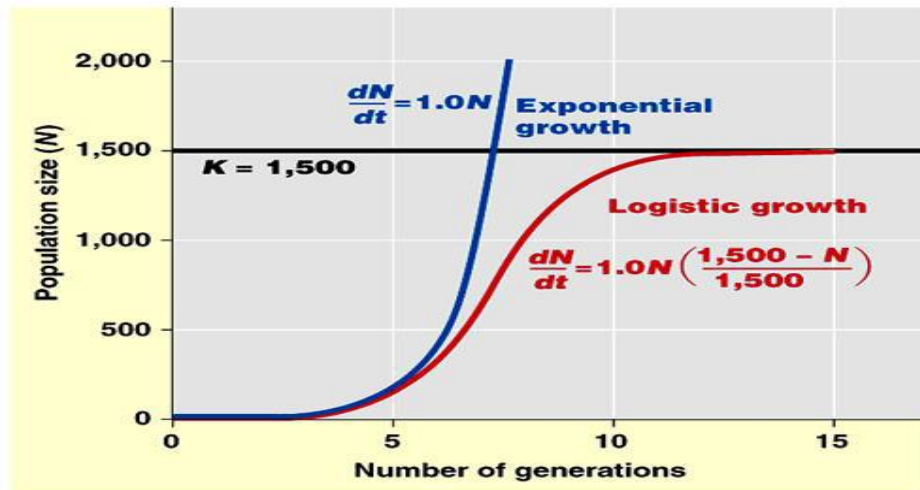


. **Crecimiento en curva sigmoideal o curva logística:** En la realidad el crecimiento de una población se asemeja más a una curva de tipo sigmoideal. La ecuación del crecimiento logístico, cuya representación gráfica es la curva sigmoideal, es la siguiente:

$$\Delta N/\Delta t = r.N (K - N/K)$$

K (capacidad de carga) es el valor máximo que puede alcanzar N, y viene determinado por la máxima capacidad del medio para soportar a la población.





Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

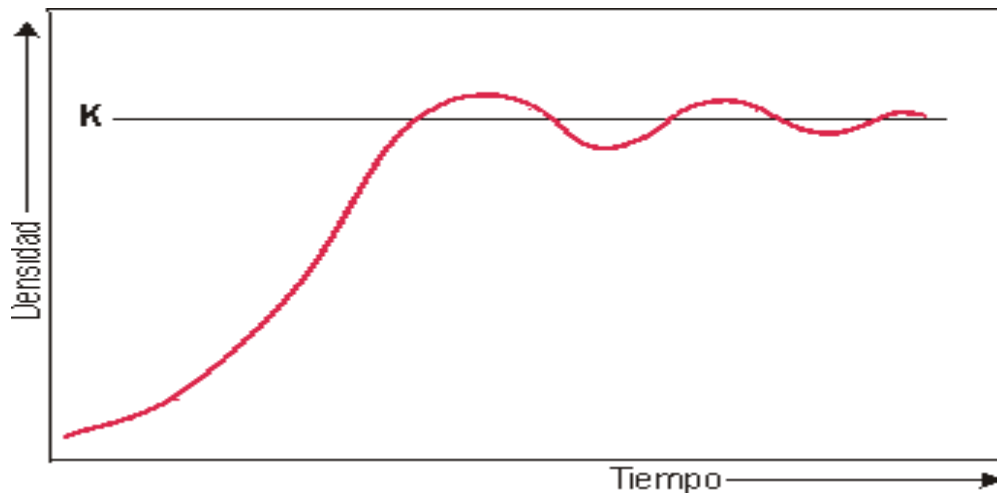
. **Resistencia ambiental:** La expresión $K - N/K$ se denomina factor de resistencia ambiental. Representa el conjunto de todos los factores ambientales que impiden a una población crecer según su potencial biótico.

- Si el número de individuos N es pequeño, $K - N/K$ tiene un valor próximo a uno, y la población crece de forma exponencial (corresponde a la primera parte de la curva).
- Si N aumenta, $K - N/K$ se aproxima paulatinamente a cero, por lo que, en la segunda parte de la curva, el crecimiento se ralentiza hasta llegar a detenerse cuando el valor de N se aproxima mucho al de K .

La parte exponencial de la curva sigmoideal representa un tipo de crecimiento poblacional típico de la colonización de un medio virgen por un organismo. La parte asintótica corresponde, en cambio, al período de estabilización de la población.

. Fluctuaciones

En las poblaciones estables se acostumbran a producir fluctuaciones, o modificaciones del número de individuos.



Las fluctuaciones pueden surgir de manera imprevista o seguir unas variaciones periódicas en cada población. Las fluctuaciones se producen a causa de cambios ambientales, de migraciones o por la acción de los depredadores.

- . **Cambios ambientales:** pueden comportar un incremento o una disminución de una población. Por ejemplo, el aumento de fosfatos en un lago, que es un fenómeno muy frecuente en verano, puede provocar el crecimiento exagerado del plancton durante unos días.

- . **Migraciones:** son los desplazamientos de los individuos de una población provocados por alteraciones en su hábitat natural. Se pueden dar de manera ocasional o de forma regular y cíclica. Un ejemplo de fluctuaciones cíclicas son las migraciones de las aves. Es el caso de las golondrinas, que, en otoño, emigran desde nuestras latitudes hasta el norte de África.

- . **Variaciones en la proporción de depredadores y presas:** la variación en el número de individuos de cualquiera de las dos poblaciones puede causar un desequilibrio, tal como vimos al tratar las relaciones interespecíficas.

4.3. Estrategas de la r y de la K

En función de su estrategia de crecimiento podemos distinguir dos tipos de poblaciones:

- **Estrategas de la K.** Son poblaciones estables que se encuentran en equilibrio con el medio y su efectivo (N) se acerca a la capacidad de carga (K). Por esta razón, se denominan estrategias de la K. Estas poblaciones tienen curvas de crecimiento con forma de "S". En general, corresponden a organismos grandes que presentan una tasa de crecimiento (r) pequeña, tienen pocas crías, pero como las cuidan la mayoría alcanza la edad adulta, se especializan en un determinado medio. Muchos vertebrados (oso panda,

elefantes, ciervos, delfines, ballenas...) y los árboles son estrategias de la "K".

Estrategias de la r. Son poblaciones oportunistas que se caracterizan porque el efectivo de la población tiene importantes fluctuaciones en el tiempo. Generalmente, se trata de poblaciones de especies de tamaño pequeño que presentan una tasa de crecimiento (r) alta, tienen muchas crías que no cuidan y la mayoría no llegan a adultos, por lo que se llaman estrategias de la "r". Las curvas de crecimiento de las poblaciones oportunistas tienen forma de "J", pues crecen con mucha rapidez. Son oportunistas los organismos planctónicos, las gramíneas y otras muchas plantas herbáceas, la mayoría de los peces, los insectos, los roedores, etc.

4.4. Relaciones intraespecíficas (entre individuos de la misma especie).

Entre los individuos de una población se produce **competencia** por la obtención de alimento, la reproducción, etc. Sin embargo, a pesar de la competencia y como consecuencia de los beneficios que supone para individuos de la misma especie la formación de grupos, éstos forman asociaciones, con características diferentes:

- . **Familiar.** Formada por individuos estrechamente emparentados entre sí y que, en general, tiene como finalidad facilitar la procreación y el cuidado de las crías. Hay diferentes tipos de asociaciones familiares: parental, formada por los padres y la prole; matriarcal, formada por la madre y la descendencia, y filial, formada exclusivamente por la prole.

- . **Colonial.** Formada por individuos procedentes de un único progenitor y que permanecen unidos. Es típica de pólipos y medusas. Si todos los individuos de la colonia son iguales, se denomina **homomorfa**, y si son distintos y están especializados en funciones diferentes, se denomina **heteromorfa**.

- . **Gregarias.** Formadas por individuos no necesariamente emparentados, que se unen más o menos tiempo, con diferentes fines: búsqueda de alimento, defensa, reproducción, emigración, etc. Si los grupos están formados por mamíferos, aves o peces, reciben el nombre de manadas, bandadas o bancos, respectivamente.

- . **Estatales.** Formadas por individuos que constituyen auténticas sociedades, en las que se observa una jerarquización y una distribución del trabajo que conlleva diferencias morfológicas. Es típica de los llamados insectos sociales, abejas, hormigas...



Las poblaciones de una especie pueden tener diferentes **formas de distribución**, según cómo sean las relaciones que se dan entre los individuos:

Distribución al azar

Se da en algunas especies solitarias con pocos requerimientos ambientales, y en ambientes uniformes. Un ejemplo de distribución de este tipo es la de algunas especies de moluscos marinos.

Distribución regular

Entre los individuos se mantiene una distancia más o menos constante; en el caso de los animales, corresponde al territorio que marcan y defienden para poder cazar.

Es típica de carnívoros solitarios y aves.

Distribución agrupada

Es la más frecuente en la naturaleza. Los individuos forman grupos por diversos motivos: defensa, migraciones, reproducción... Es el caso de los enjambres de abejas, que se forman cuando necesitan colonizar una nueva zona.

Distribución poblacional



Regular

Agrupada

Al Azar

4.5. Relaciones interespecíficas (entre especies diferentes).

Las interacciones que se establecen entre especies que pertenecen a una misma comunidad pueden clasificarse en función de las consecuencias que tienen sobre las especies relacionadas. Se simbolizan por: 0 (cuando las consecuencias para la especie carecen de importancia), + (cuando la interacción supone un beneficio) y - (cuando la interacción supone un perjuicio, siendo un factor negativo a añadir a la ecuación de crecimiento).

Tipo de interacción	Especie 1	Especie 2
Neutralismo	0	0
Competencia	-	-
Parasitismo	+	-
Depredación	+	-
Comensalismo	+	0
Mutualismo o simbiosis	+	+

a) **Neutralismo.** Cuando dos especies no interaccionan.

b) **Competencia.** Cuando ambas poblaciones tienen algún tipo de efecto negativo una sobre la otra. Es especialmente acusada entre especies con estilos de vida y necesidades de recursos similares. Ej: poblaciones de paramecios creciendo en un cultivo común; golondrinas y vencejos compiten por los insectos.

Hay un principio general en ecología que dice que dos especies no pueden coexistir en un medio determinado si no hay entre ellas alguna diferencia ecológica. Si no hay diferencias una acaba desplazando a la otra.



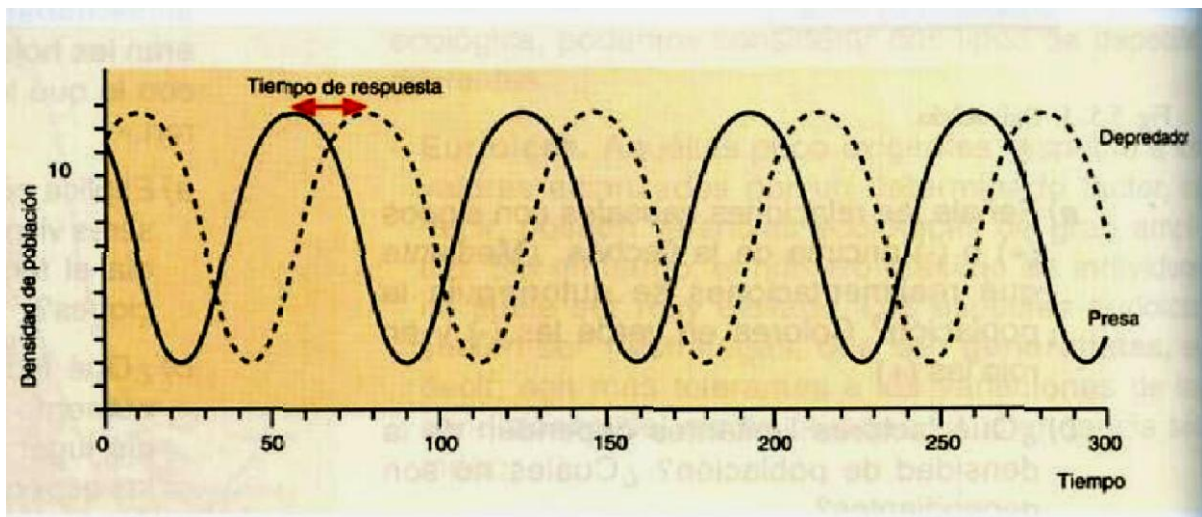
Diferentes tipos de Dendroicas, aves que se alimentan del mismo recurso, se reparten el espacio de caza de manera de poder coexistir sin excluirse una a la otra.



c) Depredación.

Se da cuando una población vive a costa de cazar y devorar a la otra (presas). En el funcionamiento de la naturaleza resulta beneficiosa para el conjunto de la población depredada ya que suprimen a los individuos no adaptados o enfermos y/o previenen la superpoblación. Esta relación se basa en un bucle de realimentación negativo que mantiene estables las poblaciones del depredador y de la presa. (Recuerda Homeostasis o equilibrio).

Ej: El guepardo-gacelas o las águilas de los conejos. **(Figura depredador-presa)**





El fenómeno de crípsis (camuflarse con el entorno) es uno de las defensas más usadas por los animales que son presas de otros. En la imagen se ve una rana camuflada de hoja seca y un insecto que simula ser una hoja.

La ostentación es otro método usado frecuentemente por insectos para defenderse de sus depredadores, consiste en intimidar al predador con ocelos y movimientos particulares como se ve esta mantis y esta polilla.

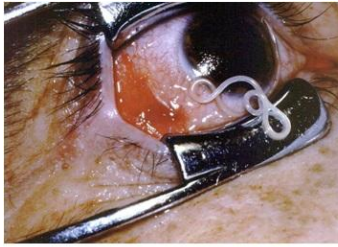


Otro método de defensa de muchos animales es desarrollar venenos o mal sabor, razones por las cuales adquieren colores vivos (frecuentemente los tres colores del fuego: amarillo, rojo o naranja y negro) para ser visibles y anunciar a sus depredadores que si se las comen les irá mal. Es el caso de esta serpiente de coral.

d) Parasitismo.

Es similar a la depredación, pero el término parásito se reserva para designar pequeños organismos que viven dentro (endoparásito) o sobre un ser vivo (ectoparásito) de mayor tamaño (hospedador o huésped), perjudicándolo.

Son ejemplo de esta relación las tenias, los mosquitos, garrapatas, piojos o el muérdago.



Toxocara Canis es uno de los parásitos en perros más peligrosos, se encuentra en los intestinos del 80 % de los perros y puede llegar a causar; entre otras cosas la pérdida de un ojo en los seres humano



Cymothoa Exigua, se fija con sus patas anteriores a la lengua del pez Pargo y chupa la sangre de la arteria principal esta. A medida que crece el parásito, la lengua del pez queda atrofiada y el parásito reemplaza a la lengua con su propio cuerpo. El pez es capaz de usar al parásito como si fuera su propia lengua.



Pulgas, insectos que se alimentan de sangre y son capaces de transmitir varias enfermedades a sus huéspedes, una de ellas es la tuberculosis entre animales y humanos.



Larvas de una avispa comiéndose viva a otra larva de insecto. Esta forma de parasitismo puede ser usada como método de control biológico de plagas.

e) Mutualismo y simbiosis

Es el tipo de relación en el que dos especies se benefician. En el mutualismo la relación no es obligada (especies que dispersan frutos), mientras que en la simbiosis sí (líquenes, micorrizas).



Mutualismo del pez payaso y las anémonas: ambos se prodigan protección



Mutualismo del cangrejo ermitaño con anémonas: el cangrejo traslada a la anémona y le facilita alimento a cambio de protección



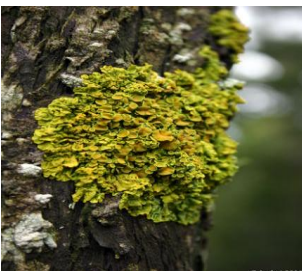
Peces desparasitadores: quitan los parásitos de otros peces y animales a la vez que consumen su alimento (los parásitos) traído por los animales que desparasitan.



Mutualismo de aves limpiadoras o desparasitadoras con animales. Caso similar al de los peces



Mutualismo de los agentes polinizantes y las plantas, éstas les proveen de néctar a cambio de que éstos dispersen el polen de sus flores.



Simbiosis alga más hongo, el resultado es el líquen.

f) **Comensalismo:** una especie se beneficia y la otra ni sale beneficiada, ni perjudicada.

Una especie, el comensal, se beneficia al alimentarse de los restos de de comida de un depredador. (Los buitres y la carroña)



Pez rémora y tiburón



Escarabajo pelotero.

Inquilinismo, variante del anterior, una especie obtiene beneficio cuando se aloja o protege en otra, que no obtiene ni ventaja, ni perjuicio. (Peces aguja en el interior de pepinos de mar, pájaros con sus nidos en los árboles).

6. RELACIONES TRÓFICAS.

Los ecosistemas son unidades de funcionamiento de la biosfera, por tanto, son sistemas. Para poder funcionar requieren energía, que procede del Sol. La energía solar sólo es captada y transformada por los organismos productores mediante la fotosíntesis. Por este motivo, los productores son el inicio de cualquier cadena trófica y de ellos dependen los demás seres vivos de un ecosistema.

Esta dependencia es una pequeña muestra de la gran organización que presentan los ecosistemas y que posibilita la transferencia de energía de unos seres vivos a otros. Esta energía se transmite a través del alimento (trofos en griego significa "alimentación").

6.1. Niveles tróficos

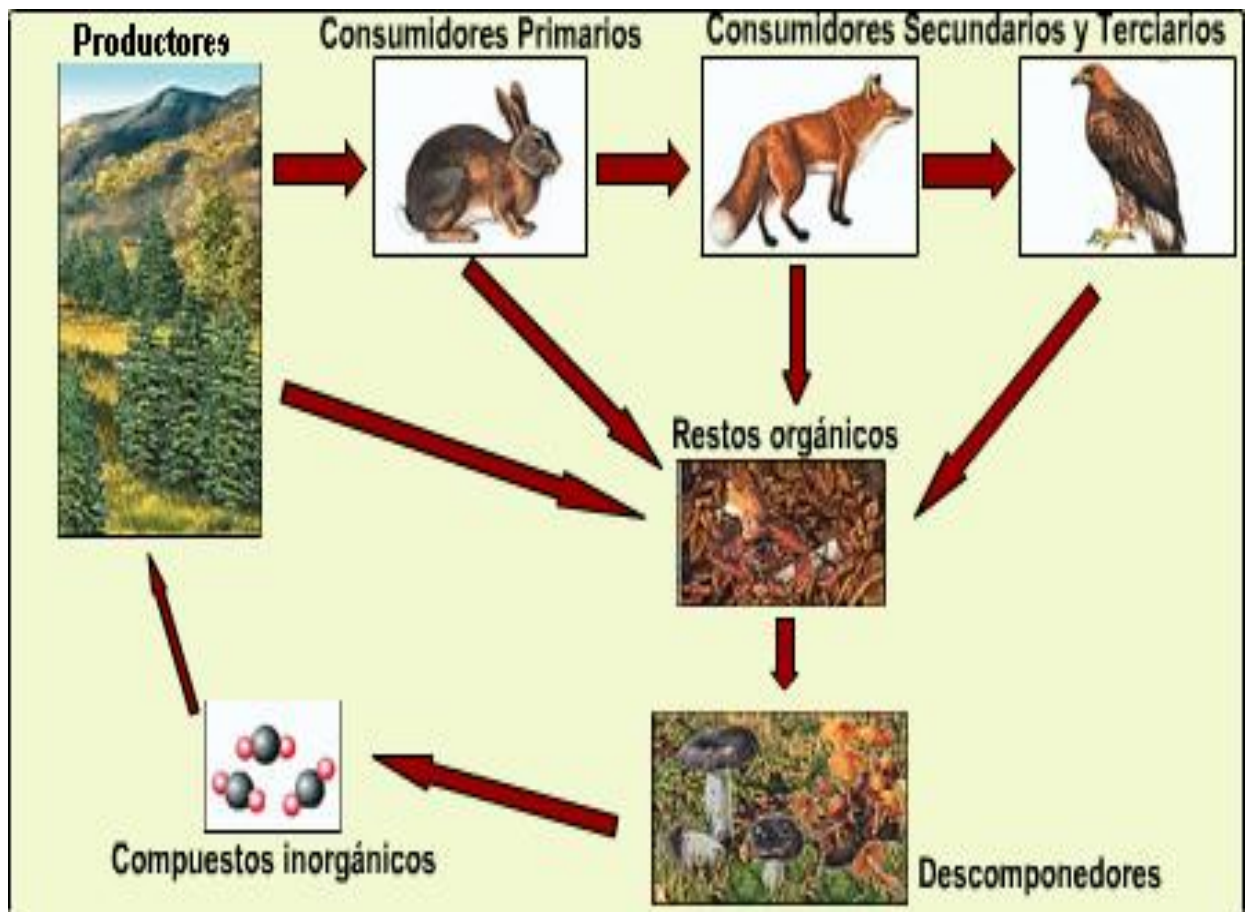
Según la forma en que los seres vivos obtienen la materia y energía, el alimento, pueden agruparse en los siguientes niveles tróficos:

- a) **Productores:** ocupado por los **organismos autótrofos** que pueden ser.
 - **Fotosintéticos:** Utilizan la energía solar para realizar la fotosíntesis y así transformar la materia inorgánica en orgánica. Son las plantas, algas y algunos grupos de bacterias.
 - **Quimiosintéticos:** utilizan la energía desprendida en reacciones químicas entre los minerales del suelo. Pertenecen a este grupo algunas especies de bacterias.
- b) **Consumidores primarios:** Son organismos heterótrofos, se alimenta directamente de los productores, se denominan herbívoros en los ecosistemas terrestres, mientras que en los acuáticos forman el zooplancton.

c) **Consumidores secundarios:** organismos que se alimentan de consumidores primarios, son animales carnívoros. En los ecosistemas puede haber supercarnívoros, que serían consumidores de tercer e incluso cuarto orden.

Los organismos de cada uno de estos niveles se alimentan de los organismos del nivel inmediatamente anterior. Pero dentro de los consumidores encontramos organismos que se alimentan de más de un nivel trófico como los **omnívoros**, los **saprófitos** o **saprófagos** que pueden ser a su vez **carroñeros** o **necrófagos** que se alimentan de cadáveres, **coprófagos** de excrementos y los **detritívoros** que consumen restos de materia orgánica muy fragmentada (como la lombriz de tierra).

Descomponedores: También llamados **transformadores**, son heterótrofos detritívoros, en este nivel se encuentran un grupo constituido por hongos y bacterias que transforman la materia orgánica en materia inorgánica cerrando el ciclo de la materia como veremos. (Recuerda que no todos los detritívoros entran en este nivel, la lombriz por ejemplo no transforma la mat. org. en inorg., tampoco entrarían los carroñeros).

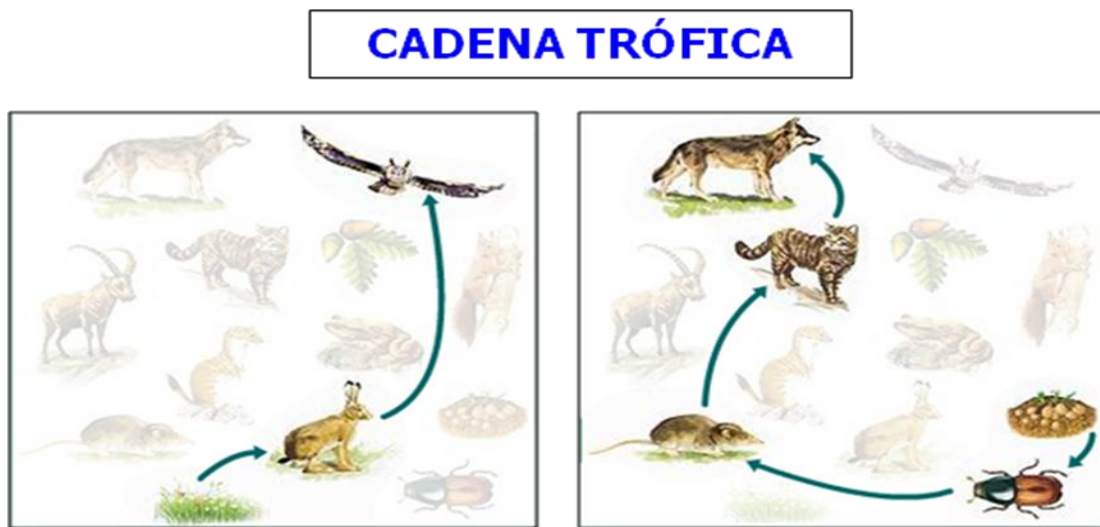


6.2. Cadenas y redes tróficas

Las transferencias de materia y energía en un ecosistema se realizan a través de relaciones tróficas o alimentarias que puedan representarse mediante modelos de cadenas y redes tróficas.

6.2.1. Cadenas tróficas

Una cadena alimentaria está constituida por diversos **niveles tróficos**. Los organismos de cada uno de estos niveles se alimentan de los organismos del nivel inmediatamente anterior.



El primer nivel o eslabón de una cadena siempre está ocupado por los **organismos autótrofos**, que se denominan **productores**, y lo forman principalmente plantas y algas, también las bacterias foto y quimiosintéticas.

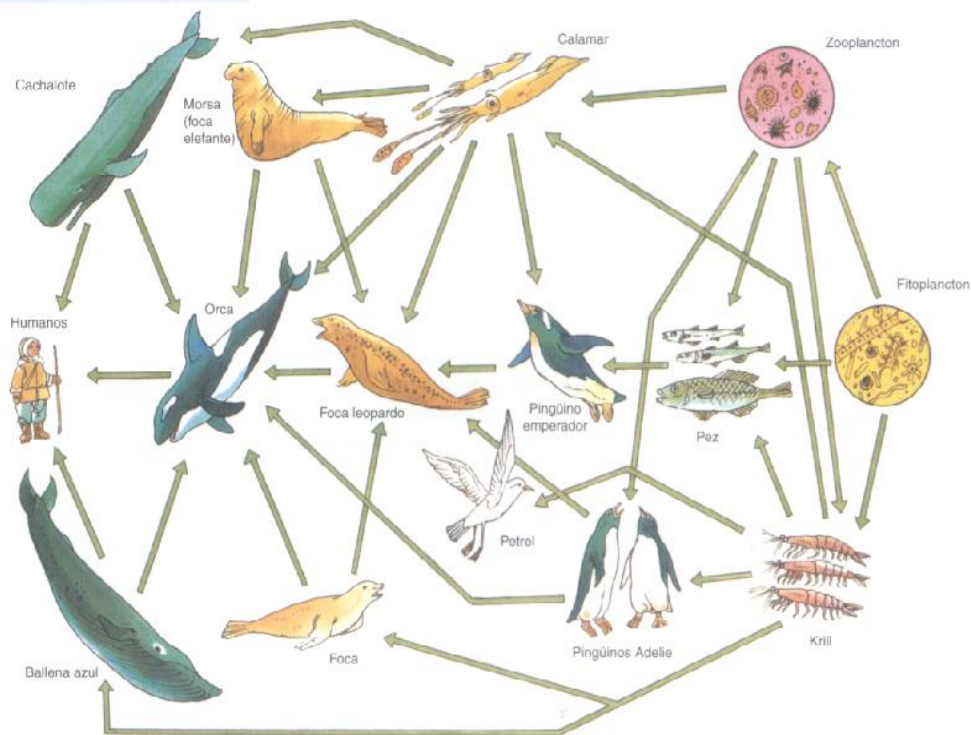
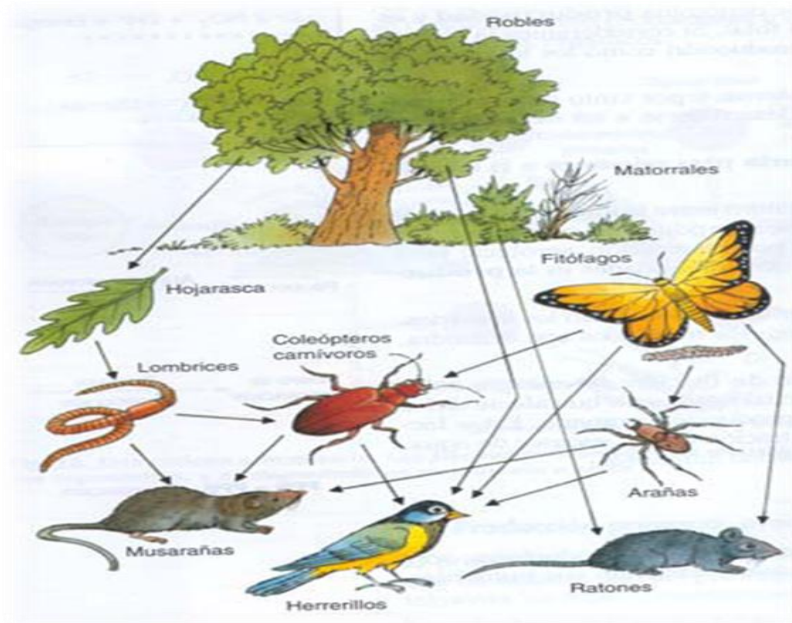
Los organismos heterótrofos se sitúan en los otros niveles o eslabones de la Cadena. Los eslabones se unen entre sí mediante flechas que significan "es comido por". (La flecha apunta al que come al anterior).

Un tipo de cadenas especiales son las detritívoras

6.2.2. Redes tróficas

Una especie de un nivel trófico normalmente se alimenta de más de una especie del nivel inferior. Por ejemplo, un pato puede alimentarse de hojas y semillas de diversas especies vegetales, así como de gusanos y caracoles. Además, cada especie puede ser fuente de alimento de diversas especies. Por esta razón, las cadenas tróficas se complementan con las otras cadenas alimentarias interconectadas, de manera que se forma una **red trófica**.

En cada nivel trófico se produce una transferencia de energía de un ser vivo a otro. Cada ser vivo utiliza esta energía para llevar a cabo las funciones vitales, con lo cual esta energía se disipa y no queda a disposición de los niveles tróficos superiores.



4.6. Red trófica de la Antártida.

7. Flujo de energía (ver fotocopia)

De toda la energía solar que llega a la Tierra, sólo una parte (entre 1- 2 %) se incorpora a la biosfera y circula a través de ella. Esta porción de energía se denomina energía **endosomática**. Los organismos fotosintéticos son los únicos seres vivos capaces de captar la energía solar y transformarla en **energía química**. Todos los organismos utilizan esta **energía química** para llevar a cabo sus funciones de crecimiento y reproducción. Al final, toda la energía se disipa en forma de calor. (**Esquema del flujo de energía**)

El resto de la energía solar que recibe la superficie terrestre no es aprovechada directamente por los seres vivos y recibe el nombre de energía **exosomática**, que es la responsable de la circulación de los vientos, las corrientes marinas, etc.

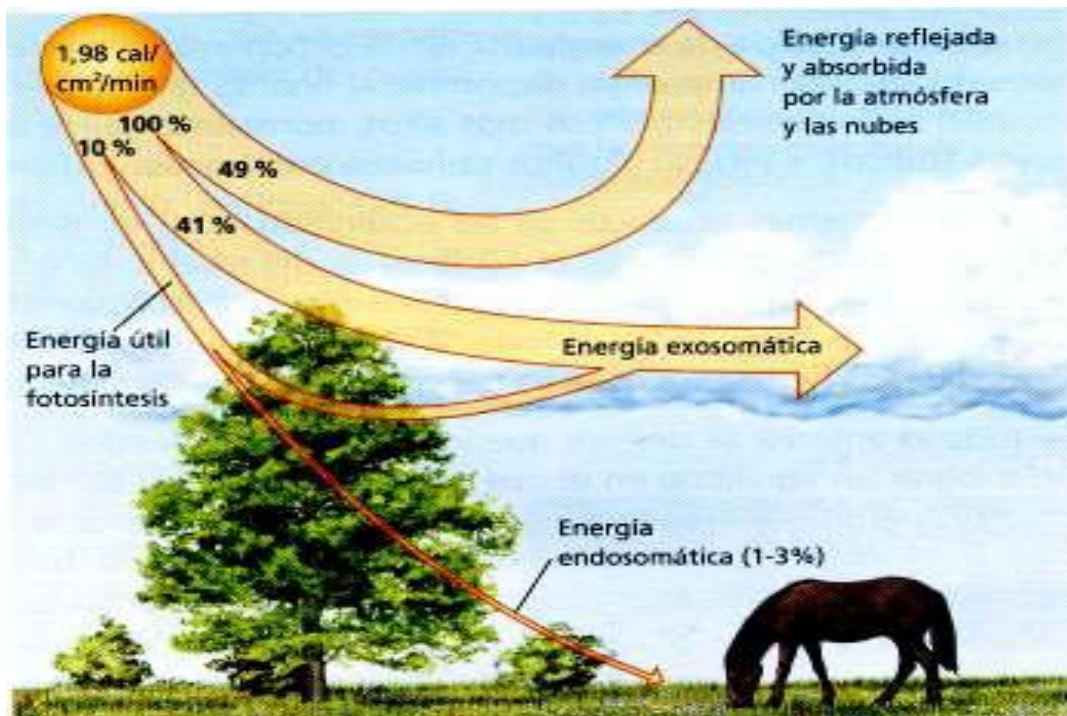
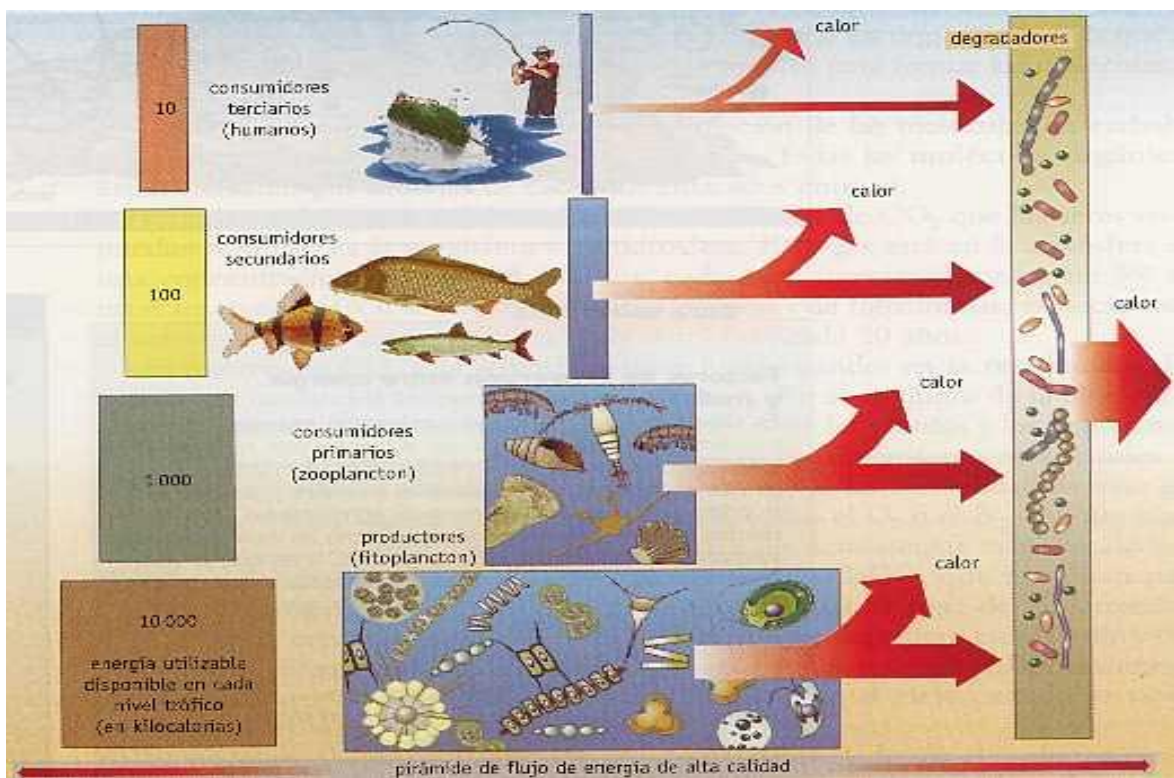
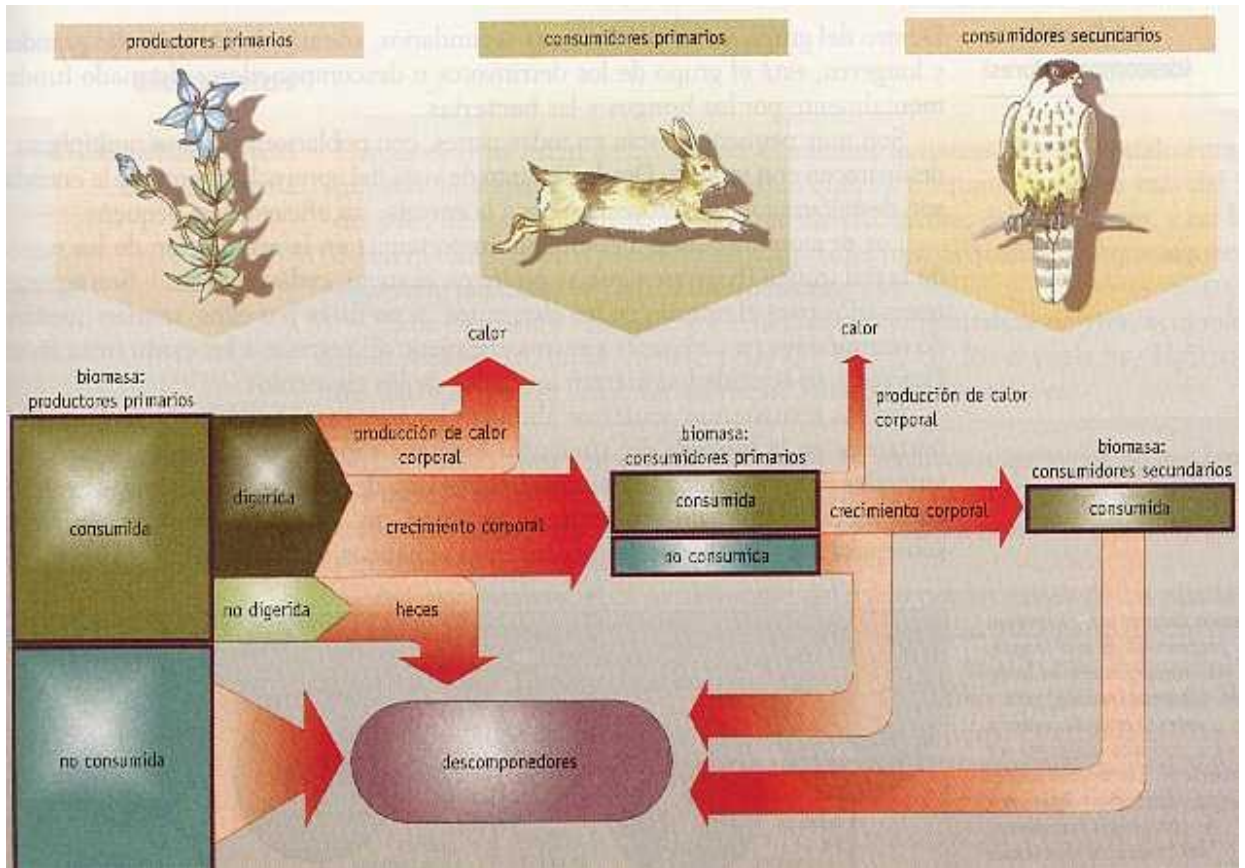


Figura 9. Radiación solar recibida por el planeta.

(Del 10% que reciben los productores solo entre el 1 o 2% lo aprovechan en la fotosíntesis).

La energía fluye desde los organismos autótrofos a los heterótrofos mediante el alimento, se consume una parte en su metabolismo y, el resto, finalmente, se disipa al medio físico. **El flujo de energía es abierto y unidireccional.**



8. Ciclo de la materia

A diferencia de la energía **el ciclo de la materia es cerrado**. La materia inorgánica es transformada en materia orgánica mediante la fotosíntesis (o quimiosíntesis) por los productores, fluye a lo largo de la cadena trófica a través del alimento y los restos orgánicos de los seres vivos vuelven a transformarse gracias a los descomponedores en materia inorgánica, que puede volver a ser aprovechada por los productores, así la materia se recicla.

Los **ciclos biogeoquímicos** son los recorridos más o menos largos que realizan los elementos químicos que forman parte de los seres vivos. Los elementos pasan de la biosfera (seres vivos a otros sistemas como la atmósfera, la litosfera o la hidrosfera, es decir, circulan entre la biocenosis hasta el biotopo).

En función del medio en el que se acumulan se clasifican en:

- Ciclos de **elementos gaseosos**, como el **nitrógeno y el carbono**. Su depósito es la atmósfera. Los elementos circulan con rapidez por los diferentes compartimentos del ciclo.
- Ciclos de **elementos sedimentarios** como el **fósforo y el azufre**. Su depósito es la corteza terrestre. Son lentos y limitan el desarrollo de los seres vivos.

8.1. Ciclo del carbono (Ver esquema fotocopia).

-El C es fundamental para los seres vivos, pues forma parte de todas sus biomoléculas orgánicas.

- El carbono se encuentra en la **atmósfera** en forma de dióxido de carbono, en la **hidrosfera**, como ión carbonato o bicarbonato y en la **litosfera** como constituyente de las rocas carbonatadas o en forma de combustible fósil, como el carbón y el petróleo.

- Gracias a la **fotosíntesis**, las plantas verdes captan el carbono a partir del dióxido de carbono atmosférico y lo integran en sus tejidos, así pasa de la atmósfera a la biosfera. Los consumidores, al alimentarse de las plantas, lo incorporan a su cuerpo. El carbono es retenido por el organismo hasta su muerte. Ocurrenda ésta, sus restos son utilizados por los descomponedores.

- La **respiración** produce dióxido de carbono que, de esa forma, vuelve a la atmósfera desde la biosfera, también mediante incendios forestales naturales.

Parte del C se encuentra en forma de rocas calizas, arrecifes calcáreos y combustibles de origen orgánico, como el petróleo, donde puede quedar retenido mucho tiempo. Las erupciones volcánicas que afectan a rocas calizas devuelve el CO_2 a la atmósfera. La combustión del carbón y del pe-

tróleo, **intervención antrópica**, junto con los incendios forestales provocados, producen un aumento en el dióxido de carbono atmosférico.

La intervención antrópica en el ciclo produce un aumento de CO₂ atmosférico, incrementando el efecto invernadero y por tanto favoreciendo el cambio climático global.

8.2. Ciclo del Nitrógeno (ver esquema fotocopia).

- Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas fundamentales del metabolismo.

- Su reserva fundamental es la atmósfera, en donde se encuentra en forma de N₂, pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos.

- Algunas bacterias y cianobacterias, también algunos hongos, convierten el N₂ atmosférico en otras formas químicas (nitritos y nitratos) asimilables por las plantas (**fijación biológica del nitrógeno**).

Una de estas bacterias (*Rhizobium*) se aloja en simbiosis en nódulos de las raíces de las leguminosas (alfalfa, girasol, etc.) por lo que estas plantas producen un abonado natural de los suelos. Otra de estas bacterias es *azotobacter*, que vive libre en el suelo.

- El amonio (NH₄⁺) y el nitrato (NO₃⁻) lo pueden tomar las plantas por las raíces y usarlo en su metabolismo. Usan esos átomos de N para la síntesis de las proteínas y ácidos nucleicos. Los animales obtienen su nitrógeno al comer a las plantas o a otros animales, es decir, a través de la cadena trófica.

- En el metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales acaba formándose ión amonio que es muy tóxico y debe ser eliminado. Esta eliminación se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), o en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra y allí los descomponedores los transforman primero en amoniaco y posteriormente en nitritos y nitratos, proceso **de nitrificación**, que pueden ser tomados de nuevo por las plantas.

- Hay otras bacterias que producen **desnitrificación**, convirtiendo los compuestos de N en N₂, lo que hace que se pierda de nuevo nitrógeno del ecosistema a la atmósfera.

El N puede ser fijado desde la atmósfera a la geosfera mediante tormentas eléctricas.

El N suele ser un **factor limitante** de la productividad de muchos ecosistemas. Tradicionalmente se han abonado los suelos con nitratos para mejorar los rendimientos agrícolas. Durante muchos años se usaron productos naturales ricos en nitrógeno como el guano (excremento de aves)

o el nitrato de Chile. Desde que se consiguió la síntesis artificial de amoníaco fue posible fabricar abonos nitrogenados que se emplean actualmente en grandes cantidades en la agricultura que pueden producir **eutrofización**. (Intervención antrópica en el ciclo, recuerda que el abonado excesivo tb desprende a la atmósfera N_2O responsable del E.I. y produce a la larga una pérdida de fertilidad en el suelo. Además debemos tener en cuenta que los combustibles fósiles emiten tb NO_x que serán responsables de la lluvia ácida).

8.3. Ciclo del fósforo

- Forma parte de muchas moléculas orgánicas (ADN). Su reserva fundamental en la naturaleza es la **corteza terrestre**. Por meteorización de las rocas o por las cenizas volcánicas, es liberado y queda disponible para pasar a la biosfera ya que lo pueden tomar las plantas, pasa a través de la cadena trófica, los restos de materia orgánica y huesos, por los descomponedores originan fosfatos que pueden ser tomados nuevamente por las plantas. Con facilidad es arrastrado por las aguas y llega al mar. Parte del que es arrastrado sedimenta al fondo del mar y forma rocas fosfatadas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo.
- Otra parte es absorbido por el plancton que, a su vez, es comido por organismos filtradores de plancton, como algunas especies de peces. Cuando estos peces son comidos por aves que tienen sus nidos en tierra, devuelven parte del fósforo en las heces (guano, utilizado como abono) a tierra.
- Es el principal **factor limitante** en los ecosistemas acuáticos y en los lugares en los que las corrientes marinas suben del fondo, arrastrando fósforo del que se ha ido sedimentando, el plancton prolifera en la superficie. Al haber tanto alimento se multiplican los bancos de peces, formándose las grandes pesquerías en las costas occidentales de África, América del Sur y otras.
- Con los compuestos de fósforo que se recogen directamente de los grandes depósitos acumulados (guano y minas), en algunos lugares de la tierra se abonan los terrenos de cultivo, a veces en cantidades desmesuradas, originándose problemas de **eutrofización**, tb causa este problema su utilización para fabricar detergentes. (Intervención antrópica).

8.4. Ciclo del azufre

Es menos importante que los otros elementos que hemos visto, pero imprescindible porque forma parte de las proteínas.

Su reserva fundamental es la corteza terrestre y es usado por los seres vivos en pequeñas cantidades. La actividad industrial del hombre está provocando exceso de emisiones de gases sulfurosos a la atmósfera y ocasionando problemas como la **lluvia ácida**.

9. Parámetros tróficos:

9.1. Principales parámetros tróficos: Biomasa, Producción y Productividad

- **Biomasa:** Es la masa de la biocenosis medida por unidad de superficie o de volumen. Se define como la masa, en seco, de la materia orgánica (peso de C orgánico) de cualquier nivel trófico o de todo el ecosistema. Se mide en unidades de masa o energía (ya que representa la E acumulada en la materia orgánica) por unidad de superficie o volumen. (mg/m^3 ; Kg/ha ; Kcal/cm^2 etc.)

- **Producción:** Es la cantidad de energía que fluye por cada nivel trófico. Se mide por el aumento de la biomasa en un tiempo determinado (la biomasa, energía, fijada por unidad de tiempo). Representa la cantidad de **biomasa (energía) disponible** por unidad de tiempo que puede ser utilizada por el siguiente nivel trófico. Se expresa en $\text{g}/\text{m}^2.\text{día}$, $\text{Kcal}/\text{m}^2.\text{año}$,...

Se puede cuantificar de dos formas:

Producción primaria: es la energía fijada (aumento de biomasa) por los organismos autótrofos por unidad de tiempo.

Producción secundaria: Aumento de biomasa por unidad de tiempo en descomponedores y consumidores.

En los dos casos hay que diferenciar entre:

Producción bruta (PB): es la cantidad total de biomasa **fijada** por unidad de tiempo. En el caso de los productores (Producción primaria bruta) representa el total fotosintetizado por unidad de tiempo, en consumidores sería el alimento asimilado del total consumido.

Producción neta (PN): es la biomasa **almacenada** en cada nivel trófico por unidad de tiempo y que puede ser potencialmente transferida al siguiente nivel trófico. Se obtiene restando a la producción bruta la energía consumida en la respiración (R) (el mantenimiento, metabolismo).

$$\text{PN} = \text{PB} - \text{R}$$

- **Regla del 10%.** La energía que pasa de un eslabón a otro es aproximadamente el 10% de la acumulada en él.

- **Producción neta del ecosistema:** incremento de biomasa que se acumula en el ecosistema en un período determinado.

Permite conocer el grado de madurez de un ecosistema. Se calcula restando la respiración total a la producción bruta. Es igual a la energía que fijan los productores (biomasa producida por la fotosíntesis) menos la que utilizan en la respiración, tanto ellos como los consumidores y descomponedores.

$$PNE = PPB - R \text{ total}$$

Pueden darse tres situaciones:

. **Ecosistema en equilibrio o maduro** la materia que nace es igual a la que muere, siendo la producción bruta similar a la respiración total; en ese caso, la producción neta del ecosistema será igual o muy próxima a cero ($PNE = 0$).

. **Ecosistema joven** la producción bruta es mayor que la respiración. La producción total es positiva ($PNE > 0$). Ello ocurre en ecosistemas jóvenes, en evolución, en los que tiene lugar un incremento de biomasa.

. **Ecosistemas contaminados o en regresión.** Sufren una explotación excesiva, la producción total será negativa ($PNE < 0$), ya que la respiración será mayor que la producción.

- **Productividad.** Es la relación entre la producción y la biomasa. Representa la velocidad con que se renueva la biomasa. Permite conocer los límites de la explotación. Da una visión de la velocidad que tarda en renovarse la biomasa., por lo que recibe el nombre de **tasa de renovación (r)**.

$$p = P/B \qquad pN = r = PN/B$$

La tasa de renovación varía entre 0 y 1, e indica la producción de nueva biomasa en cada nivel trófico en relación con la existente.

En un cultivo agrícola la tasa de renovación sería próxima a 1.

En un pastizal sería entre 0 y 1.

En un bosque maduro sería cercana al 0.

Un pastizal tiene una estructura muy simple, el tiempo de permanencia de la biomasa es breve y su productividad es alta.

Cuando un ecosistema es estable y muy organizado, hay una gran cantidad de biomasa y una gran biodiversidad, pero su productividad es baja y disminuye el flujo de energía: entra mucha energía pero se gasta porque hay una gran cantidad de biomasa.

La selva tropical tiene una producción muy alta pero una productividad cercana al 0.

En las explotaciones agrícolas, el ser humano extrae del ecosistema una gran parte o la totalidad de la biomasa al final de la temporada. Esto disminuye los gastos por respiración y un aumento de la productividad. Sin embargo debe reponerse al suelo la materia extraída.

- **Tiempo de renovación.** Es la relación inversa a la productividad. Es el tiempo que tarde un nivel trófico o un ecosistema en renovar su biomasa. Se mide en días, años...

- Eficiencia

De la cantidad total de energía lumínica que llega a la biosfera, los productores utilizan únicamente un 1-2%, que es el rendimiento promedio de la fotosíntesis. El término **eficiencia** se usa para indicar el porcentaje de esta energía que pasa a los niveles tróficos superiores.

La producción primaria neta de la vegetación terrestre es menos del 50 por 100 de la bruta. En cuanto a la producción secundaria, los valores de eficiencia son aún menores: como término medio sólo el 10% por 100 de la energía disponible en un nivel trófico pasa al nivel siguiente. En el caso de los herbívoros el porcentaje de energía obtenida de la vegetación es aún menor, pues la materia vegetal contiene muchas partes de difícil aprovechamiento o digestión.

9.2. Factores limitantes de la producción primaria

A) LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD

Ambos suelen ir relacionados. Cuando se producen cambios importantes disminuye la fotosíntesis y por tanto la producción primaria.

Al aumentar mucho la temperatura se desnaturalizan enzimas fotosintéticas y el aumento de la temperatura también favorece la FOTORRESPIRACIÓN.

En la fotosíntesis hay dos rutas metabólicas dependiendo de la concentración de O_2 y de CO_2 en el interior de la célula, si es la normal, se produce la fotosíntesis, si aumenta la concentración de O_2 y/o disminuye la de CO_2 se produce la FOTORRESPIRACIÓN, de manera que en lugar de consumirse CO_2 y producirse glucosa que sería lo normal en la fotosíntesis, se consume O_2 y se produce CO_2 , tampoco se produce glucosa.

En las **plantas C3**, (trigo, arroz, patata,...), típicas de climas húmedos, al aumentar la temperatura, actúan CERRANDO SUS ESTOMAS, para evitar la pérdida de agua.

La fotosíntesis continúa por lo que aumenta el O_2 en el interior de la célula y descienden los niveles de CO_2 hasta en un 50%, el resultado es que la ruta se desvía hacia la fotorrespiración y fotosíntesis es menos eficiente.

(Disminuye la productividad).

Las **plantas C4**, (maíz, caña de azúcar,...), típicas de climas secos y calurosos, tienen una vía metabólica alternativa para fijar CO_2 atmosférico, de esta manera puede continuar la fotosíntesis. Mayor productividad y mayor interés agrario.

Además algunas de estas plantas además de ser C4 son también CAM (Crasulaceam acid metabolism), son los cactus, las crasuláceas; esto les permite fijar el CO_2 por la noche y lo incorporan a la fotosíntesis con los estomas cerrados durante el día, evitando la pérdida de agua.

B) LA LUZ COMO FACTOR LIMITANTE

Al aumentar la intensidad luminosa, si los demás factores no actúan como limitantes, la actividad fotosintética se incrementa, pero llega un momento en que la fotosíntesis deja de aumentar aunque lo haga la intensidad luminosa. Esto ocurre por dos motivos:

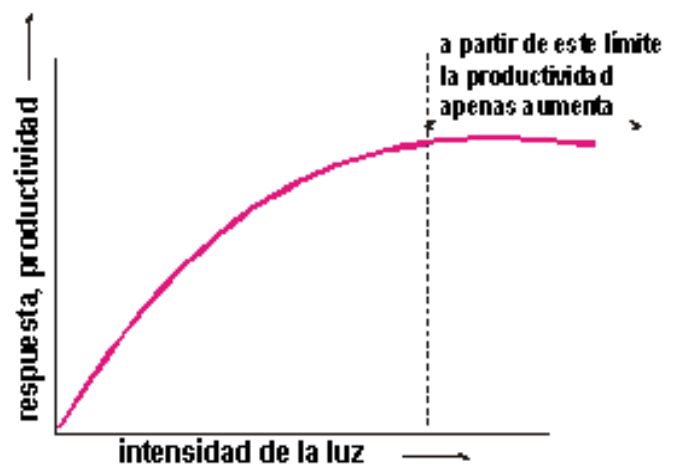
1.- la disposición de las unidades fotosintéticas en los cloroplastos:

Los cloroplastos se sitúan unos sobre otros por lo que se dan sombra. Igual ocurre con las hojas de los árboles que se sombrean unas a otras.

2.- la estructura de las unidades fotosintéticas: (ejem. Cuello botella).

El número de moléculas captadoras de energía es muy superior a las encargadas de la transformación en energía química. (300 a 1). Por lo que se produce una saturación. Según esto las plantas tienen un rendimiento máximo con relativamente poca intensidad luminosa, en las primeras y últimas horas del día. La evolución no ha conseguido la máxima conversión de energía, sino solo la suficiente para el mantenimiento de los ecosistemas.

Por lo que los cultivos no pueden hacerse más rentables aunque se les añadan más abonos, plaguicidas, ...



Por lo que los cultivos no pueden hacerse más rentables aunque se les añadan más abonos, plaguicidas, ...

C) LOS NUTRIENTES COMO FACTORES LIMITANTES.

El CO_2 es un gas muy abundante en la atmósfera y en el agua, por lo que no suele ser un factor limitante.

El Nitrógeno gracias a los organismos fijadores de Nitrógeno, tampoco suele ser un factor limitante. (Se le considera el 2º después del P). Sin embargo el Fósforo suele ser un importante factor limitante en el mar, ya que aunque es abundante, se encuentra en lugares poco accesibles para los vegetales, normalmente los fondos marinos, en donde se encuentran los organismos mineralizadores.

El problema se soluciona en parte gracias a la **ENERGÍA EXOSOMÁTICA**, que provoca las corrientes marinas, devolviendo los nutrientes, (P), a las zonas marinas superficiales (**ZONAS DE AFLORAMIENTO**).

También pueden llegar a las plataformas continentales gracias a las mareas y olas o a través de los depósitos de los ríos.

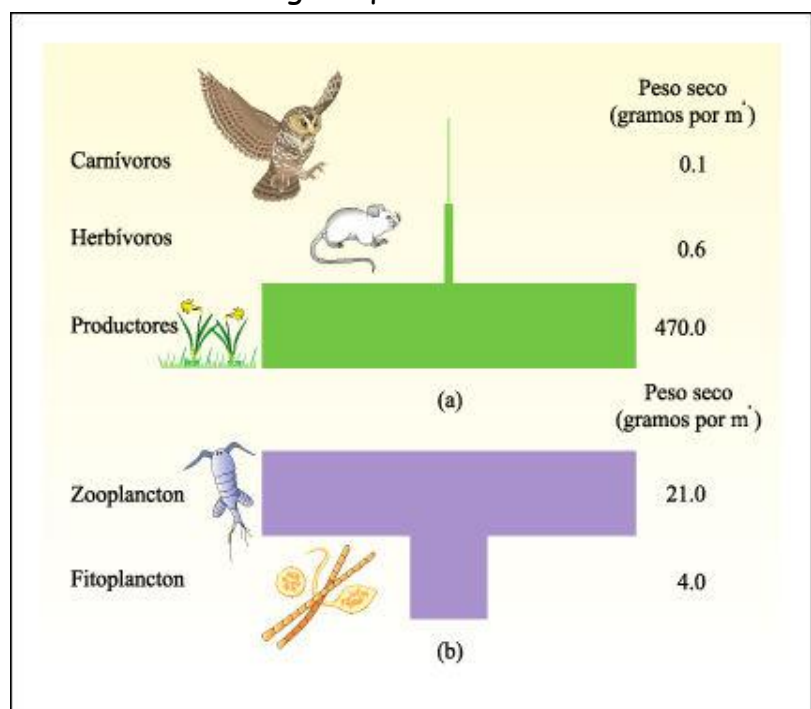
En los ecosistemas terrestres el Fósforo está más cercano pero en muchas ocasiones debido a la explotación intensiva de un terreno o al lixiviado, el suelo se empobrece y hay que recurrir al ser humano para que extraiga el Fósforo de sus depósitos naturales y los devuelva al terreno en forma de abono.

Otra forma de recuperar el Fósforo es a través de los excrementos de aves acuáticas, que son muy ricos en minerales ya que se alimentan de pescado. (**GUANO**).

9.3. Pirámides ecológicas

Son representaciones gráficas que muestran cómo varían algunas características de los niveles tróficos, como el número de individuos, la biomasa, o la energía, al pasar de unos niveles a otros. Cada nivel trófico se representa en un rectángulo cuya área es proporcional al valor del parámetro ecológico representado. El rectángulo que forma la base de la pirámide corresponde a los productores, sobre él, de forma ordenada, se disponen los otros niveles. Hay tres tipos de pirámides:

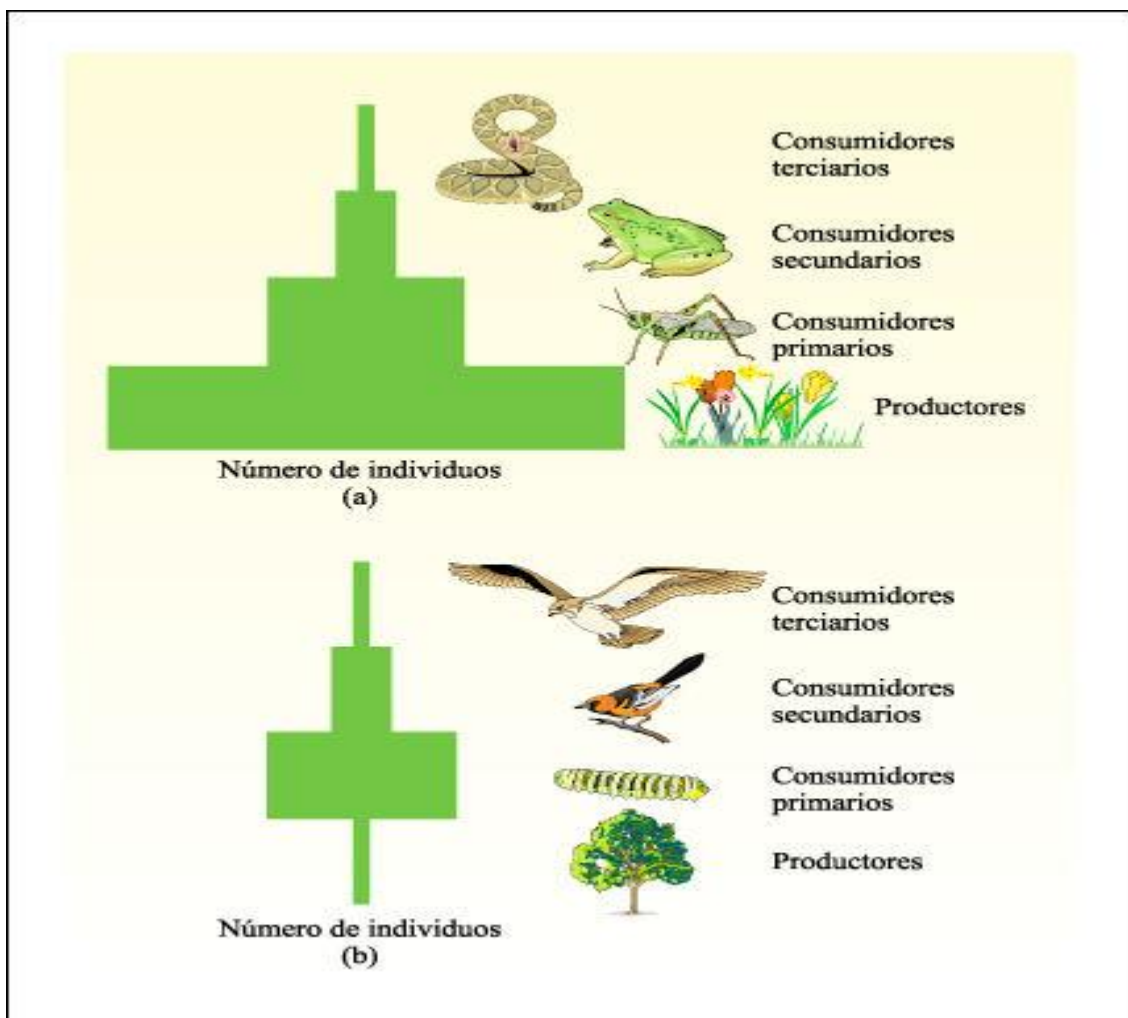
Las **pirámides de biomasa** representan la masa total de los seres vivos que existe en cada nivel trófico. Existen casos en que estas pirámides pueden estar invertidas: en un



ecosistema acuático, donde la tasa de renovación del fitoplancton sea muy elevada, puede ocurrir que, en cierto instante, la biomasa del mismo sea muy inferior a la del zooplancton, tras haber sido comido por este último. Sin embargo, poco tiempo después, el fitoplancton se regenera y sirve de nuevo de sustento al zooplancton. Las pirámides terrestres nunca podrán ser invertidas.

(En el dibujo no se ve bien la unidad, es g/m^2).

Las **pirámides de números** son menos significativas, ya que no tienen en cuenta el tamaño de los organismos. Representan el número de individuos de cada nivel trófico. En muchos casos están invertidas, como ocurre con un árbol, que sustenta a muchas aves, insectos, mamíferos, etc.



Las **pirámides de energía o de producción** indican la cantidad de energía que existe en un nivel trófico y la que pasa al nivel siguiente. Esta pirámide

no puede invertirse en ningún caso, ya que la energía que posee un nivel que sustenta a otro superior siempre es mayor.

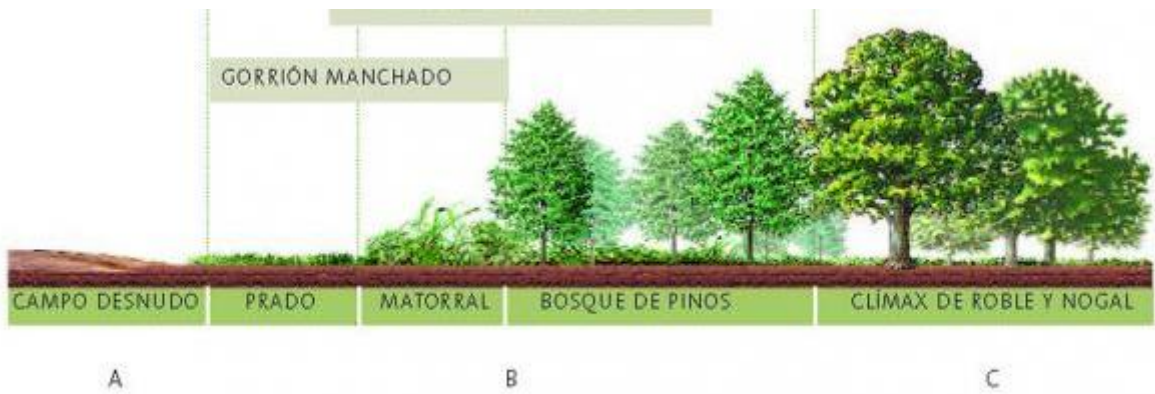


10. Sucesión ecológica

- **La sucesión ecológica.** Son los cambios producidos en un ecosistema a lo largo del tiempo. A lo largo de la sucesión, la biocenosis que está instalada en un biotopo es sustituida por otras cada vez más diversas y complejas, hasta que se alcanza una organización muy estable, y que prácticamente no varía, llamada **comunidad clímax**.

- Las sucesiones comienzan con **especies pioneras u oportunistas** (estrategas de la r) que con el tiempo serán sustituidas por **estrategas de la K**.

- Se habla de **sucesión primaria** cuando el lugar donde se desarrolla el ecosistema es "virgen", es decir, no estuvo ocupado con anterioridad por una comunidad (Isla volcánica, dunas, aluviones etc.).



Por el contrario, una **sucesión secundaria** se establece cuando la comunidad preexistente ha desaparecido tras una catástrofe, por ejemplo, tras un incendio.



- Denominamos **sere** o **serie** a la sucesión de comunidades que se sustituyen una a otra en determinada área. Cada una de las comunidades que se suceden en una serie recibe el nombre de **etapa seral**.

10.1. Características de la sucesión

- **Aumento de la biomasa** del ecosistema.
- **Aumento de la diversidad** (aumenta el número de especies) y se estabiliza el número de individuos de las poblaciones.
- **Disminución de la producción neta**, que llega prácticamente a cero en los ecosistemas climáticos, (ej. Selva tropical), ya que toda la biomasa producida se utiliza en la respiración (mantenimiento) de la biocenosis. Según esto, en un ecosistema joven (1^{as} etapas de la sucesión) la producción neta es mayor que cero y aumenta la biomasa, mientras que en los ecosistemas maduros (últimas etapas de la sucesión) la producción está próxima a cero.
- **Aumenta la estabilidad**. Las relaciones entre las especies de la biocenosis son muy fuertes, estas interrelaciones aumentan el equilibrio del ecosistema.
- **Cambio de unas especies por otras**. Las especies pioneras u oportunistas (estrategas de la r), son sustituidas por especies especialistas (estrategas de la K).
- **Aumento en el número de nichos ecológicos**. El nº de nichos aumenta, al ser desplazadas las especies r por las k, que se especializan, ocupando cada una su nicho.

10.2. Regresión

Se llama **regresión ecológica** a las alteraciones que modifican las etapas naturales de una sucesión ecológica, el ecosistema se hace más inmaduro y pierde biodiversidad. La regresión da lugar al inicio de una sucesión secundaria.

Algunas regresiones provocadas por el hombre son: la deforestación, los incendios forestales o la introducción de nuevas especies.