

Tema 48. El ecosistema en acción. Estructura, funcionamiento y autorregulación del ecosistema.

2º ESO. Bloque III. 7-8
4º E.S.O. Bloque III, Temas 7 y 8.
2º Bachillerato. Ciencias de la Tierra y del Medioambiente. Bloque 7: La Ecosfera

48.1. El ecosistema. Conceptos fundamentales

48.2. Los factores abióticos del ecosistema

48.2.1. Factores climatológicos terrestres

48.2.2. Factores climáticos secundarios

48.2.3. Factores edáficos

48.2.4. Factores del medio acuático

48.3. Estructura trófica de un ecosistema

48.4. Flujo de energía en el ecosistema

48.4.1. La producción de los ecosistemas

48.4.2. Pirámides ecológicas

48.5. Flujo de materia en el ecosistema. Ciclos Biogeoquímicos

48.5.1. Ciclo del Carbono

48.5.2. Ciclo del Nitrógeno

48.5.3. Ciclo del Azufre

8.5.4. Ciclo del Fósforo

48.1. El ecosistema. Conceptos fundamentales

La ecología, aunque presente en los escritos de clásicos como Hipócrates, Aristóteles u otros filósofos de la época, no se define hasta la segunda mitad del siglo XIX por E. Haeckel, padre de la embriología, que acuña el término. Antes hubo algunas aportaciones aisladas, como la Leeuwenhoek, a principios del siglo XVIII, definiendo las cadenas tróficas.

Es a principios del siglo XX cuando esta rama científica se estructura como un cuerpo de doctrina, y desde 1960 se ha ido integrando en el vocabulario general, siendo actualmente una de las que despiertan más sensibilidad en la sociedad.

Podríamos definir la ecología, actualmente, como el estudio de las interacciones de los diferentes organismos entre sí y con su ambiente físico; el objetivo científico de la misma es descubrir cómo y en qué medida un organismo afecta a su medio ambiente y es afectado por éste, definiendo, además, cómo estas interacciones determinan las diferencias cualitativas y cuantitativas de los organismos existentes en un determinado lugar y momento.

Dentro de la ecología, clásicamente se presentan dos subdivisiones, que, al igual que en cualquier otra rama de la ciencia, facilitan el estudio de la misma:

Autoecología. Tiene como objeto el estudio de las relaciones de una sola especie con su medio. En este caso, el objeto de estudio es algún organismo particular, con el propósito de indagar cómo se adapta a los factores ambientales físicos (luz, t° , etc.) en lo que se refiere a sus ciclos reproductores y a su comportamiento individual. El apartado siguiente del tema tiene este enfoque.

Sinecología. Se ocupa de analizar las relaciones entre individuos pertenecientes a distintas especies, así como entre éstas y su entorno (este tema y el siguiente tienen este enfoque). Es mucho más compleja que la anterior, dado el nº considerable de interacciones posibles y el desconocimiento de variables que puedan afectar a dichas interacciones. Podemos hablar de ecología de poblaciones (tema 47) y ecología de los ecosistemas (este tema).

Dentro de la Sinecología pueden adoptarse dos puntos de vista: uno descriptivo o estructural y otro dinámico o funcional, en el que se considera la evolución temporal de los sistemas y el flujo de energía a través de los mismos.

Existen otros posibles enfoques basándose en la naturaleza del medio, por ejemplo, ecología marina, de agua dulce y terrestre. O bien, en un criterio taxonómico, por ejemplo, ecología microbiana, ecología vegetal, ecología de insectos, etc.

Entre los conceptos ecológicos más frecuentes que se manejan están los de:

Ecosistema. Es la unidad funcional en ecología, entendiendo como tal el conjunto formado por el ambiente no vivo y los organismos vivos que ocupan un área determinada. Ej., un lago, un bosque, una charca, etc. Los ecosistemas se clasifican en tres grandes grupos según su extensión:

Macroecosistemas. Son los que tienen una extensión suficiente para funcionar de manera independiente. Se corresponde con los grandes biomas terrestres, y ocupan regiones continentales.

Mesoecosistemas. Están relacionados en su funcionamiento con ecosistemas próximos, y pueden considerarse subsistemas dentro de los grandes biomas. El tamaño puede ir del ámbito regional al local. Ej., lagos, bosque, etc.

Microecosistemas. Están incluidos en los anteriores, de los que a su vez dependen. Como ejemplo pueden señalarse los organismos que colonizan la superficie de una roca, un tronco muerto, etc.

Biocenosis o comunidad. Se utilizan indistintamente. Es el conjunto de organismos presentes en un ecosistema. Existen poblaciones mayoritarias que pueden ser tanto animales como vegetales.

Biotopo. Se entiende por tal la parte física de un ecosistema. Una playa arenosa, un desierto, un arroyo de montañas, por ejemplo. Sus dimensiones pueden variar en los distintos casos.

Hábitat. Es el conjunto de biotopos en los que un organismo dado puede vivir en función de su adaptación al mismo.

Nicho ecológico. Este concepto surge como consecuencia del efecto producido por la competencia. Es el espacio ecológico ocupado por cada población de un ecosistema.

El Nicho potencial (ideal o fisiológico) es aquel que cumplirá los requisitos máximos exigidos por una determinada especie. Resultaría prácticamente imposible alcanzarlo en los ambientes naturales, ya que es muy teórico, aunque podría conseguirse en condiciones de laboratorio (los animales criados en cautividad tienen mayor peso y talla que los salvajes).

Nicho ecológico (real) es el ocupado por una especie en condiciones naturales. En la naturaleza, la competencia hace que dichas especies pierdan parte o la totalidad de su nicho cuando existe solapamiento (superposición) del mismo entre unas y otras. La ganadora será siempre la mejor adaptada a él, la más especialista.

Se llaman **especies vicarias** a las que ocupan el mismo nicho ecológico y tiene un hábitat similar, pero en regiones alejadas geográficamente. Pueden ser tanto especies taxonómicamente próximas, como pertenecer a grupos muy diferentes.

El estudio del ecosistema comprende, por lo tanto, tanto el estudio de la Biocenosis como el del Biotopo.

48.2. Los factores abióticos del ecosistema

Los factores abióticos son aquellas características físicas y químicas del medio ambiente susceptibles de variar a lo largo del tiempo y que influyen en los organismos vivos, provocando en ellos respuestas diversas (reparto geográfico de las especies, natalidad, mortalidad, migraciones, etc.). Son ejemplo de estos factores la t° , la presión, la salinidad, los nutrientes, etc.

Los factores abióticos son determinantes en la distribución y abundancia de los seres vivos, ya que éstos sólo pueden soportarlos dentro de ciertos límites. Existe un margen de **tolerancia** por encima o por debajo del cual una especie no puede sobrevivir. Cuando un aspecto determinado del medio alcanza valores más allá del límite de tolerancia de una especie, actúa entonces como **factor limitante** para la supervivencia de esa especie.

Esta idea surge en el estudio de la nutrición mineral de las plantas y es expuesta por V. Liebig de forma simple en el sentido siguiente: "una planta no conseguirá sobrevivir si, aún teniendo a su disposición todos los bioelementos necesarios, carece de uno de ellos en las condiciones adecuadas". Aunque muchos organismos tienen amplios límites de tolerancia, siempre demuestran preferencia por unos márgenes de condiciones medioambientales más estrechos, pues es dentro de ellos donde cada especie halla las condiciones óptimas para la realización de sus funciones biológicas (reproducción y crecimiento). Los seres vivos tienden a colonizar aquellos ambientes cuyas condiciones abióticas estén próximas al óptimo, quedando eliminados de aquellos otros en donde los valores extremos sean letales o subóptimos. A pesar de esto, cuando determinadas condiciones del medio, principalmente las climáticas, experimentan una variación lenta, los organismos son capaces de irse adaptando a ellas (**aclimatación**). Ésta ha permitido la introducción artificial, en diferentes regiones, de plantas y animales originarios de otros continentes y zonas climáticas distintas.

Con el estudio de la respuesta de las diferentes especies a los cambios de su entorno, ha surgido el concepto de **valencia ecológica**, que se define como la capacidad de una especie para habitar diferentes medios, sometidos a modificaciones más o menos grandes de sus factores ecológicos. De esta forma, existen especies con valencia ecológica alta o eurioicas, que son aquellas que admiten amplios márgenes de variación en su ambiente, y otras con valencia pequeña o estenoicas, que son las que sólo soportan cambios pequeños. Obviamente, hay un amplio rango de organismos con características intermedias entre estos dos extremos, así como que, un organismo puede ser eurioico para determinados factores y estenoico para otros.

Todas las especies con una amplia distribución geográfica y que, al mismo tiempo, pueden encontrarse en medios muy diferentes, el hombre entre ellas, son eurioicas.

En los factores ecológicos podemos diferenciar factores abióticos climáticos y no climáticos (hidrológicos y edáficos) exclusivamente, aunque algunos autores, principalmente franceses, consideran también la existencia de factores bióticos, al incluir las interacciones entre organismos; sin embargo, nosotros consideramos estudiar estos agentes (interacciones intra e interespecíficas) en el tema 47.

48.2.1. Factores climatológicos terrestres

Son dignos de especial mención aquellos factores cuyos valores configuran el **clima**. Los principales son la t^a , la humedad y la luz, aunque también deben considerarse otros secundarios como la presión atmosférica y los vientos.

El clima en nuestro planeta, si no referimos a grandes zonas, está condicionado por la latitud y por la distribución de tierras y mares. La latitud es, en una primera aproximación, el principal condicionante de la t^a y de la iluminación. La humedad se ve más afectada por la distribución de tierras y mares y por los vientos. El clima así entendido se llama **macroclima** o clima regional.

Dentro de una cualquiera de estas regiones hay diferentes tipos de climas denominados **mesoclimas**. Así, en la región mediterránea, el clima es diferente al pie de una montaña que en su cima, o a la solana o a la umbría.

En Ecología tienen mucha importancia los microclimas, restringidos a zonas muy pequeñas. El microclima que hay debajo de una piedra es distinto del que existe al aire libre a unos pocos cm de distancia. Ello hace que los organismos que habitan en uno y otro ambiente sean también muy diferentes.

TEMPERATURA

Es un factor clave para los seres vivos. La oscilación en el medio aéreo es grande, tanto a lo largo del día como en las diferentes estaciones, a causa de las coordenadas del punto considerado.

En el desierto se pueden dar diferencias entre el día y la noche de hasta 40 °C, durante el día pueden alcanzarse los 70 °C. Las diferencias estacionales pueden ser enormes, sobre todas en zonas del interior, alejadas de la costa (en los climas continentales extremos las diferencias de t^a entre el verano y el invierno pueden ser de 60 °C). Las plantas resisten mejor que los animales las t^a extremas. La flora alpina soporta hasta -30 °C y las plantas de los desiertos hasta 60 °C.

Existe una regla que relaciona la latitud y la altitud de forma bastante precisa: ascender 1000 m equivale a desplazarse 100 km en latitud. Por ese motivo, nosotros podemos encontrar en nuestra geografía puntos que en función de su altitud ofrecen un gran parecido tanto en flora como en fauna con regiones mucho más al norte que nuestro país.

La temperatura si puede ser un factor limitante para los seres vivos. Para la mayoría, estos límites se presentan entre -18 °C y 50 °C, aunque la vida latente presenta límites mucho más amplios (entre -200 y 80 °C). Según la mayor o menor tolerancia a la t^a , los organismos pueden dividirse en:

- ❑ **Estenotermos**. Toleran únicamente ligeras variaciones de t^a , por ejemplo, los organismos de zonas ecuatoriales muy estables climatológicamente. Hay un pez antártico que sólo tolera t^a entre ± 2 °C.
- ❑ **Euritermos**. Resisten amplias diferencias de t^a ; son, por ejemplo, los organismos de las zonas templadas habituados a grandes cambios estacionales.

Uno de los grandes logros evolutivos ha sido el de conseguir mecanismos de autorregulación de la t^a , evitando así los daños que pueden producir los cambios climatológicos. Los **homeotermos** o endotermos (aves y mamíferos; algunas mariposas, el atún, y otros pueden presentar endotermia parcial) son los más representativos de este logro. Consiguen mantener su t^a constante mediante sudoración, jadeo, movimiento de las orejas (elefante), la presencia de formaciones epidérmicas (pelo, plumas), el depósito de grasa en la dermis, la producción de formas de resistencia (esporas, semillas), descenso de la actividad metabólica (letargo), etc. Una relación superficie/volumen baja favorece la conservación del calor (menor superficie de transpiración).

La endotermia requiere un control muy fino por parte del sistema nervioso. Este control, más el gasto metabólico, implican un consumo elevado de energía.

El resto de organismos cuya t^a depende exclusivamente del medio son los poiquilotermos o ectotermos. Con todo existe una enorme gradación de casos, y así, por ejemplo, los reptiles desarrollan todo un comportamiento que les permite mantener alta su t^a , buscando zonas soleadas o permaneciendo sobre piedras que mantengan el calor.

HUMEDAD DEL AIRE

Es la cantidad de agua en forma de vapor que contiene la atmósfera. Se puede expresar como **humedad absoluta** (g/m^3), o como porcentaje entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire a una t° y presión dadas y la cantidad máxima que podría existir a esas mismas condiciones (**humedad relativa**).

Es un factor muy variable y, en consecuencia, existe toda una serie de mecanismos adaptativos para evitar la pérdida de agua por transpiración, especialmente en los organismos de ambientes secos. Entre éstas podemos destacar: las desarrolladas por las plantas púas de los cactus y animales del desierto (la rata canguro presenta, en sus nefronas, una enorme asa de Henle que le permite recuperar gran cantidad de agua de su orina); desarrollar cubiertas aislantes (artrópodos); desarrollo de tallos suculentos; acumulación de grasa (camellos y dromedarios); incremento de actividad en horas de mayor humedad /crepúsculo); secreción de mucus, etc.

Para no perder demasiada agua en el mecanismo de respiración, los animales que viven en el medio aéreo cuentan con membranas de intercambio gaseoso en su interior, ya que dichas membranas han de permanecer húmedas (respiración pulmonar o traqueal en vez de branquial o cutánea).

En cuanto a las plantas y sus mecanismos de transpiración (ver tema 38), podemos distinguir los siguientes tipos:

- ❑ **Hidrófilos** (plantas acuáticas, que poseen epidermis finas y parénquimas aeríferos que les permiten mantenerse erguidas y, a veces, flotar; también los animales acuáticos)
- ❑ **Higrófilos**: plantas de zonas muy húmedas, tienen hojas grandes de epidermis fina, con numerosos estomas, con una intensa transpiración (musgos, helechos, etc.). Animales como los anfibios, caracoles, etc.
- ❑ **Xerófilos** o plantas de ambientes secos, hojas pequeñas, coriáceas, pocos estomas, a veces simples espinas, largas raíces, etc. Reptiles, rata del desierto, etc.
- ❑ **Mesófilos** plantas y animales que presentan características intermedias entre las dos anteriores.

A diferencia de lo que ocurre con otros factores abióticos, numerosos organismos pueden soportar el máximo posible de humedad relativa, e incluso éste es el valor óptimo para algunos. Por el contrario es imposible mantener una actividad biológica normal en un ambiente completamente seco.

En la práctica es difícil separar los efectos de la t° y de la humedad relativa, puesto que ésta es consecuencia de aquella. La distribución de las grandes formaciones vegetales en determinadas áreas de la superficie terrestre es también consecuencia de la acción combinada de ambos factores.

Para determinar si un clima es más o menos seco, son muy útiles los diagramas ombrotérmicos o climogramas. En éstos, se consideran meses áridos aquellos meses en los que las precipitaciones (mm de agua) son inferiores al doble de la t° .

LUZ

Influye de diversas maneras en los seres vivos. Así, la luz está en la base del aporte energético de un ecosistema y, por tanto, es la primera fuente de energía para todas las formas de vida. Además es un regulador de los ritmos diarios y de la actividad estacional para la mayoría de las especies, ya sean animales o vegetales.

La **longitud de onda**, la intensidad luminosa, la duración de la iluminación y el calor energético son los principales parámetros físicos que deben considerarse en este factor.

La longitud de onda de las radiaciones solares es muy amplia; desde el punto de vista ecológico interesa la que va del ultravioleta (UV) $< 360 \text{ nm}$ hasta el infrarrojo (IR) $> 760 \text{ nm}$. La radiación de onda corta es muy energética y puede ser mutagénica, alterando la organización molecular; es más intensa en las montañas. El espectro visible es el que captan de forma eficaz los seres vivos, y se encuentra entre los 360 y 760 nm. La fotosíntesis y la visión tienen lugar en esta zona del espectro. La radiación IR tiene importancia como fuente de calor.

En el **medio aéreo**, la luz no suele ser un factor limitante y está en íntima relación con los procesos fotosintéticos y los fototropismos. Las plantas realizan toda una serie de mecanismos adaptativos para que efectivamente la luz no se convierta en un factor limitante: posición de las hojas, plantas trepadoras en zonas selváticas, etc.

Las necesidades luminosas de las plantas permiten diferenciarlas en plantas de sombra (**esciófilas**), que mueren si se sobrepasa una determinada intensidad y plantas de luz (**heliófilas**), que necesitan para vivir intensidades mayores. El conocimiento del efecto de la luz sobre las plantas tiene una gran importancia práctica en la repoblación forestal ya que, las plantas jóvenes no se desarrollan más que en la sombra.

También muchos animales tienen un óptimo de iluminación, basta recordar como cucarachas y lepismas huyen de la luz.

En los ecosistemas naturales existen dos tipos de **fluctuaciones cíclicas**: la alternancia día-noche y la estacional, que hace que la duración del día o **fotoperíodo**, sea diferente según la estación del año. La alternancia día-noche produce cambios evidentes en la fisiología de los seres vivos (actividad vital diurna o nocturna, apertura y cierre de los estomas en las plantas).

Las fluctuaciones estacionales del fotoperíodo son importantes en nuestras latitudes (la duración del día y de la noche tiene variación estacional), entre los procesos que desencadenan estas fluctuaciones se encuentran: la floración, caída de la hoja, reproducción de numerosos organismos, cambio de piel y plumas en los mamíferos, la entrada y salida del letargo de muchos animales (insectos, mamíferos, reptiles).

Numerosos animales se han adaptado a las fluctuaciones luminosas mediante el desarrollo de relojes internos que condicionan las respuestas fisiológicas a dichas fluctuaciones. Dichos relojes se conocen con el nombre de **ritmos circadianos** (cambios fisiológicos diarios, como la t^o corporal, presión sanguínea, etc.) y **ritmos circanuales** de periodicidad anual.

También es digno de mención el hecho de que los animales presentan la capacidad de la visión, siendo ésta, en muchos casos, su mejor fuente de información. Relacionado con esto están las coloraciones de los animales: **crípticas** (confunden al animal con el medio; camaleón, sepia, cebra); **aposemáticas** o de aviso (avertidos que son peligrosos para los depredadores: avispa), y **miméticas** (algunos insectos presentan coloraciones parecidas a las de insectos peligrosos).

48.2.2. Factores climáticos secundarios

Ejercen una influencia menos marcada que los anteriores. Entre ellos se encuentran el viento, la presión atmosférica y los efectos de la latitud.

El viento aumenta la evapotranspiración y contribuye a enfriar, por circulación, la tierra firme y el agua. También influye en la actividad de numerosos organismos. Los vientos persistentes pueden limitar el desarrollo de la vegetación arbórea (costa y acantilados). Un importante efecto ecológico de este factor, es que ayuda a dispersar el polen, los frutos y semillas de numerosos vegetales.

Los efectos de la **Presión atmosférica** no se conocen bien. Muchos insectos ven favorecida su actividad a presión baja, en otros el efecto es contrario.

Si bien no es un factor limitante fundamental para los seres vivos del medio aéreo, es conveniente, sin embargo, considerarlo, dado que es un componente esencial del clima, el cual en su conjunto, como hemos dicho, sí que es un factor limitante de gran importancia.

Dado que casi el 21 % del aire es oxígeno, si que influye, el descenso de presión atmosférica, en el consiguiente descenso de la presión parcial del oxígeno (la presión atmosférica disminuye con la altitud, por ejemplo). Los animales de alta montaña desarrollan distintas estrategias para garantizarse el adecuado aporte de O_2 , tales como desarrollo de hemoglobinas especiales, aumento del nº de glóbulos rojos, etc.

Los efectos de la **altitud** son complejos e influyen en los valores de la t^a sobre todo, pero también en la humedad y la luz. En nuestras latitudes un aumento de altitud de 100 m lleva consigo un descenso térmico de medio grado centígrado.

48.2.3. Factores edáficos

El suelo es una fuente indispensable de alimento para el mundo vegetal, como proveedor de sales minerales y de agua; es también un refugio y medio ambiente natural de muchos animales, algunos de ellos pueden llegar a desarrollar toda su vida en el seno del mismo.

El suelo es el nexo de unión entre la materia mineral y la vida. En él se enraízan las plantas y de él extraen agua y sales minerales. Numerosos organismos: bacterias, protozoos, hongos, artrópodos, nemátodos,

anélidos, vertebrados, etc., viven en su seno. De ahí la gran importancia que tiene conocer las relaciones entre los factores edáficos (características físicas y químicas del suelo) con los seres vivos.

Factores físicos (Ver tema 17)

El **clima** es el condicionante básico en la forma y evolución de los suelos y determina sus características ecológicas. La t^a del suelo depende de la del aire, si bien a cierta profundidad es relativamente independiente de las oscilaciones térmicas atmosféricas: las variaciones diurnas se atenúan enseguida y otro tanto sucede a mayor profundidad con las estacionales.

El **suelo** es un ambiente oscuro, si exceptuamos la costra superficial, y por ello no es de extrañar que un gran nº de los animales que lo pueblan sean ciegos o fotófobos.

También son factores edáficos de gran interés la estructura y disposición del suelo, el tamaño de sus partículas, la dureza, permeabilidad y espesor de sus horizontes, etc. Así, las larvas de muchos insectos no sobreviven en un suelo demasiado pedregoso. Los insectos excavadores requieren suelos blandos. Consideremos, por último, el caso de árboles y arbustos de cierto porte, que sólo pueden enraizar en suelos de gran espesor.

Los animales tienen diversas adaptaciones anatómicas según el tipo de vida que lleven. Los **hipogeos** son alargados y sin apéndices externos, facilitando así los movimientos de desplazamiento (lombriz), otros tienen las patas transformadas para la excavación (Grillotalpa o alacrán cebollero). Los **epigeos** también tienen adaptaciones según la dureza del sustrato. En suelos blandos, desarrollan dedos largos y estructuras membranosas en las patas locomotoras para no hundirse (palmípedas). Los que se apoyan en sustratos duros tienen pies resistentes con pezuñas como ocurre con las cabras.

Contenido en agua y gases

La presencia de agua en los suelos se debe en parte a las precipitaciones (suelos naturales) y al aporte de los acuíferos subterráneos. La abundancia de agua clasifica a los suelos en secos y húmedos, condicionando la flora, la fauna y el tipo de aplicación agrícola que puede darse a los mismos.

El contenido en gases es un factor ecológico de gran interés. La composición gaseosa del suelo, en las capas más superficiales, es semejante a la de la atmósfera, pero a medida que profundizamos disminuye la cantidad de oxígeno y aumenta la de CO_2 . Esto explica que el nº de organismos también disminuya con la profundidad. Los que allí viven, requieren poco oxígeno, e incluso son anaerobios.

Contenido mineral

Depende, en gran medida, de la roca madre a partir de la cual se formó; no obstante, en la mayoría de los suelos el contenido mineral depende más de factores biológicos. En gran medida, la intervención dinámica con las plantas, al emitir éstas H^+ , es lo que contribuye a degradar la roca madre liberando cationes K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , etc., que son aprovechados por las plantas. Éstas, al degradarse, constituyen el humus, modificándose así no sólo el contenido mineral del suelo, sino su textura, aireación y capacidad para retener minerales.

pH

La presencia de un determinado pH divide a los suelos en ácidos, básicos y neutros. Cada uno de ellos determina la presencia de distintos tipos de plantas acidófilas o neutrófilas, principalmente, así como el mayor o menor grado de disponibilidad de bioelementos en función de su distinto grado de disolución. Así, por ejemplo, la solubilidad del Ca aumenta con el pH, mientras que ese mismo pH básico disminuye la solubilidad del Fe.

Salinidad

Es uno de los principales aspectos que conviene determinar en un suelo. El Na, a diferencia de lo que sucede en los animales, no resulta esencial en las plantas, pero, al entrar por difusión, puede desplazar la presencia de otros bioelementos que si lo son, como el K. En algunos casos, la sal puede concentrarse

tanto que forma costras alrededor de las raíces, bloqueando de forma muy eficaz la entrada de agua. Existen plantas adaptadas a esta situación (**halófitas**).

48.2.4. Factores del medio acuático

Los organismos de los ecosistemas acuáticos se presentan distribuidos en diferentes localizaciones, lo que permite clasificarlos en los siguientes grupos:

- **Bentos.** Viven fijos en el fondo (algas, esponjas, gasterópodos, etc.)
- **Plancton.** Organismos que flotan (fitoplancton formado por algas unicelulares y bacterias fotosintéticas, y zooplancton formado por protozoos y animales con vida larvaria).
- **Necton.** Son los nadadores activos (peces, cefalópodos, mamíferos)
- **Neuston.** Viven sobre la superficie del agua (lentejas de agua, insectos flotadores, etc.)
- **Perifiton.** Son los organismos que viven sobre plantas acuáticas (moluscos, celentéreos y determinados insectos).

Entre los factores climáticos que tienen influencia en el **medio acuático** tenemos: la temperatura, la luz y la presión (hidrostática).

La variación de **temperatura** es menor, de -2°C a 30°C , debido a la mayor estabilidad del agua fruto de sus características físicas (calor específico, calor latente de fusión y de evaporación, etc.). En zonas de aguas profundas, el hecho de que el agua, al congelarse, disminuya su densidad y flote, hace muy difícil que el agua se hiele en profundidad, por lo que la vida continúa en ella, al quedar entre 2 y 4°C su t° . La mayoría de animales acuáticos son poiquilotermos (excepto los mamíferos).

La **luz** sí puede desempeñar un papel de factor limitante; de hecho, a partir de los 300 metros no se encuentran algas con clorofila; existen organismos fotosintéticos, pero con otros pigmentos, como la ficoeritrina (algas rojas).

Se puede diferenciar la **zona eufótica** entre los 50 y 100 m, en donde se encuentran la mayoría de los vegetales. La **zona oligofótica**, donde la luz es muy escasa por la distinta capacidad de penetración que presentan las diversas longitudes de onda, así como por la absorción total de las radiaciones a una cierta profundidad. En esta zona sólo los colores de mayor longitud de onda (azul, rojo), pueden penetrar, razón por la que la clorofila deja paso a otros pigmentos específicos de cianofíceas y de algas rojas.

Por debajo de los 500 m está la **zona afótica**, donde la oscuridad es total y no existe la vida vegetal. En estas zonas habitan peces capaces de producir luz (Bioluminiscencia), también, ésta propiedad aparece en animales terrestres; puede tener diversa utilidad como desorientar al depredador, atraer a la presa, atraer al macho, etc.

La **presión hidrostática** aumenta a razón de una atm. por cada 10 m de profundidad en el agua. Muchos peces poseen vejiga natatoria (cámara llena de aire que funciona como un flotador regulable), que constituye una adaptación para desplazamientos verticales. Sobre este tipo de peces la presión hidrostática tiene un importante efecto, ya que cuando se encuentran a bastante profundidad tienen el gas de la vejiga a mucha presión y, si se les obliga a subir rápidamente este gas se expande sin que de tiempo a ser reabsorbido y el pez se hincha y muere.

Los organismos que viven por debajo de los 5000 m carecen de cavidades con gases y son planos. Ambos ejemplos son adaptaciones a la presión reinante.

Además de la influencia que en el medio acuático tiene estos tres factores climáticos, conviene reparar en otra serie de factores no climáticos, como son: concentraciones de gases (O_2 , CO_2), salinidad, corrientes, etc.

- **Concentración de O_2 .** Es uno de los principales factores limitantes del medio acuático, donde uno de los parámetros que debe determinarse es la DBO (demanda bioquímica de oxígeno, en mg/l). Como la solubilidad de los gases en el agua depende de la t° en relación inversa, las aguas frías tienden a estar mejor oxigenadas que las cálidas. Sin embargo, son aspectos como la eutrofización los que actualmente están determinando preferentemente la presencia de O_2 . Esta forma de contaminación ambiental consiste en la reducción de enormes masas vegetales, principalmente algas, que se

descomponen en el fondo de los ríos y lagos, determinando un empobrecimiento de O_2 que impide las formas de vida animal más diversa, así como del resto de especies aerobias.

- ❑ **Concentración de CO_2 .** Es un factor que ha alcanzado en estos momentos una gran importancia por su incidencia en el mayor o menor desarrollo del plancton en conjunción con la t° . Según los defensores de la hipótesis Gaia (Lovelock), el plancton sería un termostato vivo que regularía la cantidad de CO_2 , así como el efecto invernadero, aunque también estaría regulado por dicho efecto.
- ❑ **Salinidad.** Uno de los aspectos que permite la clasificación de las aguas en dulces, salobres y marinas o saladas es su salinidad (concentración, en g/l, de Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3H^- , PO_4^{3-} , y los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}). El 94 % del agua de la Tierra es salada marina. Ésta puede contener hasta 35 g/l de sal, aunque en el mar Muerto puede alcanzar hasta 300 g/l (curiosamente se le suelen citar como aguas salobres).
La forma de resolver el equilibrio osmótico en los seres acuáticos es muy diversa. Las formas más primitivas de vida probablemente eran isotónicas con el medio; hoy podrían estar representadas por las especies poiquilosmóticas o **estenohialinos**, como es el caso de la mayoría de los invertebrados marinos. Los capaces de regular su concentración salina son los individuos homeosmóticos o **eurihialinos**.
- ❑ **Corrientes.** Es un factor importante en el medio acuático que influye en procesos fundamentales, como la reproducción, facilitando o no el desplazamiento de organismos, larvas y huevos, e incluso la especiación. También las fuertes corrientes u oleajes determinan toda una batería de mecanismos adaptativos para evitar los desplazamientos, como los desarrollados por lapas, mejillones, etc., como es el caso de las algas.
Las corrientes marinas, cuando inciden sobre una costa, provocan la subida de las sales minerales y con ello la fertilización de las aguas: aparece mucho fitoplancton, mucho zooplancton y se forman zonas ricas en pesca (costas del Sahara, de Perú, de California, etc.)

48.3. Estructura trófica de un ecosistema

Los Ecosistemas constituyen unidades básicas de la naturaleza y pueden ser considerados como el último de los niveles de organización de la materia. Son sistemas estructurados, con capacidad de autorregulación, por los que circula un flujo de energía y un ciclo de materia.

Todos juntos constituyen un único ecosistema, la Biosfera, cuyo biotopo es el medio físico-geológico del planeta Tierra y cuya biocenosis la constituimos todos los seres vivos que lo poblamos.

Dentro de las características que determinan el nicho ecológico de un organismo, la nutrición es una de las más importantes por lo que se refiere a la configuración de la estructura de un ecosistema, puesto que relaciona a todas las especies del mismo.

Atendiendo a su modalidad de nutrición, los organismos de un ecosistema se clasifican en tres niveles tróficos: productores, consumidores y descomponedores.

Productores

Son los organismos autótrofos, principalmente las plantas verdes, las algas y las bacterias fotosintéticas, que construyen su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas sencillas, merced a la captación de la energía luminosa en el proceso de la fotosíntesis. Conviene recordar que también son autótrofos los organismos quimiosintéticos que en lugar de energía luminosa, utilizan la que se produce en determinadas reacciones químicas.

Los productores son mucho más abundantes que los consumidores, representan el 99 % de toda la materia orgánica de la biosfera.

Consumidores primarios

Son los primeros heterótrofos que se presentan en las cadenas tróficas y son capaces de alimentarse directamente de la materia orgánica que sintetizan los productores. Ello presupone una serie de mecanismos adaptativos, tanto de tipo estructural (dentadura, largo tubo digestivo) como bioquímicos (presencia de sistemas enzimáticos que le permiten digerir la celulosa) o cooperativos (simbiosis con bacterias que poseen celulasa). Estas adaptaciones les permiten rentabilizar al máximo la energía química contenida en los vegetales. Son los animales herbívoros, y en el medio acuático, el zooplancton.

Consumidores secundarios

Este nivel está constituido por los animales carnívoros o depredadores animales que casi de forma exclusiva consumen carne y devoran a los herbívoros. Si se alimentan también de consumidores secundarios, se puede hablar de consumidores terciarios o superdepredadores. También suele incluirse en este nivel a los carroñeros, que se alimentan de animales muertos, aunque pueden incluirse, asimismo, en los descomponedores.

Los omnívoros, con dietas poco especializadas, se comportan alternativamente como consumidores primarios y secundarios.

Descomponedores

Se les conoce también con el nombre de detritívoros, reservándose el nombre de degradadores para las bacterias y los hongos. Los descomponedores viven de los desechos o detritus de una comunidad (heces, cadáveres, hojas, troncos, ramas, etc.), es decir, consumidores de organismos muertos.

Muchos de ellos, sobre todo los degradadores, han desarrollado mecanismos que le permiten utilizar sustancias inutilizables para el resto de seres vivos, como desechos nitrogenados o celulosa. En este sentido es importante destacar que en una comunidad vegetal, un bosque, por ejemplo, aproximadamente el 98 % de la biomasa vegetal se consume finalmente por los descomponedores y no por los herbívoros.

Los descomponedores, al obtener su energía de cadáveres, restos y excrementos, producen finalmente el reciclaje al mundo mineral de los elementos constitutivos de la materia orgánica. Algunos se refieren a los Transformadores, refiriéndose a bacterias que transforman los compuestos inorgánicos, fruto de la actividad de los descomponedores, en sustancias aprovechables por los vegetales.

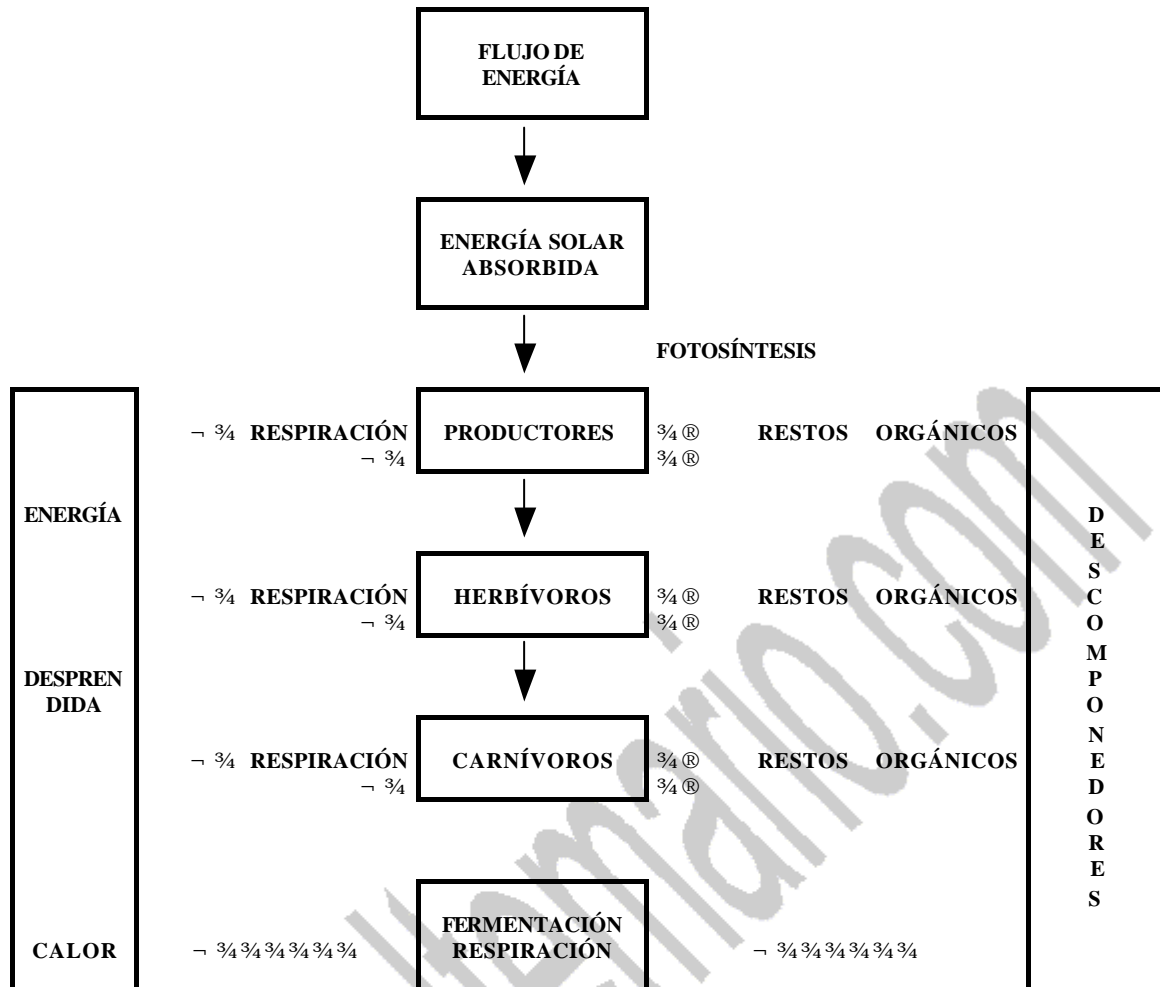
Los descomponedores los podemos dividir en dos grupos:

Transformadores. Se trata de descomponedores heterótrofos. Son organismos saprofitos (bacterias y hongos en el suelo o bacterias solamente en el agua). Éstos efectúan una serie de transformaciones cuyo resultado final son moléculas sencillas, tanto orgánicas como inorgánicas.

Mineralizadores. Son descomponedores quimiosintéticos que realizan una doble función: Mediante la elaboración de materia orgánica, pueden ser los eslabones iniciales de nuevas cadenas tróficas, y mediante la liberación de sales inorgánicas al medio, asimilables por los autótrofos, cierran el ciclo de la materia.

La base de la alimentación en los ecosistemas la constituyen los organismos autótrofos. A partir de ellos se establecen cadenas tróficas, integradas por un organismo de cada nivel trófico, en las que cada organismo come al que le precede y es comido por el que le sigue: Productor → Consumidor primario → Consumidor secundario → etc.

En la mayoría de los ecosistemas, las cadenas tróficas no constan, en realidad, de muchos niveles; en un estudio sobre más de cien depredadores superiores se concluyó que sólo existían cuatro o cinco niveles en toda cadena alimenticia.



Las diferentes cadenas tróficas que podemos reconocer en un ecosistema no están aisladas, sino que se conectan entre sí. Un elemento de la cadena puede comer o ser comido por varios organismos diferentes. Por tanto, las relaciones que se establecen en un ecosistema no son exclusivamente lineales, sino también colaterales. A este entramado de relaciones alimentarias se le denomina **red trófica**. La pertenencia a una red relativiza algunos niveles tróficos. Así, un animal puede ser simultáneamente consumidor de segundo o tercer orden según en la cadena que se le considere. Un caso especial de conexión entre cadenas lo desarrollan los parásitos, otra de cuyas propiedades es la de acortar las cadenas tróficas.

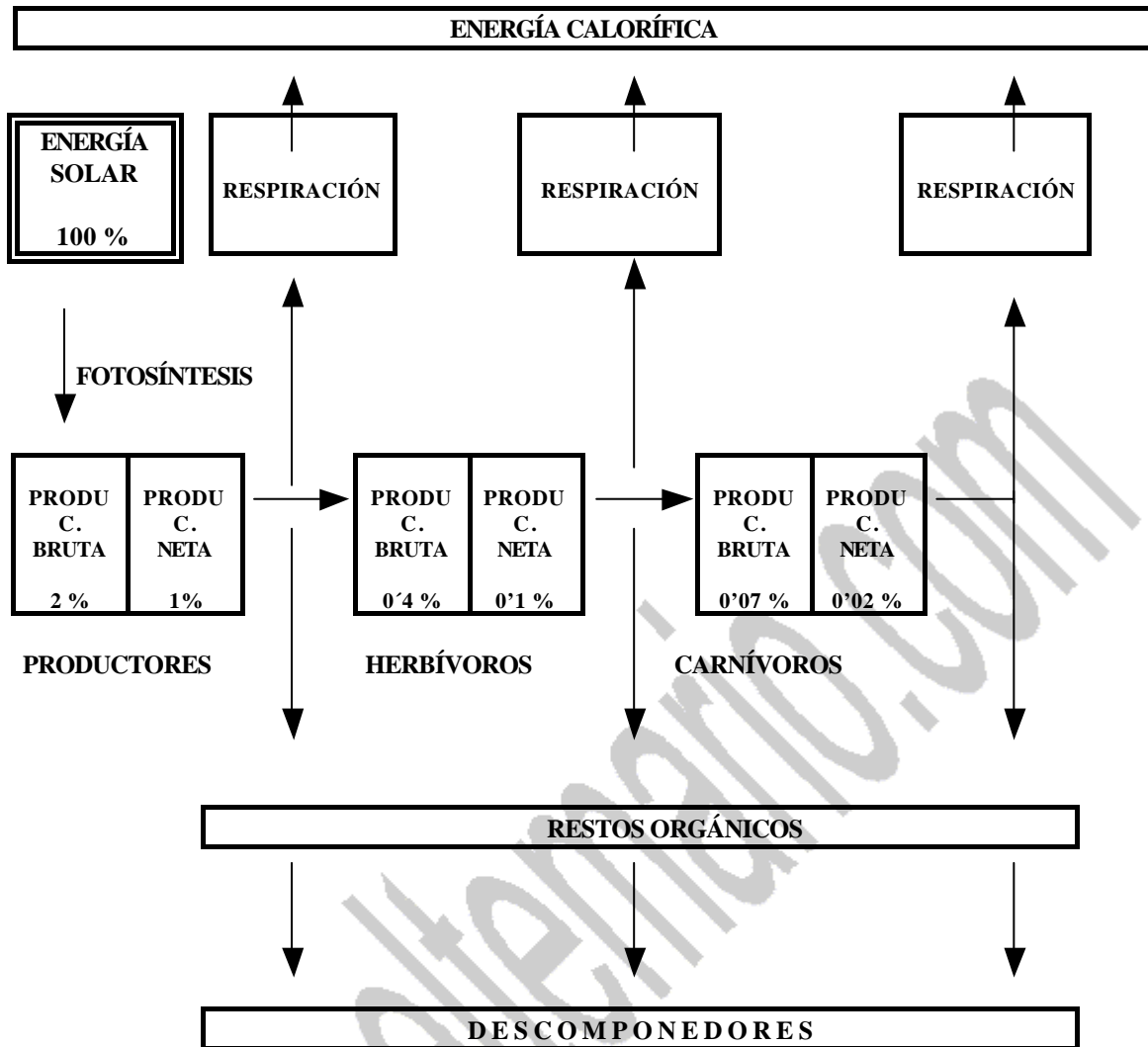
En una cadena o red alimentaria, la relación normal entre una especie que recibe el alimento de otra es la de depredador y presa. Pero existen posibilidades de desviaciones secundarias, en las que una especie vive a costa de otra sin matarla (comensalismo, mutualismo, parasitismo, etc.)

48.4. Flujo de energía en el ecosistema

En todos los ecosistemas tienen lugar simultáneamente dos procesos de transferencia: un **flujo de energía**, abierto y un ciclo de la materia, cerrado.

La energía es el motor de los ecosistemas. En la mayoría de los casos, la fuente principal es el Sol. Del total de la energía solar que llega a la Tierra, la mayor parte es reflejada y absorbida por la atmósfera, las tierras y los mares y sólo un 0'2 % es absorbida por las plantas. Esta pequeña proporción basta, sin embargo, para mantener en funcionamiento casi todos los ecosistemas terrestres.

Gracias a la fotosíntesis, los productores captan la energía radiante de la luz solar y la utilizan para fabricar su propia materia (P.I.O.) a partir de sustancias inorgánicas sencillas como agua, CO₂ y sales minerales.

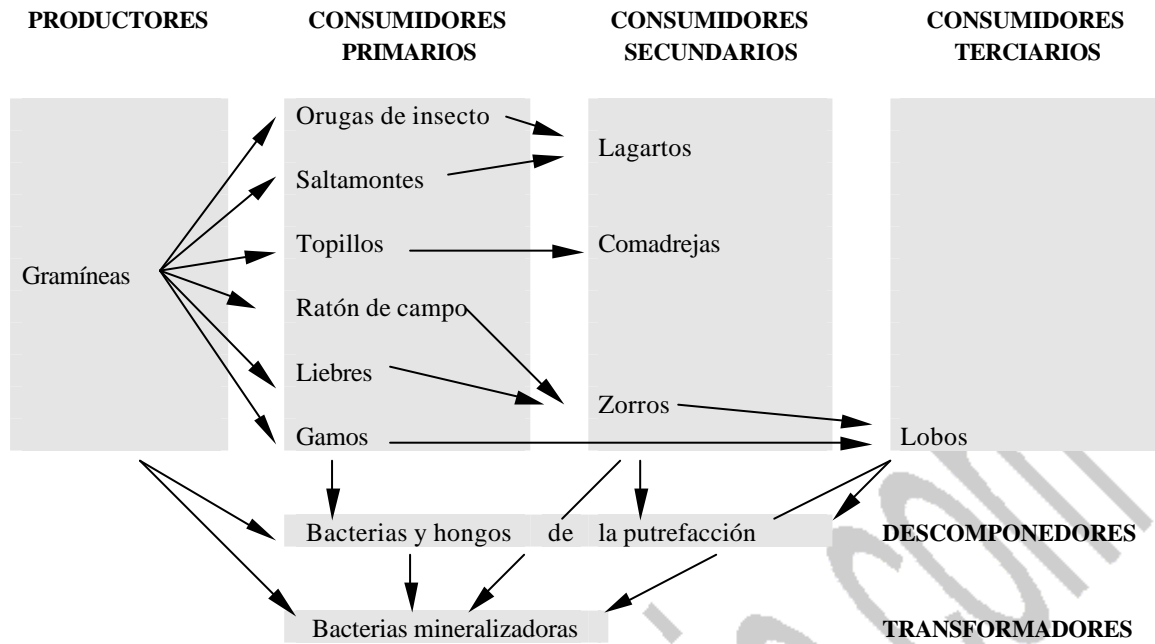


Cuando un consumidor primario se come a un productor o a parte de él, toma la **energía** que contienen las diferentes sustancias (glúcidos, lípidos, proteínas, etc.) y simultáneamente, la **materia**, los elementos químicos que, combinados, componen dichas sustancias. Lo mismo ocurre cuando un consumidor secundario se come a un primario o cuando los descomponedores absorben los residuos de cualquiera de los otros grupos.

Así se produce en el ecosistema una circulación de materia y energía que presenta estas peculiaridades:

- El flujo de energía discurre siempre a través de los seres vivos.
- El flujo de energía es unidireccional y abierto: Sol → Productores → consumidores primarios → consumidores secundarios → etc.
- En cada nivel trófico, como consecuencia de la respiración y del proceso de falta de eficacia, se pierde energía, por lo que el flujo energético es cada vez menor. Así, en los ecosistemas acuáticos, cada nivel cede al siguiente, por término medio, un 10 % de la energía que le llega, en los terrestres la proporción es aún menor.
- La **circulación de materia es cíclica** (al menos en parte). Una buena proporción de la materia que circula por el ecosistema se transforma en excrementos y restos orgánicos y sirve de alimento a los descomponedores, que devuelven al medio alguno de sus constituyentes, poniéndolos en condiciones de ser reutilizados, sobre todo por los productores.
- La circulación de la materia se produce a través de los seres vivos y también por el medio inerte (tierra, agua y aire).

A continuación ponemos un ejemplo de red trófica.



48.4.1. La producción de los ecosistemas

La biomasa es la cantidad en peso de materia orgánica viva (fitomasa vegetal y zoomasa animal) o muerta (necromasa) de cualquier nivel trófico o de cualquier ecosistema (por ejemplo, leche, leña, carne, hojarasca, etc.) Podríamos decir que constituye la manera de almacenar la energía solar que tiene la biosfera. Se mide en unidades de peso (k, g, mg, etc.), aunque es frecuente expresarla en unidades de energía (1 g de materia orgánica equivale a 4-5 calorías).

Normalmente, al calcularla hacemos referencia a su cantidad por unidad de área o volumen, por lo que es frecuente expresarla de este modo g/cm^2 , kg/m^2 , tm/ha , etc.

La **producción** es el aumento de biomasa por unidad de tiempo. Hay distintas unidades de medida según los ecosistemas. Nos da idea de la biomasa disponible por unidad de tiempo que puede ser utilizada por el nivel trófico siguiente sin que peligre la estabilidad del ecosistema.

Producción primaria bruta (PPB) es la cantidad de materia o su equivalente energético que fabrican los productores en un tiempo determinado.

Producción primaria neta (PPN) es la diferencia entre la PPB y la energía consumida en el gasto respiratorio (R).

$$\text{PPN} = \text{PPB} - \text{R}$$

La producción primaria de los diferentes ecosistemas terrestres es muy variable y está condicionada por los factores ambientales ya estudiados.

Productividad: Se suele usar para expresar la producción en función de la biomasa. Según esto podríamos hablar de una productividad bruta = Producción bruta / biomasa; y de productividad neta o tasa de renovación = producción neta / biomasa.

Sirve para indicar la riqueza de un ecosistema o nivel trófico, ya que representa la velocidad con que se renueva la biomasa (tasa de renovación).

El **tiempo de renovación** es el período que tarde en renovarse un nivel trófico o un sistema. Es igual a la biomasa partido por la producción neta, o sea el inverso de la tasa de renovación.

En poblaciones de algas planctónicas, la productividad neta diaria puede llegar a ser 1, o sea, del 100 %, la población se renueva cada 24 horas; mientras que en comunidades vegetales terrestres, varía entre un 2 un 100 % anual.

Nota: Algunos ecólogos (Odum, Kormondy), emplean indistintamente los términos producción y productividad. Otros (Begon, Harper), denominan productividad a lo que nosotros, siguiendo a R. Margalef, hemos denominado producción.

Del **flujo solar** que recibe la Tierra solamente un 0'2 % es absorbido por las plantas. Un 28 % es reflejado por las nubes, un 17 % es reflejado por el polvo, un 5 % absorbido por el polvo, un 3 % es absorbido por el ozono y el 46 % restante llega a la superficie (un 21 % es absorbida por la tierra y un 24'8 % lo es por el agua). De la energía absorbida por las plantas, un 98 % se pierde en forma de calor y un 2 % se transforma en energía química mediante la fotosíntesis. Este 2 % constituye la **producción primaria bruta**.

Aproximadamente la mitad de ésta se pierde en forma de calor durante la respiración, por lo que la producción primaria neta representa el 1 % de la energía absorbida por la planta.

Eficiencia. El término se usa para indicar el % de la energía absorbida por la planta que pasa a los niveles tróficos superiores.

Esta noción representa el rendimiento de un nivel trófico o de un sistema y se calcula mediante el cociente salidas/entradas. Podemos valorarla desde diferentes puntos de vista.

- ❑ La eficiencia de los productores se calcula mediante la relación energía asimilada/energía incidente, que alcanza valores inferiores al 2 %. Éste valor corresponde sólo a la producción bruta.
- ❑ Si calculamos el cociente Producción neta (PN) / producción bruta (PB), estaremos midiendo la cantidad de energía incorporada a cada nivel respecto al total asimilado, en cuyo caso, estaremos constatando las pérdidas respiratorias, que referidas al caso del fitoplancton son del 10 al 40 %, rebasando el 50 % en la vegetación terrestre.
- ❑ La rentabilidad de los consumidores se suele valorar en función de la relación PN/total ingerido o, como acostumbran los ganaderos, engorde/alimento ingerido.

Muchas veces el hombre, al explotar los sistemas naturales, ha valorado la eficacia de los mismos a partir de los resultados obtenidos, sin tener en cuenta toda la energía y materia empleadas como entradas.

La transferencia se produce efectivamente cuando un ser vivo cede su materia orgánica a un depredador o a un parásito. Puede expresarse según la ecuación:

$$\text{Eficiencia ecológica} = \frac{\text{Producción del consumidor}}{\text{Producción de la presa}}$$

Los niveles más altos de la pirámide trófica dependen de la producción primaria, y también, en muy alto grado de la eficiencia ecológica. Si ésta es muy baja, no habrá mucha energía disponible para los niveles superiores, y en consecuencia la cadena será corta, con pocos niveles tróficos. La energía disponible para un determinado nivel trófico puede calcularse mediante la ecuación:

$$E_{(n)} = PPN \cdot Ef^{n-1}$$

Siendo PPN la producción primaria neta, Ef la eficacia ecológica y n-1 es el nivel trófico. De donde se deduce que:

$$n = 1 + \frac{\log E_{(n)} - \log(PPN)}{\log(Ef)}, \text{ ecuación que permite calcular el n° de niveles tróficos de la pirámide.}$$

Por último, se puede valorar la eficacia en función del mayor aprovechamiento energético a partir de la energía solar incidente. Desde este punto de vista, teniendo en cuenta la regla del 10 %, es más eficiente una alimentación a partir del primer nivel, ya que se aprovecha más la energía y se podrá alimentar a mayor número de individuos.

En los ecosistemas marinos, el fitoplancton consume entre el 10 y el 40 % de la PPB en respirar. En la vegetación terrestre el gasto es del 50 % en promedio.

El aprovechamiento energético por parte de los herbívoros es como sigue: El 60 % de la energía química almacenada en el alimento se pierde en forma de excrementos y pasa a los descomponedores. El 40 % restante constituye la producción bruta (**producción secundaria bruta o PSB**). El 30 % se pierde en la respiración y el resto, un 10 % de la energía del alimento, constituye la producción neta (**producción secundaria neta o PSN**); es decir, el alimento disponible para los carnívoros.

Dado que la carne es más aprovechable que los vegetales, aproximadamente sólo se pierde un 30 % en forma de excrementos. El 70 % restante constituye la producción bruta.

Dado el elevado gasto energético invertido en la locomoción, el 50 % se pierde en la respiración y el resto, un 20 % de la energía, constituye la producción neta; es decir, el alimento disponible teóricamente para los depredadores carnívoros como, por ejemplo, un águila culebrera.

Como se puede observar entre un nivel trófico y otro sólo se aprovecha entre un 10 y un 20 % de las sustancias alimenticias para sintetizar sustancias propias del cuerpo del depredador. Esto explica que las cadenas tróficas tengan un nº reducido de eslabones.

A primera vista parece lógico que la biomasa de un determinado nivel trófico debe ser un 10 % de la biomasa del nivel trófico anterior, pero esto es engañoso. En primer lugar, porque hay distintos sistemas de crecimiento y reproducción; es decir, distintos sistemas de producción en cada nivel trófico y, en segundo lugar, porque hay distintas proporciones de materia que muere sin ser ingerida, según el ecosistema que se considere.

La **producción neta del ecosistema** (PNE) es la diferencia existente entre la PPB (energía fijada) y la utilizada en la respiración de autótrofos y heterótrofos.

En los ecosistemas muy maduros, con un gran nivel de autorregulación (bosques, selvas, etc.), $PNE = 0$. En los ecosistemas muy jóvenes (prado), la producción es mayor que la respiración y, por tanto, $PNE > 0$. El ecosistema irá evolucionando. En los ecosistemas contaminados o sobreexplotados, por ejemplo, una charca, $PNE < 0$.

El nivel trófico de los productores constituye la base del ecosistema. El equilibrio de este nivel y, por tanto, del ecosistema se constituye limitando el consumo de materia por parte de los herbívoros a la cantidad de producción primaria, permaneciendo así estable la biomasa de los productores. Por tanto, la biomasa de un nivel trófico no está condicionada por la biomasa del nivel trófico anterior, sino por la producción de éste.

48.4.2. Pirámides ecológicas

Son las representaciones gráficas de los conceptos estudiados anteriormente; por tanto, se podrán realizar en función del nº de individuos, de la biomasa o de la energía de cada nivel trófico. Su interpretación nos permite visualizar rápidamente las características principales de un ecosistema. El área de los niveles representados es siempre proporcional al aspecto estudiado.

Consisten en esencia en un histograma (diagrama de barras) horizontal, en el que cada uno de los rectángulos corresponde a un nivel trófico, y cuya base es proporcional al valor del parámetro representado. Normalmente se utilizan tres tipos:

- ❑ **Pirámides de individuos** (pirámides de números). Cada rectángulo representa el nº de individuos en cada nivel trófico. Son las menos representativas al no considerar el tamaño de los organismos. Habitualmente, el nº de individuos irá disminuyendo según se suba de nivel, aunque también puede encontrarse invertida, como sucedería en un pequeño bosque que sustentara muchos insectos y aves. Los niveles se expresan por m^2 o por dm^3 .
- ❑ **Pirámides de biomasa**. Representan la biomasa total existente en cada nivel trófico. Se hace necesario disponer, para su correcta interpretación, de una serie de datos a lo largo del tiempo, ya que uno puntual podría ofrecernos informaciones erróneas al obtener circunstancialmente pirámides invertidas: este hecho es muy frecuente en el fitoplancton y en el zooplancton marino, dada la alta tasa de renovación del primero y la gran capacidad generadora del segundo. Se expresa normalmente, en gramos de peso seco por m^2 o por cm^2 , o bien, en similares unidades referidas al volumen.
- ❑ **Pirámides de energía o de producción**. Indican la cantidad de energía existente en cada nivel trófico (producción bruta o neta), así como la que pasa al nivel superior. Estas pirámides no pueden

presentarse invertidas, a diferencia de las anteriores, ya que la energía que posee un nivel ha de ser siempre mayor que la existente en el nivel superior.

48.5. Flujo de materia en el ecosistema. Ciclos Biogeoquímicos

Se conocen con este nombre los trasiegos que experimentan los elementos químicos que constituyen la materia viva a través del biotopo y la biocenosis.

La materia, como ya hemos indicado, al contrario que la energía, no se consume en los ecosistemas, sino que sigue un camino cíclico a través de los seres vivos. Esto es así porque las pérdidas producidas por una utilización poco eficiente o por productores de "desecho" no representan una pérdida neta para la comunidad como ocurre con la energía.

Estas materias de desecho en forma oxidada (CO_2 , NO_3^- o SO_4^{2-}) son utilizados por los organismos productores de tipo fotosintético, y las formas reducidas (NH_3 , H_2S o CH_4) las emplean los seres quimiosintéticos, en algunos casos, también productores. Por lo tanto las heces, los restos, los cuerpos muertos, son en realidad para otros organismos alimento y constituyen parte esencial del ecosistema. Sólo el hombre produce verdadero material de desecho que la naturaleza no puede reciclar, produciendo entonces la contaminación.

Así pues, la materia circula no sólo entre los organismos vivos y los muertos, sino también entre los organismos y el medio físico; de ahí el considerar la presencia de los ciclos biogeoquímicos a la hora de estudiar los principales bioelementos.

Algunos de estos ciclos son tan lentos desde el punto de vista humano (pero no desde el tiempo geológico), que su movimiento parece tener lugar sólo en un sentido, hacia fuera del sistema.

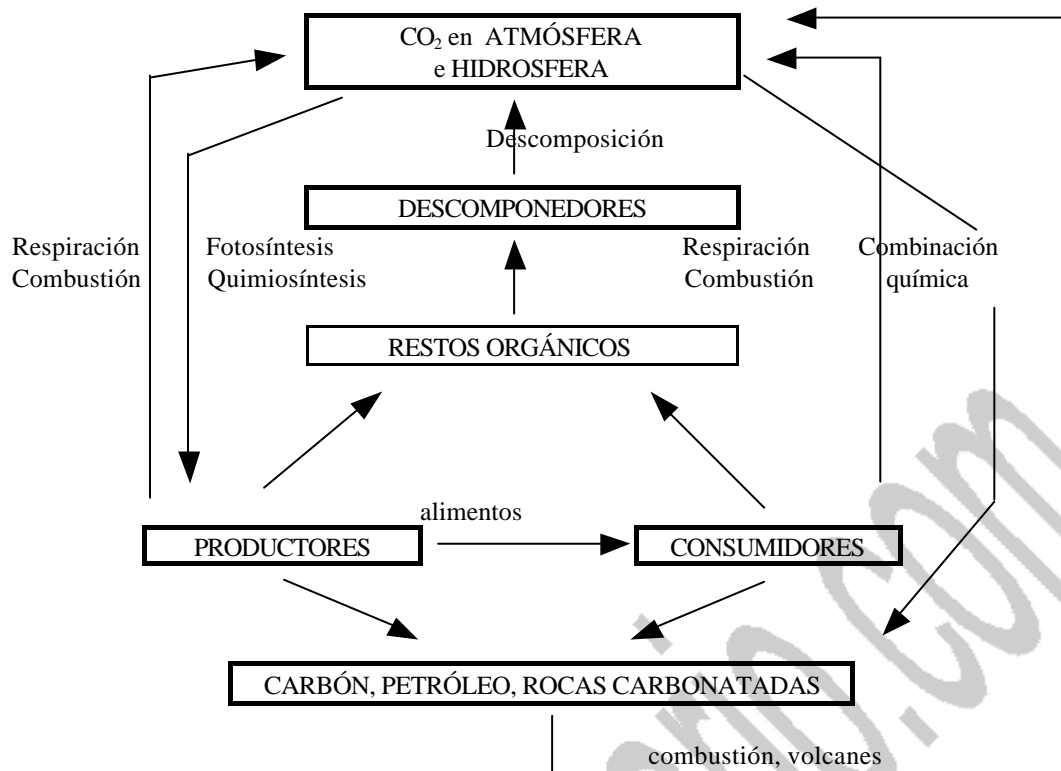
48.5.1. Ciclo del Carbono

Es el componente clave de todas nuestras moléculas. La vida en la Tierra, tal cual la conocemos, sólo es posible gracias a las propiedades de este elemento.

El carbono se fija por los organismos fotosintéticos en forma de CO_2 (asimilación reductora del carbono) y se incorpora como carbono orgánico en los principios inmediatos, que servirá posteriormente de alimento a los demás componentes de la cadena trófica. El CO_2 se libera de nuevo al ecosistema mediante los procesos de respiración que tiene lugar en todos los niveles tróficos, y también durante la descomposición bacteriana de los excrementos y los cadáveres de los seres vivos.

En épocas pasadas tuvo lugar la reducción anaerobia de grandes cantidades de carbono orgánico, pertenecientes a organismos ancestrales cuyos cadáveres se acumularon en zonas sedimentarias y originando depósitos de combustibles fósiles. Los combustibles de estas reservas, junto a los incendios forestales, la tala de bosques y selvas y las emisiones gaseosas de los volcanes, son las principales causas de la alteración del ciclo, ya que parece ir en aumento la concentración de CO_2 en la atmósfera (350 ppm).

El CO_2 atmosférico puede inmovilizarse mediante su transformación en CaCO_3 , en las rocas calizas procedentes de los caparzones calcáreos de los organismos acuáticos, y también por la acción de ciertos microorganismos sobre el equilibrio físicoquímico entre los iones Ca^{++} disueltos en el agua (unidos al ión HCO_3^-) y el CaCO_3 , que es insoluble y precipita. Por otra parte, el CO_2 puede también retornar de nuevo a la atmósfera mediante la descarbonatación de las rocas calizas.



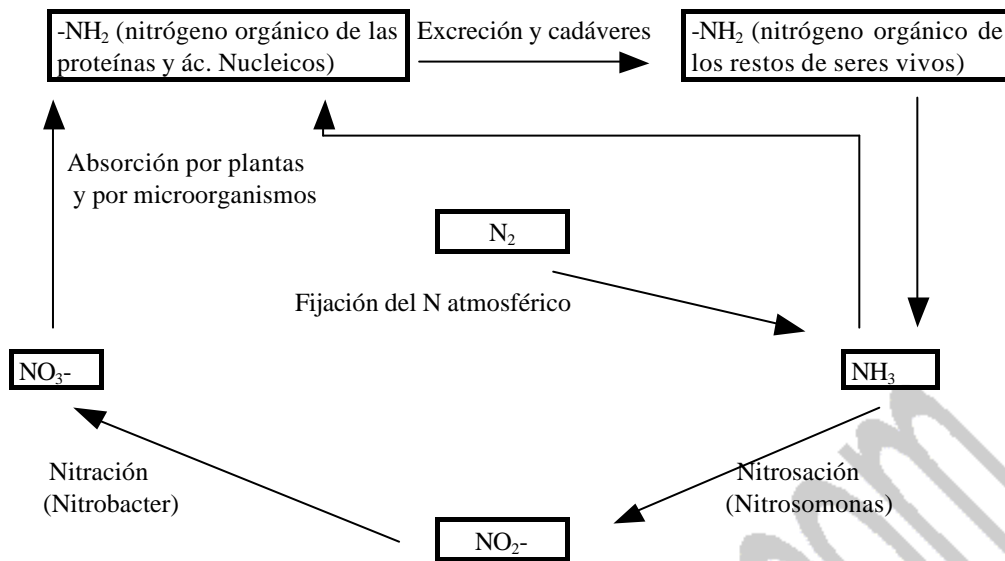
48.5.2. Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno molecular (N_2) es muy abundante en la atmósfera, pero no puede ser asimilado directamente por los seres vivos, excepto por determinadas bacterias (*Azotobacter*, *Rhizobium*). Las plantas sólo pueden incorporar el nitrógeno en forma de nitratos del suelo (asimilación reductora del nitrógeno), mientras que los organismos heterótrofos asimilan el nitrógeno orgánico.

Todos estos organismos devuelven el Nitrógeno al suelo en sus excrementos o, tras su muerte, mediante putrefacción bacteriana de los cadáveres, que origina NH_3 . Otras bacterias (nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*), oxidan el NH_3 y los transforman en nitritos (NO_2^-) que, posteriormente, continúan su oxidación hasta convertirse en nitratos (NO_3^-) por las bacterias *Nitrobacter*. Existe un tercer tipo de bacterias, llamadas desnitrificantes, que convierten los nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso, y provocan así un empobrecimiento del suelo donde se desarrollan.

En los océanos, el ciclo del nitrógeno es parecido al terrestre arriba descrito. Una diferencia importante es que los cuerpos de los organismos muertos se descomponen en el fondo, y, en consecuencia, las aguas superficiales se van empobreciendo progresivamente de nitrógeno. Esto explica la baja productividad de los mares abiertos (el 90 % del océano). El nitrógeno es, por ello, el principal factor limitante en el mar.

La actividad industrial permite fabricar nitratos y otros abonos nitrogenados a expensas del nitrógeno atmosférico, y su uso como fertilizantes produce la saturación de los suelos con nitratos y nitritos, que son arrastrados por las lluvias y se acumulan en las aguas subterráneas. El exceso de nitritos es uno de los factores que determinan la potabilidad de las aguas, pues su ingestión puede causar cáncer de estómago.



48.5.3. Ciclo del Azufre

La principal fuente de S para los seres vivos son los sulfatos inorgánicos. Así lo absorben las plantas que lo incorporan como -SH y como sulfato principalmente. Los heterótrofos lo toman de los escalones tróficos inferiores.

Las sustancias de desecho y restos de animales y plantas devuelven al medio el S inorgánico, que mineralizado por bacterias y hongos lo transforman en S (azufre elemental), en H₂S y en sulfuros de Fe. estas sustancias pueden ser oxidadas de nuevo a sulfato por la acción de diversos microorganismos.

El carbón y el petróleo contienen cantidades importantes de S, en diversos estados químicos, que se transforma en SO₂ y pasa a la atmósfera cuando se queman tales combustibles. Este ciclo ejemplifica cómo la acción humana puede cambiar las condiciones ecológicas: un elemento de ciclo principalmente sedimentario, comienza a acumularse, en los últimos decenios, en cantidades apreciables en la atmósfera, junto al emitido por los volcanes. El SO₂ atmosférico puede oxidarse a SO₃ y a H₂SO₄. El ácido sulfúrico es el causante, junto con el nítrico, de la lluvia ácida, de acción devastadora sobre bosques y ecosistemas lacustres.

8.5.4. Ciclo del Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para la vida, pues forma parte de las moléculas de los nucleótidos, ATP, o las diversas formas activadas de azúcares y ácidos orgánicos.

El P, al contrario que el C y el N, no se encuentra en la atmósfera y se acumula principalmente en la litosfera (rocas sedimentarias), de donde se libera por erosión y disolución en agua. Una parte se aprovecha por las plantas, que lo toman como fosfato y así entra en las cadenas tróficas, para regresar al suelo por acción de los descomponedores. Sin embargo, el ciclo del P no está equilibrado; de los 3'5 millones de toneladas de P que acaban en el mar (trampas de fósforo), sólo el 3 % regresa biológicamente a través del guano (heces de aves marinas) o del consumo de peces por el hombre y los animales. Cantidades relativamente pequeñas regresan, asimismo, del fondo marino mediante corrientes ascendentes. Sin embargo, la mayor parte sólo puede restaurarse por medio de procesos geológicos que levantan los sedimentos. Dada la velocidad de consumo de fosfatos en la agricultura, el hombre explota los depósitos existentes y se ve en la necesidad de producirlos artificialmente.

Este aporte artificial de P está determinando, junto con el de N, severos problemas de contaminación que se traducen en altos niveles de eutrofización presentes en lagos y ríos, y en los últimos años, incluso en mares interiores y zonas costeras.

