

BLOQUE 6. CIRCULACIÓN DE MATERIA Y ENERGÍA EN LA BIOSFERA

- 6.1. Conceptos: Biosfera, ecosfera, ecosistema, biocenosis, biotopo, bioma.
- 6.2. Circulación de materia y energía en la biosfera.
- 6.3. Relaciones tróficas en los ecosistemas, cadenas y redes tróficas. Representaciones gráficas.
- 6.4. Ciclos biogeoquímicos del oxígeno, carbono, nitrógeno, azufre y fósforo.
- 6.5. Los ecosistemas en el tiempo: sucesión, autorregulación y regresión.
- 6.6. Autorregulación de los ecosistemas y repercusión de la acción humana sobre ellos.
- 6.7. Concepto de biodiversidad.
- 6.8. Causas y repercusiones de la pérdida de biodiversidad

6.1. INTRODUCCIÓN-conceptos:

BIOSFERA: es la zona del planeta donde existe la vida y también es el conjunto formado por todos los seres vivos del planeta. Constituye la parte viva (Biocenosis) del ecosistema planetario o ECOSFERA. Desde el punto de vista termodinámico es un sistema abierto ya que intercambia materia y energía con el entorno. Sus límites son:

Límite superior: la capa de ozono, sobre 20 km altitud. Límite inferior: en la hidrosfera: 11 km profundidad, en la litosfera: puede haber formas de vida hasta los 3,5 – 7 km de profundidad.

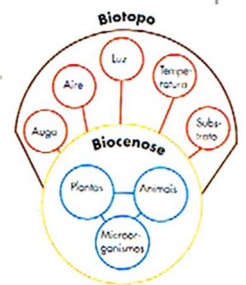
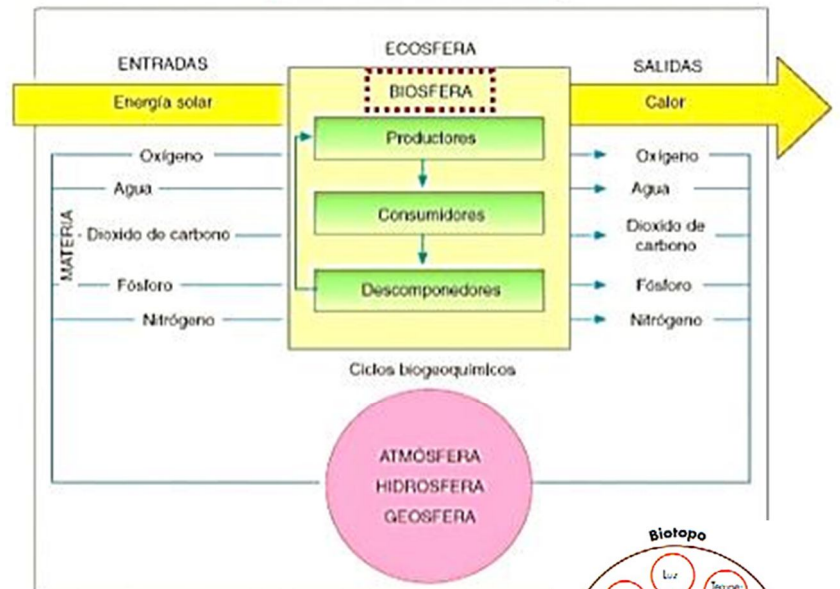
ECOSISTEMAS: es un sistema natural integrado por componentes vivos –elementos bióticos- (**BIOCENOSIS**) y no vivos –elementos abióticos, ambiente físico y químico- (**BIOTOPO**) que interactúan entre si.

Ecosistema = Biocenosis + Biotopo

BIOMAS: zona definida ecológicamente en que se dan similares condiciones climáticas y similares comunidades de plantas, animales y organismos del suelo. Cada bioma contiene una flora y fauna característica adaptada a unas condiciones ambientales determinadas. Los principales biomas son la selva tropical, el bosque templado, el desierto, la taiga, la tundra y la sabana.

HÁBITAT: lugar físico ocupado por una especie

NICHO ECOLÓGICO: es la estrategia de supervivencia utilizada por una especie, que incluye la forma de alimentarse, de competir con otras, de cazar, de evitar ser comida. Por lo tanto, es la función que cumple una especie – animal o vegetal – dentro del ecosistema.



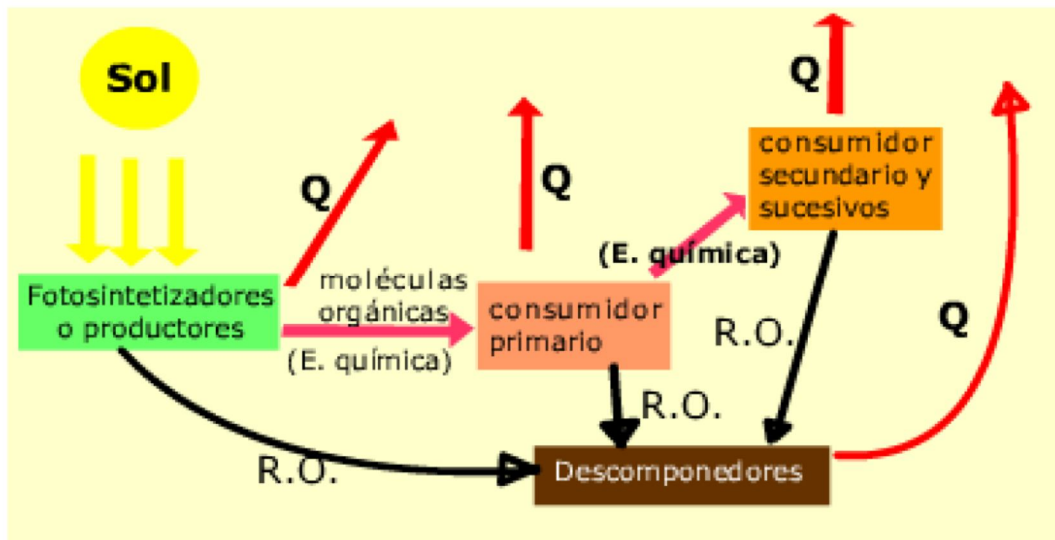
Alimentarse en diferentes zonas, puede reducir la competencia entre las Dendroica en el bosque de picea.

6.2. CIRCULACIÓN DE MATERIA Y ENERGÍA EN LA BIOSFERA.

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

De toda la energía que entra en un nivel, sólo una pequeña parte podrá ser aprovechada por los seres del siguiente nivel ya que en cada uno se aprovecha la energía entrante en el mantenimiento de las propias estructuras y funciones y se disipa en forma de calor.

La **energía** fluye desde los organismos autótrofos a los heterótrofos mediante diversas transformaciones y, finalmente, se disipa al medio físico en forma de calor. **Este flujo de energía es abierto –con pérdidas-y unidireccional –fluye en una única dirección-**



Por su parte, **la materia** que constituye los seres vivos circula por los ecosistemas formando un **ciclo cerrado**, se recicla. **Su cantidad total en nuestro planeta permanece constante**. Por ejemplo, un átomo de carbono que hoy forma parte de una caliza, puede pasar a la atmósfera en forma de CO_2 , de ahí, puede ser fijado y transformado en glucosa por un vegetal, que al ser consumido proporcionará esa materia orgánica a un herbívoro, que puede degradar esa glucosa por respiración hasta CO_2 que pase de nuevo a la atmósfera. Un mismo átomo puede, a lo largo del tiempo, formar parte de la atmósfera, biosfera, geosfera, hidrosfera.

6.3. RELACIONES TRÓFICAS EN LOS ECOSISTEMAS, CADENAS Y REDES TRÓFICAS. PARÁMETROS TRÓFICOS. REPRESENTACIONES GRÁFICAS.

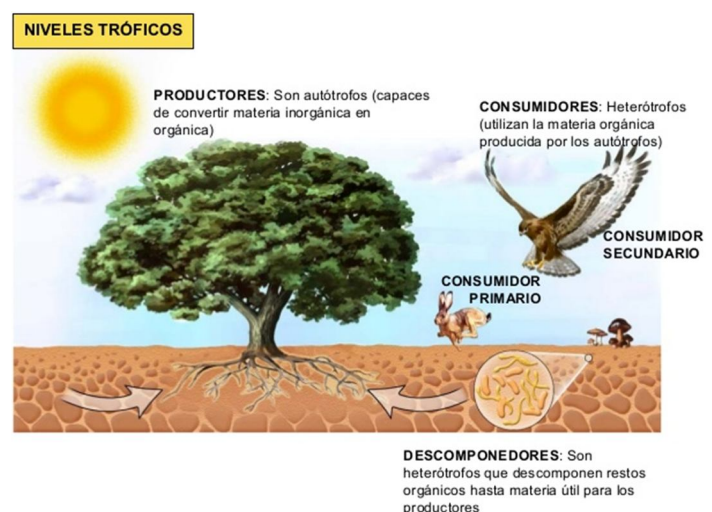
Las transferencias de materia y energía en un ecosistema se realizan a través de relaciones tróficas o alimentarias que pueden representarse mediante modelos de cadenas y redes tróficas.

CADENAS TRÓFICAS (PRODUCTORES-CONSUMIDORES-DESCOMPONEDORES)

Una cadena TRÓFICA 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 de una cadena siempre está ocupado por los organismos autótrofos, que se denominan **PRODUCTORES**, y lo forman principalmente plantas y algas. Los productores o autótrofos se dividen en:

- **Fotosintéticos:** utilizan como fuente de energía la solar. Dentro de este grupo se incluyen algunas bacterias, las algas, tanto unicelulares como pluricelulares y las plantas superiores.
- **Quimiosintéticos:** obtienen la energía necesaria para la síntesis de materia orgánica de la oxidación de ciertas moléculas inorgánicas (azufre, nitrógeno, hierro, etc). Son bacterias autótrofas que actúan independientemente de la luz solar, por ejemplo, las bacterias oxidadoras del azufre que viven a grandes profundidades marinas.



Parte de la materia orgánica sintetizada por los productores es utilizada por ellos mismos en el proceso de obtención de energía celular (respiración celular). El resto de la materia orgánica se almacena constituyendo los tejidos vegetales, pudiendo ser transferida, en forma de alimento, a los niveles tróficos superiores.

Los organismos heterótrofos se sitúan en los otros niveles y reciben el nombre de **CONSUMIDORES**. Hay diversos niveles de consumidores:

- El primer nivel de consumidores, o **consumidores primarios**, está constituido por los animales herbívoros, que obtienen el alimento directamente de los productores.
- El segundo nivel de consumidores, o **consumidores secundarios**, es el formado por los carnívoros que se alimentan de animales herbívoros.
- Los niveles superiores (consumidores terciarios, cuaternarios, etc.) lo integran carnívoros que se alimentan de otros carnívoros.

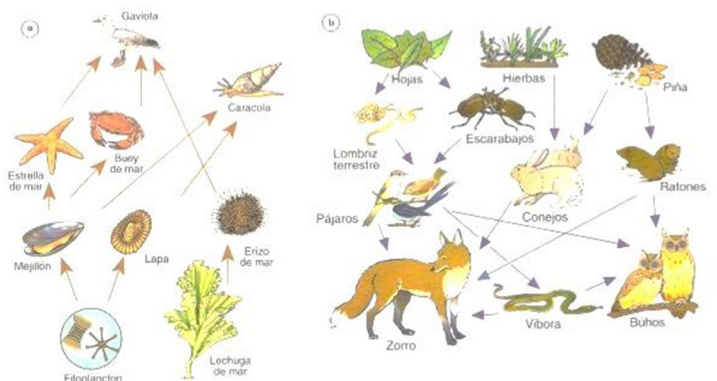
Entre los organismos consumidores existe una gran variedad de grupos que se distinguen por la composición de su dieta: **omnívoros**, que son los que se alimentan tanto de materia vegetal como animal; **hematófagos**, que se alimentan de componentes de la sangre; **necrófagos o carroñeros**, que obtienen su alimento de la materia muerta; etc.

Con la muerte de los diferentes productores y consumidores, la materia de todos ellos llega al nivel trófico de los **DESCOMPONEDORES**, de los cuales distinguimos dos grupos:

- **Organismos transformadores**, un grupo constituido por hongos y bacterias que transforman la materia orgánica compleja en materia orgánica más sencilla y una pequeña parte de materia inorgánica.
- **Organismos mineralizadores**, que comprende los grupos de bacterias que transforman la materia inorgánica en materia inorgánica aprovechable por los organismos productores.

REDES TRÓFICAS

Una especie de un nivel trófico normalmente se alimenta de más de una especie del nivel inferior, 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.



PARÁMETROS TRÓFICOS (Biomasa, Producción, Productividad-tasa de renovación y Tiempo de renovación)

Los organismos de los ecosistemas están continuamente tomando y consumiendo energía. Esta energía circula con el alimento a lo largo de las cadenas tróficas, es decir, va siendo transferida de los niveles inferiores a los superiores. Se denominan parámetros tróficos a las medidas utilizadas para evaluar tanto la rentabilidad de cada nivel trófico como la del ecosistema completo.

- **BIOMASA (B)**: es la cantidad en peso de materia orgánica de un individuo, población, de cualquier nivel trófico o de cualquier ecosistema. La biomasa se mide en kilogramos, gramos, miligramos, etc., aunque también es frecuente expresarla en unidades de energía (cal, Kcal, etc.) ya que un gramo de materia orgánica equivale a 4 kilocalorías. Suele expresarse en unidades de superficie o volumen. (mg/m^3 ; Kg/ha ; Kcal/cm^2 , etc). Con la reproducción y el crecimiento, los organismos (los ecosistemas) van aumentando su biomasa.
- **PRODUCCIÓN (P)**: es el aumento de la biomasa 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 suele expresar en $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{día}$, $\text{Kcal}/\text{ha}\cdot\text{año}$, $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{año}$ etc.

Se puede cuantificar de dos formas:

- **Producción primaria:** es la cantidad de materia orgánica fabricada por los productores por unidad de tiempo o la energía fijada por los organismos autótrofos por unidad de tiempo.
- **Producción secundaria:** aumento de biomasa por unidad de tiempo en descomponedores y consumidores, es decir, en todos los niveles tróficos excepto el nivel de los productores.

Puesto que una parte de esta materia orgánica es consumida por los propios organismos en cada nivel trófico (**gasto respiratorio**), podemos distinguir, en los dos casos, 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 (total fotosintetizado por día o año).
- **PRODUCCIÓN NETA (PN):** representa el **aumento** de biomasa por unidad de tiempo. Se obtiene restando a la producción bruta la energía consumida en la respiración (R)

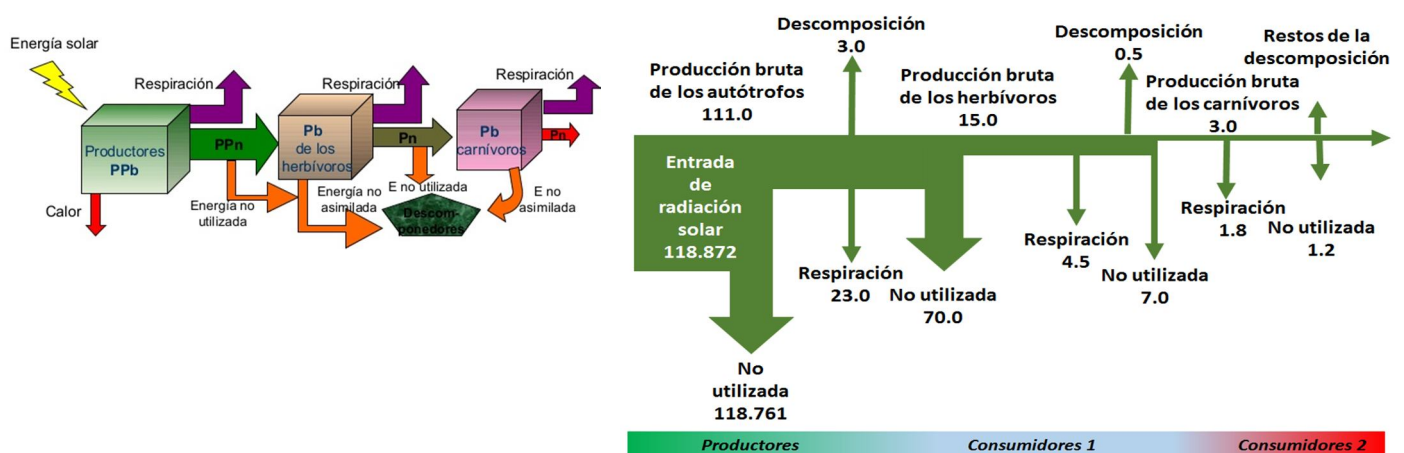
PRODUCCIÓN NETA = PRODUCCIÓN BRUTA – RESPIRACIÓN

$PN = 0$ ($PB=R$) Ecosistema en equilibrio (La biomasa permanece constante): la materia que se produce a nivel productores es igual a la que se gasta en la respiración; es decir, la cantidad total de energía acumulada por los productores es similar a la consumida y disipada por el sistema.

$PN > 0$ ($PB > R$) Ecosistema joven (La biomasa del ecosistema está aumentando). La materia que se produce por fotosíntesis es mayor que la consumida; es decir, la acumulación de energía es mayor que el consumo.

$PN < 0$ ($PB < R$) Ecosistemas en regresión (la biomasa disminuye): en los que la materia que se produce es menor que la que se consume; es decir, la cantidad de energía consumida es superior a la acumulada.

Situación típica de ecosistemas altamente explotados por los seres humanos o que sufren contaminación.



Es decir, en el nivel de los productores, la **producción primaria neta** es el resultado de restarle a la producción primaria bruta el gasto respiratorio, es decir, la energía necesaria para que el productor realice los procesos vitales. Esta energía se libera hacia el medio en forma de calor. Al resto de los niveles va llegando aprox un 10% de la energía del nivel anterior ya que no todo lo comido es digerido sino que una parte es desechada y expulsada por las heces. El total digerido y fijado al ser vivo corresponde a la producción secundaria bruta de la que hay que restar el gasto respiratorio (gasto metabólico) resultando así la **producción secundaria neta** que es incorpora a la biomasa de cada nivel trófico. **Regla del 10%** = La energía que pasa de un nivel a otro es aprox el 10% de la acumulada en él. Esta pérdida de energía (cerca del 90%) en cada nivel trófico explica por qué las cadenas alimentarias suelen ser cortas, habiendo muy pocas con más de 5 eslabones.

Los ecosistemas naturales de mayor producción son los arrecifes de coral, los estuarios, las zonas costeras, los bosques ecuatoriales y las zonas húmedas de los continentes. Los menos productivos son los desiertos y las zonas centrales de los océanos.

- **PRODUCTIVIDAD (p) O TASA DE RENOVACIÓN (r)**. La biomasa de un nivel trófico en un momento dado no siempre es una buena indicación de la rentabilidad energética de ese nivel. Es más interesante la **PRODUCTIVIDAD (p)**, es decir, la **producción –aumento de la biomasa- por unidad de biomasa ya existente**. Es una de las características más significativas de los ecosistemas, ya que nos da una idea de la eficacia de los distintos niveles tróficos de los mismos.

Al dar una visión de la velocidad que tarda en renovarse la biomasa que recibe el nombre de **TASA DE RENOVACIÓN (r)**. Se mide en unidades de tiempo (días, años). Su valor varía entre 0 y 1 (0% Y 100%)

$$p = PN / B$$

- Un valor de la productividad cercano a 1 (100%) indica que la biomasa del ecosistema se renueva muy rápidamente. Por ejemplo en los cultivos: casi toda la biomasa producida desaparece con la recolección y vuelve a aparecer en la siguiente cosecha; es decir, toda la energía que llega a ellos se emplea en la producción de nueva biomasa. Valor muy próximo a 1. También es muy elevada en el plancton debido a su elevada tasa de reproducción.
- Un bosque maduro tiene un valor de productividad cercano a 0, es decir, tiene una gran cantidad de biomasa que se mantiene constante en el tiempo. Toda la energía que llega se usa para el automantenimiento de la biomasa, por lo que la tasa de renovación es muy lenta.

EJERCICIO 1: Calcula la productividad del planctón de una laguna sabiendo que la biomasa del mismo es de 100 kg/m² y que la producción neta del mismo es de 100 kg/m².mes

EJERCICIO 2: A partir de los datos de la tabla, contesta:

	P Bruta	Respiración	P Neta
Árboles	4,35	1,29	3,06
Arbustos	9,95	5,17	4,78
Herbáceas	12,34	2,54	9,80
Descomponedores	-	5,45	-
Biomasa total 11322 g C/m ²	g C/ m ² . día		

1.- Calcula la producción primaria neta

Respuesta= 17,64 g/C m² . día

2.- Cuál es el gasto respiratorio en el primer nivel trófico?

Respuesta= 9,00 gC/ m².día

3.- Deduce el grado de madurez del ecosistema

Respuesta: r=0,0016, muy cercano a 0 por lo

que se trata de un ecosistema maduro (bosque, selva tropical) donde hay una gran cantidad de biomasa que se mantiene constante.

EJERCICIO 3: a partir de los datos de la tabla, donde se compara la biomasa, la producción primaria bruta y el gasto respiratorio de dos ecosistemas (prado y bosque) indica cual de los dos ecosistemas tendrá una mayor productividad (r).

	BIOMASA	PP BRUTA	GASTO RESPIRATORIO
PRADO	2 kg/m ²	6 g/m ² -año	3 g/ m ²
BOSQUE	18 kg/m ²	8,5 g/m ² -año	8 g/ m ²

Respuestas: r (prado) = 0,0015 gC/ m².año > r(bosque) = 0,000005 gC/m².año

- **TIEMPO DE RENOVACIÓN (t_r)** es el tiempo que tarda un nivel trófico o un ecosistema en renovar su biomasa. Se mide en días, meses, años, etc. Se calcula $t_r = B/PN$

Ejemplo: calcula el tiempo de renovación de un ecosistema sabiendo que su biomasa (B) es de 16000 gC/m² y que su Producción neta (PN) anual es de 1000 g. Respuesta= necesita 16 años para renovar toda su biomasa.

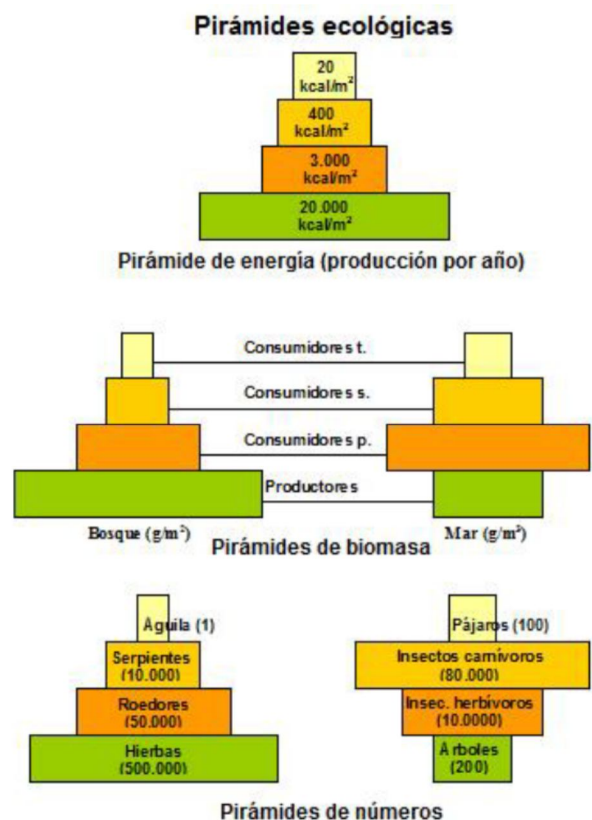
Los productores pueden presentar dos estrategias en relación a su t_r :

1. Especies rápidas. Son pequeños, de estructura y morfología simple, y con una tasa de reproducción alta. Por ejemplo, el fitoplancton.
2. Especies lentas. Son de gran tamaño, estructura y morfología compleja, y una tasa de reproducción muy baja. Por ejemplo, un bosque de encinas.

REPRESENTACIONES GRÁFICAS DE LOS PARÁMETROS TRÓFICOS. PIRÁMIDES TRÓFICAS O ECOLÓGICAS

Las pirámides ecológicas son gráficas en las que se representan algunos parámetros de un ecosistema como el número de individuos, la biomasa o la energía. Cada nivel trófico se representa en un rectángulo cuya área es proporcional al valor del parámetro ecológico representado.

- **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 puede ocurrir que, en cierto instante, la biomasa del fitoplancton sea inferior a la del zooplancton, tras un período de consumo máximo. Sin embargo, poco tiempo después el fitoplancton se regenera ya que tiene una tasa de renovación muy elevada y sirve de nuevo de sustento al zooplancton.
- **Las pirámides de números** representan el número de individuos de cada nivel trófico. Cuando los productores primarios son muy grandes en relación con los herbívoros o en redes de parásitos están **invertidas** (un árbol que sustenta a muchos insectos).
- **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, siguiendo la regla del 10%.



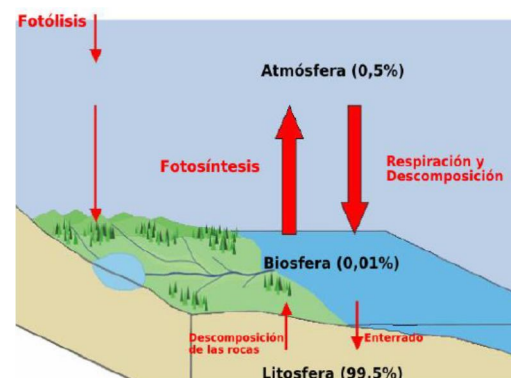
6.4. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS: CICLOS DEL OXÍGENO, CARBONO, NITRÓGENO, AZUFRE Y FÓSFORO.

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 a otros sistemas como la atmósfera, la geosfera o la hidrosfera, es decir, circulan desde la biocenosis hasta el biotopo.

Ciclo nutrientes gaseosos: O + C + N

Ciclos nutrientes sedimentarios: P + S

1. Ciclo del oxígeno: El O₂ surgió en la atmósfera como consecuencia de la aparición de los organismos fotosintéticos. En un principio, el oxígeno producido como producto de desecho de la actividad fotosintética fue capturado rápidamente por los minerales de la superficie terrestre. Una vez



que estos minerales estuvieron mayoritariamente en forma oxidada, el oxígeno comenzó a acumularse en la atmósfera y, en menor cantidad, en la hidrosfera.

- Las plantas producen oxígeno durante la fotosíntesis, que se libera a la atmósfera.
- Los animales, los seres humanos y demás seres vivos autótrofos y heterótrofos que respiran obtienen oxígeno y este pasa a su cuerpo donde es llevado a las células y tejidos para que estos puedan funcionar.
- Una vez que ha sido utilizado, regresa a la atmósfera como desecho de la respiración en forma de dióxido de carbono (CO_2).
- Las algas en los océanos y las plantas verdes de la tierra absorben el dióxido de carbono y lo usan durante la fotosíntesis para sintetizar proteínas y conseguir la glucosa que necesitan para vivir.
- De nuevo, como resultado de la fotosíntesis las plantas liberan el oxígeno al aire. Así se completa el ciclo.

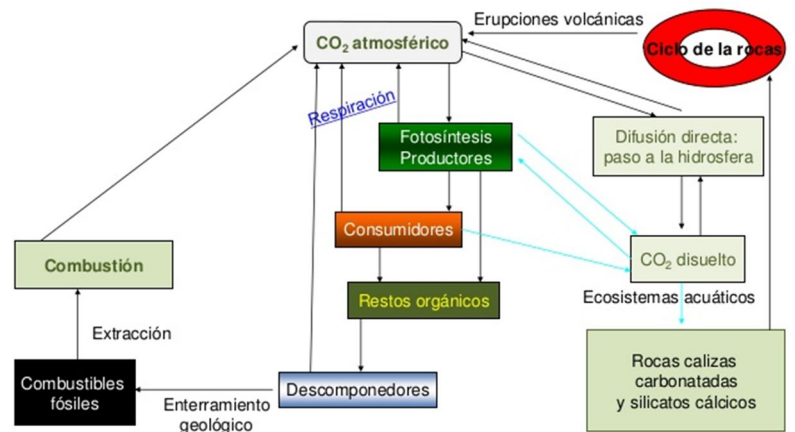
El ciclo del oxígeno tiene dos posibles salidas que representan una pequeña pérdida: el oxígeno que sigue oxidando a los minerales de la superficie terrestre y el que queda atrapado en los sedimentos orgánicos de los fondos marinos. El ser humano modifica este ciclo a través de la destrucción de la capa de ozono. También la deforestación disminuye la disponibilidad del oxígeno molecular en la atmósfera.

2. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono se puede dividir en dos fases:

a) **Ciclo biológico:** en él la propia biosfera controla los intercambios de este elemento con la atmósfera. Mediante la fotosíntesis el carbono es retenido y mediante la respiración es devuelto. La fotosíntesis moviliza cada año el 5% del CO_2 atmosférico, lo que significa que cada 20 años lo renueva totalmente.

b) **Ciclo biogeoquímico:** controla las transferencias de CO_2 entre la biosfera y los demás subsistemas.



- El carbono se encuentra en la atmósfera (CO_2 , CO y CH_4), en la hidrosfera (ión carbonato o bicarbonato), en la geosfera (rocas carbonatadas o en forma de combustible fósil -carbón y petróleo).
- La mayor parte del metano (CH_4) que llega a la atmósfera procede de la biosfera, concretamente de los procesos fermentativos que tienen lugar durante la digestión de los rumiantes (llevados a cabo por las bacterias metanógenas).
- Con relación al CO , la mayor parte procede de las erupciones volcánicas, de las tormentas eléctricas y de los incendios forestales no antrópicos.
- En el ciclo biológico, gracias a la fotosíntesis, las plantas captan el carbono a partir del dióxido de carbono atmosférico y lo integran en sus tejidos. Los consumidores, al alimentarse de las plantas, lo incorporan a su cuerpo. La mayor parte del carbono se pierde en forma de CO_2 por la respiración, por lo que conforme se asciende en la cadena trófica la cantidad de biomasa es menor. Cuando los seres vivos mueren, por la acción de los descomponedores, el carbono orgánico es devuelto a la atmósfera en forma de CO_2 (fermentaciones), otros microorganismos lo incorporan al humus o lo transforman en metano (CH_4).
- El CO_2 atmosférico se disuelve con facilidad en agua para formar ácido carbónico, que ataca a los carbonatos liberando iones bicarbonato.
- En el mar, los animales transforman nuevamente el bicarbonato para incorporarlo a sus tejidos endurecidos (esqueletos y conchas).
- Cuando los organismos marinos mueren, parte del esqueleto cálcico constituirá los sedimentos que darán lugar a las rocas carbonatadas. También existe una fuente de carbono marino en los arrecifes calcáreos. Otra parte escapará hacia la atmósfera en forma de CO_2 .

- Parte de las rocas carbonatadas se enterrarán y se fundirán por la tectónica de placas. De estos procesos, el CO_2 puede volver a la atmósfera a través de las erupciones volcánicas.
- En ciertas ocasiones, la materia orgánica de la biosfera puede quedar sepultada fuera del contacto con el O_2 , por lo que sufre un proceso de fermentación que la transformará en carbón y petróleo que se acumulan en la geosfera durante mucho tiempo.

El ser humano modifica la dinámica de este ciclo utilizando masivamente los **combustibles fósiles**, por los procesos de **deforestación** y la producción de **cemento** que origina la descomposición de las rocas calizas.

3. Ciclo del Nitrógeno : es el gas más abundante de la atmósfera (78%), sin embargo **NO** puede ser asimilado directamente por los productores. Deben tomarlo del suelo (donde **NO** abunda) en forma de NITRATO (NO_3^-) o AMONIACO (NH_3). Los consumidores obtendrán el N a partir del consumo de productores.

El ciclo consta de cuatro fases:

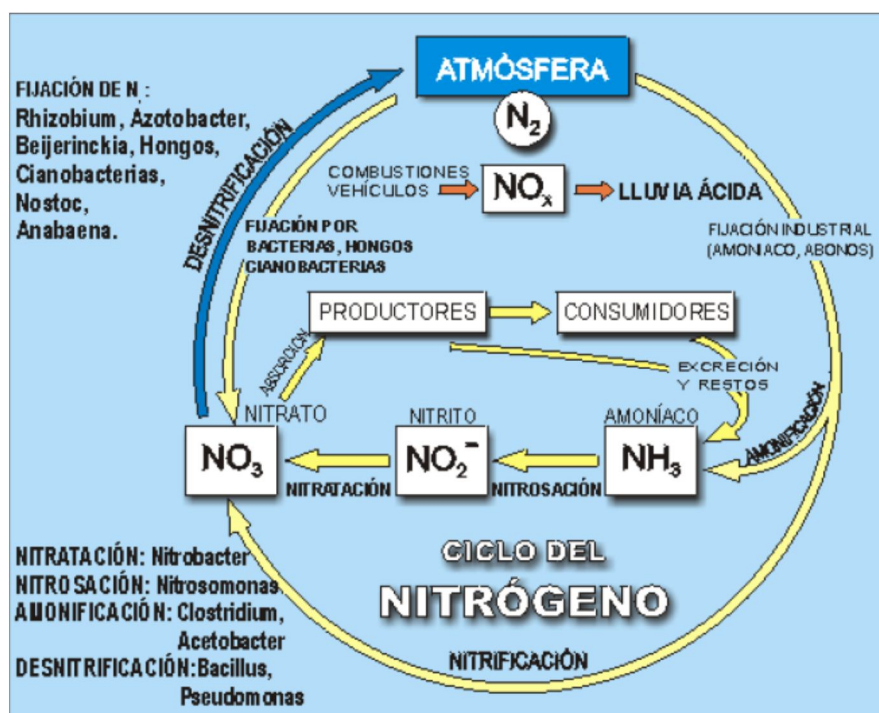
1.- FIJACIÓN: paso del N_2 atm a formas que se pueden incorporar al suelo y a los seres vivos. Puede ser abiótica (no intervienen los seres vivos) y biótica (intervienen los seres vivos).

- La FIJACIÓN ABIÓTICA: los óxidos de nitrógeno (NO_x) se forman espontáneamente a partir del N_2 durante las tormentas eléctricas (fijación atmosférica) o son enviados hacia la atmósfera en las erupciones volcánicas. Los NO_x atmosféricos reaccionan con el agua y caen con la lluvia. Al llegar al suelo reaccionan los cationes existentes en él, formando los nitratos (NO_3^-) que las plantas asimilan. (de 1 a 10 kg/hectárea.año)
- La FIJACIÓN BIÓTICA: es llevada a cabo por microorganismos, de vida libre y simbiotes, que convierten el N de la atmósfera del suelo en otras formas aprovechables por las plantas (por ejemplo, las bacterias del género *Azotobacter* lo fijan directamente, las bacterias del género *Rhizobium* se alojan en nódulos de las raíces de las leguminosas (judías, habichuelas, etc.) por lo que estas plantas producen un abonado natural de los suelos.

2.- AMONIFICACIÓN: formación de NH_3 por descomposición de la materia orgánica.

3.- NITRIFICACIÓN: el NH_3 puede ser utilizado directamente por los microorganismo y plantas, o ser transformado en nitratos por acción de bacterias nitrificantes.

4.- DESNITRIFICACIÓN: en condiciones anaerobias, los nitratos pasan a N_2 y a óxidos de nitrógeno que se liberan a la atmósfera reduciéndose la cantidad de nitratos del suelo (se pierde entre el 20% y el 80% del N del suelo), por eso en la agricultura se trata de impedir la desnitrificación aireando el suelo (deshacer los terrones de tierra)



El ser humano interviene en el ciclo del nitrógeno de varias formas, entre las que destacamos:

- Abonado excesivo de cultivos, que puede dar lugar al aumento del N_2O en la atmósfera que constituye un gas de efecto invernadero, al deterioro de la composición química del suelo por la escasez de otros nutrientes y, si el exceso de nitratos llega a los ríos o lagos, puede favorecer la eutrofización.
- Procesos de combustión de transporte o por generación energética que dan lugar a la liberación de NO_2 en la atmósfera. Allí con el vapor de agua atmosférico reaccionan formando ácido nítrico que cae con la lluvia formando la lluvia ácida.
- Fijación industrial del nitrógeno atmosférico para convertirlo en amoníaco y fertilizantes.

4. Ciclo del fósforo

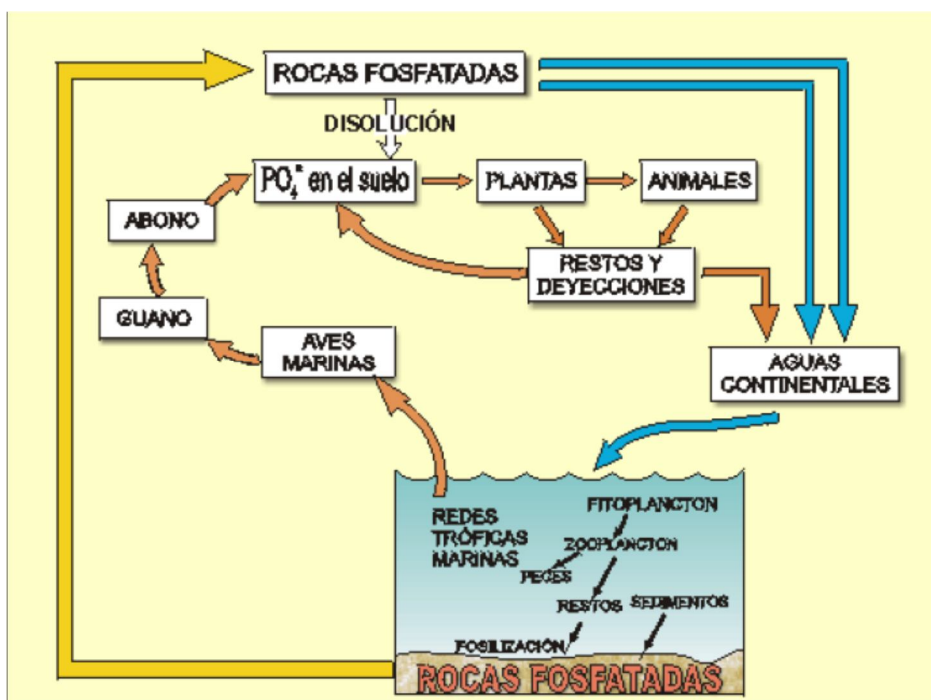
El P y el N se encuentran en la Tierra en una relación de 1:23, y sin embargo, los organismos deben de poseer más cantidad de P que de N. Por esto, el P es el elemento más importante como limitador de producción de biomasa en ecosistemas.

En la biosfera forma parte de muchas moléculas orgánicas (lípidos, ácidos nucleicos) y es un componente de los huesos y caparazones. Pero su reserva fundamental en la naturaleza es la corteza terrestre, ahí se encuentra inmovilizado durante mucho tiempo (de 100.000 a 100.000.000 años) hasta que por erosión es liberado y queda disponible para que lo puedan tomar 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 que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo. Otra parte es absorbida 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) a tierra.

Es el principal factor limitante en los ecosistemas acuáticos y en la agricultura. 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.

El ser humano modifica la dinámica de este ciclo con los compuestos de fósforo que se recogen directamente de los grandes depósitos de guano acumulados en algunos lugares de la Tierra para utilizarlo como abono en los terrenos de cultivo, a veces en cantidades desmesuradas, originándose problemas de eutrofización.

También se agotan las reservas de fosfatos extraídos a través de la explotación minera. Se calcula que únicamente quedan reservas para unos 50 años.



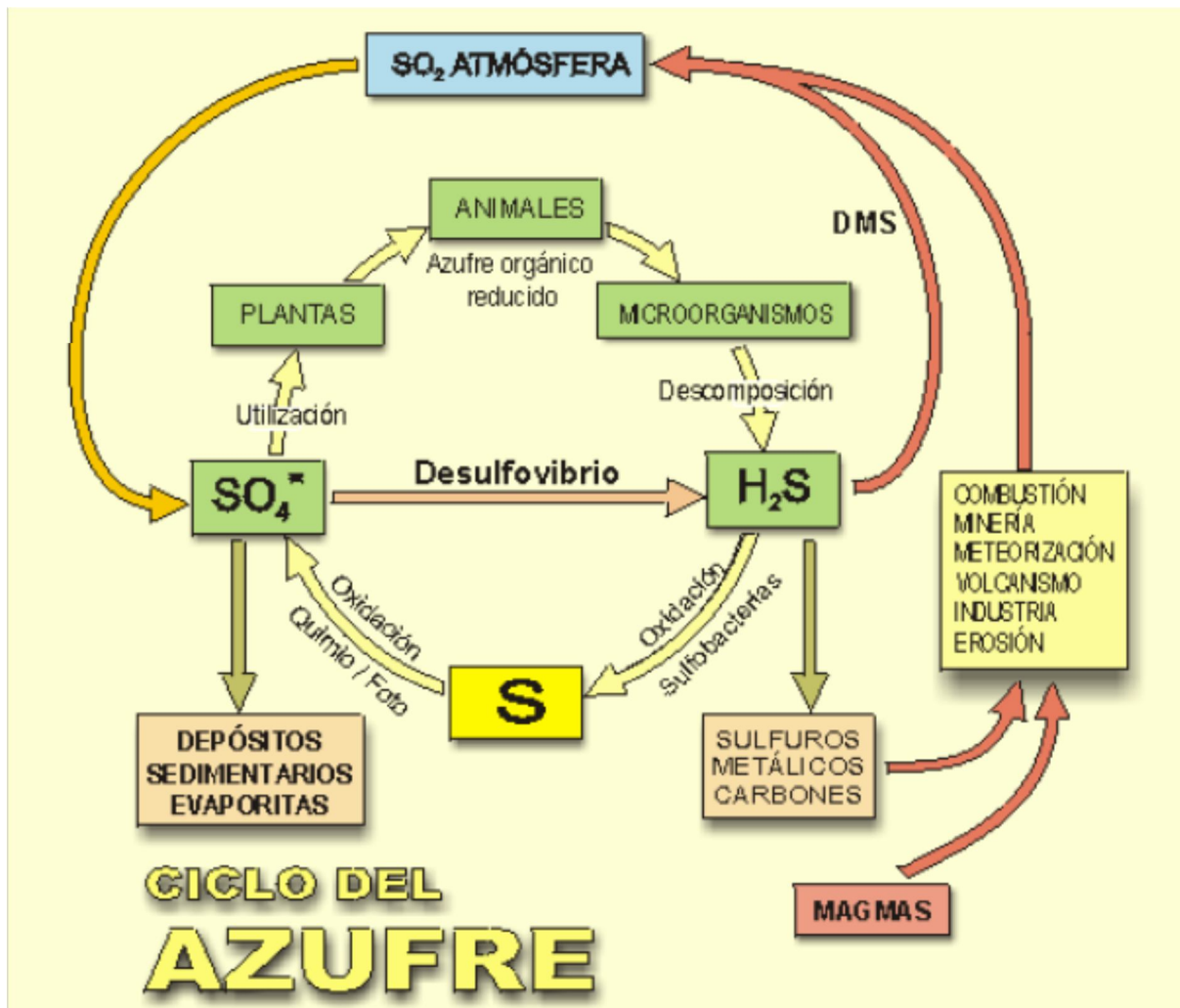
5. Ciclo del azufre

El azufre se encuentra de forma mayoritaria en la hidrosfera en forma de sulfato (SO_4^{-2}). El ciclo de transferencia tierra-océano es bastante lento.

En tierra, el azufre se deposita formando yesos. Los sulfatos en general, son abundantes en los suelos; los que se pierden por lixiviado (líquido que arrastra partículas desde la superficie terrestre hasta las zonas subterráneas), se van reponiendo por las precipitaciones de forma natural.

El azufre es usado por los seres vivos en pequeñas cantidades. Forma parte de la estructura de algunos aminoácidos, por tanto, es un componente imprescindible en las estructuras proteicas. Los seres vivos, al morir, liberan el azufre en forma de H_2S (sulfuro de hidrógeno) a la atmósfera.

El paso de H_2S del océano a la atmósfera lo llevan a cabo unas algas especiales denominadas DMS (dimetil sulfuro que es el gas que emiten). Al morir masivamente estas algas liberan el dimetil sulfuro a la atmósfera, éste reacciona aquí para formar ácido sulfúrico que hace de núcleo de condensación sobre el que precipita el vapor de agua, formando pequeñas gotas de agua que constituyen las nubes. Al precipitar sobre la tierra en forma de lluvia Devuelven el azufre al mar o a los continentes, con lo que el ciclo se cierra.



En la atmósfera también hay azufre en forma de SO_2 o de SO_4 que proceden de las erupciones volcánicas. El ser humano modifica este ciclo aumentando la cantidad de SO_2 y SO_4 en la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, sobre todo carbón, que reaccionan produciendo ácido sulfúrico que es uno de los causantes de la lluvia ácida.

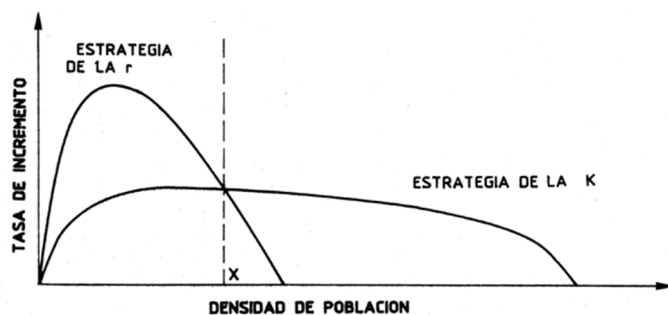
La actividad industrial del hombre está provocando exceso de emisiones de gases sulfurosos a la atmósfera y ocasionando problemas como la lluvia ácida.

6.5. LOS ECOSISTEMAS EN EL TIEMPO: SUCESIÓN, AUTORREGULACIÓN Y REGRESIÓN.

SUCESIONES. ESTRATEGIAS DE LA R Y ESTRATEGIAS DE LA K

Son 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**. La comunidad clímax representa el grado de máxima madurez, de equilibrio con el medio, al que tienden todos los ecosistemas naturales. Las sucesiones comienzan con especies pioneras u oportunistas (**estrategas de la R**) que con el tiempo serán sustituidas por especies especialistas (**estrategas de la K**).

En el mundo vegetal podemos poner como especies estrategias de la R las herbáceas (rápida reproducción, muy numerosas, tiempo de vida corto, pequeño tamaño) y como especies estrategias de la K un árbol tipo roble (reproducción lenta, largo tiempo de vida, gran tamaño). Si la comparativa la establecemos en el mundo animal tendremos un ratón como r estrategia (se reproduce con facilidad, número amplio de crías de las que mueren muchas, no hay cuidado de la prole, poca esperanza de vida, pequeño tamaño) y un elefante como K estrategia (poca reproducción, período de gestación largo, una sola cría con muchos cuidados, esperanza de vida elevada, gran tamaño)



	“r”	“K”
Tamaño de población	Fluctuante	Constante
Vida	Corta	Larga
Cuerpo	Pequeño	Grande
Crecimiento	Rápido	Lento
Maduración	Temprana	Tardía
Número de Crías	Elevado	Reducido
Tamaño de crías	Pequeñas	Grandes
Cuidado de las Crías	Corto	Extenso
Nº de Camadas al año	Muchas	Pocas

Tipos de sucesiones

Se habla de **SUCESIÓN PRIMARIA** cuando el lugar no estuvo ocupado con anterioridad por una comunidad (Isla volcánica recién formada, 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. Las sucesiones secundarias suelen ser más cortas que las primarias y su longitud dependen del estado de conservación del suelo. Suelen producirse por causas humanas.

A medida que transcurren las sucesiones, se pueden apreciar una serie de cambios en los ecosistemas que llamaremos características de la sucesión o parámetros indicadores de la madurez.

Parámetros indicadores de la madurez:

- Evolución de los parámetros tróficos, la biomasa aumenta con la madurez del ecosistema, la productividad decrece. Una comunidad clímax es aquella en la que hay la máxima biomasa y la mínima tasa de renovación.
- Disminución de la producción neta, que llega prácticamente a cero en los ecosistemas climácicos (comunidad clímax), ya que toda la biomasa producida se utiliza en la respiración (mantenimiento) de la biocenosis. Según esto, en un ecosistema joven (1as 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. Aumento de la diversidad (aumenta el número de especies) y se estabiliza el número de individuos de las poblaciones.
- Aumenta la estabilidad y el número de nichos ecológicos. Las relaciones entre las especies de la biocenosis son muy fuertes.

- Cambio de unas especies por otras. Las especies pioneras u oportunistas (estrategas de la r), son sustituidas por especies especialistas (estrategas de la K).

Perturbaciones. Papel de la actividad humana.

Definimos **REGRESIÓN** como el proceso de reorganización de la estructura de un ecosistema que se produce cuando sufre una perturbación o se destruyen algunos de sus componentes. El ecosistema se hace más inmaduro y pierde biodiversidad. La regresión no es un proceso inverso a la sucesión.

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

1. La deforestación: el daño causado por la tala y la quema de árboles depende de la intensidad con la que se produzca y del tipo y estado del suelo. La deforestación con fines agrarios ha ido en aumento. **En los bosques templados**, al existir mucha materia orgánica en el suelo, **este conserva su fertilidad durante algunos** años tras la deforestación. Así, la restauración del bosque primitivo va a ser posible en función del estado de conservación de dicho suelo. **En los bosques tropicales**, al no existir apenas materia orgánica en el suelo debido al rápido reciclaje de la misma, la **deforestación masiva conduce a un empobrecimiento total**, aunque si la tala no fue muy drástica, existe la posibilidad de lenta recuperación.

2. Incendios forestales: en los incendios naturales puede producirse un cierto rejuvenecimiento de los ecosistemas, sobre todo en los bosques templados. En el caso de los incendios provocados por la acción humana, a pesar de que las especies pirófilas (que viven sobre suelos quemados) se ven favorecidas, el humus es destruido, dejando el suelo expuesto al efecto de la erosión. Numerosos incendios en la misma zona ponen en peligro la regeneración natural de la misma.

3. Introducción de nuevas especies: una nueva especie en un ecosistema puede poner en peligro el equilibrio del ecosistema o a las especies autóctonas que ocupaban el mismo nicho. Ejemplos conocidos son los casos de la introducción del mejillón cebra en nuestro país o los conejos en Australia.

6.6. AUTORREGULACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y REPERCUSIÓN DE LA ACCIÓN HUMANA SOBRE ELLOS.

Los ecosistemas son sistemas más o menos estables en los que el número de seres que los componen no es ilimitado. Existen **factores abióticos y bióticos** que limitan el crecimiento de las distintas poblaciones que lo constituyen, de forma que éstas se mantienen en equilibrio. Este proceso se denomina autorregulación del ecosistema.

• Factor limitante y valencia ecológica

Dentro de los factores ecológicos que determinan el desarrollo de una especie siempre encontramos uno especialmente importante que es el factor limitante. De los niveles en los que se encuentre este factor dependerá el éxito de la especie. Los factores limitantes de los ecosistemas terrestres son principalmente el agua (humedad), la temperatura, la luz y los nutrientes.

En los ecosistemas acuáticos son la luz, la salinidad y el oxígeno.

- **Valencia ecológica:** Intervalo de tolerancia de una especie respecto a un factor cualquiera del medio que actúa como factor limitante. 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- y, a continuación, el factor ambiental (euritermo / estenotermo, eurihialino / estenohialino..).

El exceso o defecto de un factor 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.

Entre los FACTORES ABIÓTICOS que influyen en este proceso se encuentran la cantidad de recursos disponibles, como el suelo, la luz, la temperatura y la cantidad de agua.

Principales factores abióticos limitantes de la producción primaria:

- **La temperatura y la humedad** son los factores que limitan la producción primaria en las áreas continentales, la eficiencia fotosintética aumenta al aumentar ambos parámetros.
- **La luz:** condiciona la proliferación de organismos fotosintéticos sobre todo en los ecosistemas acuáticos.
- **Nutrientes:** el **P** y el **N** son tan esenciales como el CO_2 y el H_2O , siendo el fósforo es el principal factor limitante de la producción primaria ya que hay menor disponibilidad de él. El N tiene menor importancia que el P ya que se encuentra en la atmósfera y agua.
- **El CO_2 :** una concentración baja es limitante para la producción de materia orgánica, salvo para las plantas C4 (plantas propias de regiones tropicales secas con fuerte insolación y elevadas T^a -caña de azúcar, maíz, etc-) que crecen muy rápido a pequeñas concentraciones de CO_2

Los **FACTORES BIÓTICOS** que regulan la cantidad de organismos en un ecosistema son las relaciones interespecíficas.
Relaciones interespecíficas. Nicho ecológico /Habitat

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).

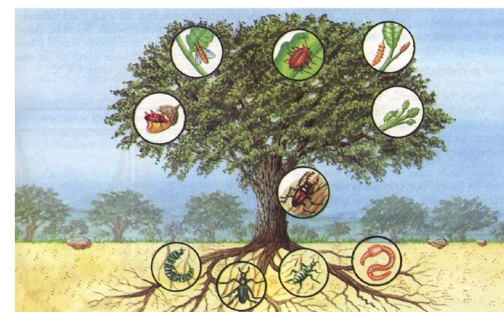
Tipo de interacción	Especie 1	Especie 2
Neutralismo	0	0
Competencia	-	-
Parasitismo	+	-
Depredación	+	-
Comensalismo o inquilinismo	+	0
Mutualismo o simbiosis	+	+

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. (**Principio de exclusión competitiva** o ley de Gause).

Relacionado con la competencia interespecífica nos encontramos con el concepto de **NICHO ECOLÓGICO**.

El nicho ecológico se puede definir como el conjunto de circunstancias, relaciones con el ambiente, conexiones tróficas y funciones ecológicas que definen el papel desempeñado por una especie en el ecosistema. El concepto de nicho se deriva de la competencia establecida entre las especies, ya que, si dos de ellas tienen el mismo oficio en un mismo ecosistema, es decir, el mismo nicho ecológico, competirán entre sí y una de ellas será excluida.



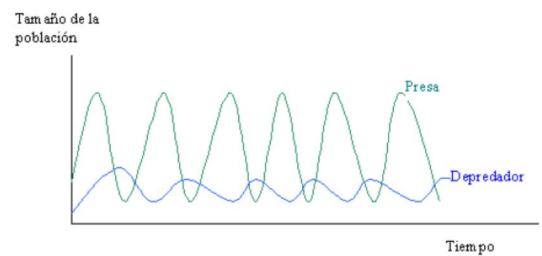
Por último, dentro de la competencia conviene recordar que existe competencia intraespecífica (entre individuos de una misma especie, por ejemplo dos machos compitiendo por una hembra o dos árboles de la misma especie que están muy juntos y sus hojas compiten por la luz).

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.

Ej: El guepardo-gacelas o las águilas de los conejos.

El modelo de relación depredador-presa es un ejemplo claro de fluctuación. Definimos **fluctuaciones** como los cambios periódicos en el número de individuos de una población. Como observamos en la gráfica, las presas iniciarán su crecimiento y la población del depredador, al tener alimento en abundancia, comenzará a crecer hasta que la población de la presa comience a escasear.



Pasado un cierto tiempo, los depredadores, al no existir suficientes presas para mantener la elevada población, morirán de hambre, con lo que su número disminuirá. Cuando éste sea muy reducido, las presas volverán a iniciar su aumento y así sucesivamente.

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), perjudicándole. Son ejemplo de esta relación las tenias, los mosquitos, las garrapatas o los piojos.

E) Comensalismo. Una especie, el comensal, se beneficia al alimentarse de los restos de comida de un depredador. (Los buitres y la carroña o el tiburón y el pez rémora)

F) Inquilinismo 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 o pez payaso en las anémonas)

G) Mutualismo y simbiosis

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

6.7. CONCEPTO DE BIODIVERSIDAD.

Se entiende por **diversidad biológica o biodiversidad** la riqueza o variedad de las especies de un ecosistema y a la abundancia relativa de los individuos de cada especie. Según esta definición, al comparar dos ecosistemas, será más diverso, no sólo el que tiene un mayor número de especies sino, además, el que tenga un mayor número de individuos por especie. Un ecosistema diverso es un ecosistema más estable, debido al gran número de relaciones que se establecen entre las especies.

Tras la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, en el término de biodiversidad se engloban tres conceptos:

- Variedad de especies que hay en la tierra.
- Diversidad de ecosistemas en nuestro planeta.
- Diversidad genética. Los diferentes genes que poseen los individuos les permiten evolucionar, enriquecerse por cruzamiento y adaptarse a las diferentes condiciones ambientales.

Distribución espacial y temporal de la biodiversidad:

A largo de la historia de la vida, la biodiversidad ha sufrido numerosos altibajos; cuando las condiciones del medio cambiaban bruscamente, muchas de las especies, sobre todo las k estrategias, se extinguieron. Las cinco extinciones

masivas ocurridas a lo largo de la historia geológica han provocado caídas en la biodiversidad; sólo las especies generalistas (estrategas de la r) lograron sobrevivir.

Con relación a la distribución espacial de la misma, podemos resumir que la diversidad en nuestro planeta varía latitudinalmente siendo máxima en los trópicos y mínima en los polos, con la excepción de los desiertos y las zonas humanizadas donde es muy baja.

6.8. CAUSAS Y REPERCUSIONES DE LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD.

El aumento de la población humana, unido al incremento de la cantidad de recursos naturales utilizados, constituye el punto desencadenante del problema de la pérdida de biodiversidad, cuyas causas se pueden resumir en cuatro apartados:

a) **La deforestación:** es un ejemplo de regresión producida por la acción humana. El daño causado por la tala de árboles depende de la intensidad con que ésta se produzca y del tipo y estado del suelo. La deforestación con fines agrarios ha ido aumentando. En bosques templados, al existir mucha materia orgánica en el suelo, éste conserva su fertilidad durante algunos años tras la deforestación. En selvas tropicales, al no existir apenas materia orgánica en el suelo, debido al rápido reciclaje de la misma, la desforestación masiva conduce a un empobrecimiento total.

b) **La sobreexplotación:** el sobrepastoreo, la caza y pesca abusivas, el coleccionismo y el comercio ilegal de especies protegidas.

c) **Alteración, destrucción y fragmentación de hábitats,** por cambios en los usos del suelo agricultura, ganadería, industria y urbanizaciones; las extracciones masivas de agua; la fragmentación de hábitats naturales, por la construcción de obras públicas (carreteras, vías de ferrocarril) en el interior de los bosques; la contaminación de las aguas y del aire; el cambio climático; los incendios forestales.

d) **Introducción y sustitución de especies:** la introducción de especies foráneas; la sustitución de especies naturales por otras obtenidas por selección artificial (por ejemplo, la veintena de «semillas milagrosas» utilizadas en la agricultura y la decena de animales domésticos).

LAS REPERCUSIONES NEGATIVAS que tiene la pérdida de la biodiversidad están relacionadas con los servicios que prestan al ser humano, entre los que están:

a) Estabilidad y mantenimiento de los ecosistemas. Todas las especies intervienen en numerosos procesos esenciales para el funcionamiento de la biosfera entre los que destacamos:

- . Relaciones tróficas entre los distintos elementos del sistema.
- . Fotosíntesis.
- . Ciclos biogeoquímicos: que permiten el reciclaje de nutrientes y la limpieza del agua y del aire.
- . Reciclaje de residuos.
- . Formación de suelo, prevención de su erosión y regulación tanto de su fertilidad como de la retención y circulación del agua.
- . El mantenimiento de la composición de la atmósfera, que protege de las radiaciones.

b) Recursos alimenticios. Nuestros recursos alimentarios dependen de la biodiversidad. Hay catalogadas 75000 especies vegetales comestibles de las que utilizamos una veintena. Algo parecido sucede con los animales. Es importante la utilización que hace el hombre de bacterias, hongos en muchos procesos industriales.

c) Obtención de medicamentos y fármacos Aproximadamente, un tercio de los remedios utilizados contra el cáncer y otras enfermedades procede de hongos y plantas silvestres, encontrados en su mayoría en la selva tropical (por ejemplo, la morfina y la codeína, que alivian el dolor; la quinina, que combate la malaria; la vinblastina, que se utiliza en el tratamiento de linfomas) . El ácido acetilsalicílico se obtuvo en 1889 de la corteza del sauce. Si protegemos la biodiversidad estamos protegiendo unos valiosos recursos farmacéuticos, algunos de los cuales aún no han sido descubiertos.

d) Fuente de otro tipo de recursos: fertilizantes (excrementos de animales y restos vegetales), material de construcción (madera, productos de la madera), combustible (madera, carbón, petróleo, biomasa, biocombustibles), objetos de adorno, material de confección (pieles de animales, seda, fibras vegetales).

e) Otros intereses:

- . Interés recreativo o turístico: las regiones con una rica flora y fauna pueden obtener ingresos del ecoturismo, de la caza controlada, de los safaris, etc.
- . Interés científico: cada especie es el resultado irreplicable de un lento proceso de evolución y adaptación.