

TEMA 4º.- LA BIOSFERA: MATERIA Y ENERGÍA.

1º.- INTRODUCCIÓN

Biosfera: zona de la Tierra donde existe la vida.

Vladimir Ivanovich Vernadsky (1.911).

La mayor parte de los biomas se localizan sobre la superficie sólida del planeta.

Los límites de la misma son: superior (hasta los 10 km.), hidrosfera (hasta los 11 km. en las fosas oceánicas) y litosfera (hasta los 2 km. de profundidad).

Los requisitos obligatorios para la existencia de vida son dos:

a.- **Energía:** normalmente el Sol (fotosíntesis) o compuestos químicos (en el fondo oceánico o en dorsales: quimiosíntesis).

b.- **Temperatura** que permita la existencia de agua en estado líquido.

La biosfera es un sistema abierto que permite la entrada de energía y materia (Sol, O₂, H₂O, CO₂, P, N ...) y la salida de otras formas de energía y materia (calor, O₂, CO₂, H₂O ...)

ECOSFERA: ATMOSFERA + GEOSFERA + HIDROSFERA + BIOSFERA

Los tres primeros parámetros constituyen los componentes abióticos de la misma y la biosfera el componente biótico.

La materia que abandona la biosfera hace un recorrido por el resto de los sistemas terrestres originando los ciclos biogeoquímicos.

Biosfera: es el conjunto de biocenosis o comunidades de la ecosfera planetaria.

Ecosistema: es el conjunto de las **biocenosis** (organismos) y el **biotopo** (ambiente físico-químico) que ocupan.

Según **Margaleff** ecosistema es un sistema formado por individuos de muchas especies en el seno de un ambiente de características definibles en implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste y relación.

Haecel (1.869) creó el término Ecología: ciencia que estudia los habitats de los seres vivos.

Hoy, la Ecología es la ciencia que estudia los ecosistemas, caracterizados por:

a.- Formados por organismos y medio que interaccionan en forma de flujo de energía y ciclo de materia.

b.- Capacidad de autorregulación, es decir responden a las condiciones del medio.

El planeta Tierra presenta:

1º.- Rotación (día y noche) y translación (inclinación del eje de rotación: estaciones y distinta duración del día y la noche), que hacen que la energía procedente y recibida del Sol sea distinta en los puntos del planeta, lo cual da origen a diversos tipos de climas.

2º.- La energía interna que cambia la superficie del planeta: deriva de continentes, composición mineralógica de las rocas, variaciones en altitud

Todos estos factores: calor, luz, lluvia, altitud, composición determinan la distinta distribución de los seres vivos sobre el planeta, dando origen a distintos biomas.

Bioma: conjunto de comunidades que se extienden por una extensa zona geográfica con un clima característico. Hay dos tipos: 8 terrestres y 3 acuáticos.

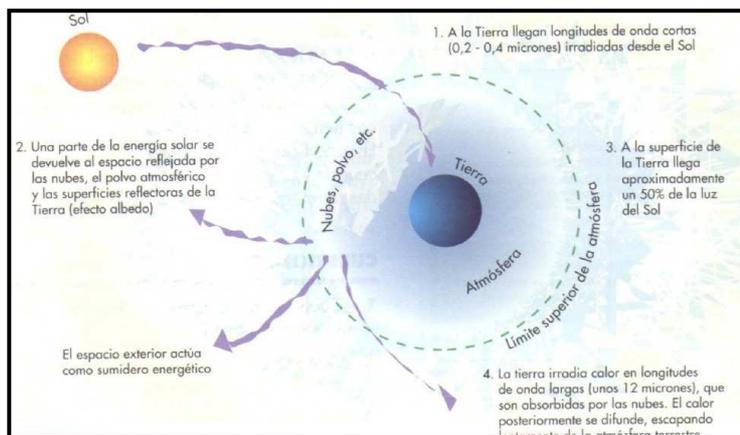
- Los terrestres son:
- Tundra boreal
 - Taiga o bosque de coníferas templado.
 - Estepa.
 - Bosque templado caducifolio.
 - Bosque esclerófilo.
 - Desierto.
 - Sabana.
 - Bosque tropical.
- Los acuáticos son:
- Mares y océanos.
 - Estuarios y marismas.
 - Dulceacuícolas.

2.- RELACIONES TRÓFICAS

Trofos: comer. Representan el mecanismo de transferencia energética de unos organismos a otros en forma de alimento.

Estas transferencias de materia y energía a través del ecosistema forman una cadena trófica. Cada organismo ocupa una posición dentro de la misma: nivel trófico.

Tipos de niveles tróficos:



- Productores:

Constituyen el primer nivel trófico.

Está formado por organismos autótrofos (aquellos que pueden sintetizar por ellos mismos materia orgánica a partir de materia inorgánica).

Autótrofos:

- **Fotosintéticos:** usa la energía solar para obtener mat. orgánica.

Ejemplos: m.o: verdeazuladas (H₂O-aerobias), verdes o

purpúreas (H₂S-anaerobias), algas, vegetales

Fotosíntesis: CO₂ + H₂S + luz ---- SO₄⁼ + C₆H₁₂O₆

6CO₂ + 6H₂O + luz ---- C₆H₁₂O₆ + 6O₂

- **Quimiosíntesis:** determinadas bacterias aerobias como son las:

del azufre (Thiobacillus sp.), nitrificantes, ferruginosas

Oxidán sustancias inorgánicas que liberan energía con la que después combinan el CO₂ y el H₂O para dar mat. org.

H₂S + 1/2 O₂ ----- S + H₂O + **Energía.**

2 NH₃ + 3 O₂ ----- 2 NO₂⁻ + 2 H⁺ + **Energía.** Nitrosomonas

NO₂⁻ + 1/2 O₂ ----- NO₃⁻ + **Energía** Nitrobacter sp.

- **Consumidores:**

Toman la materia y la energía ya elaborada de los productores o de otros consumidores. Construyen su propia materia orgánica a partir de la que toman de otros seres vivos. Dos grupos:

- a.- Consumidores propiamente dicho: se alimentan de materia viva.
 1. Herbívoros o consumidores primarios.
 2. Carnívoros o consumidores secundarios (parásitos herbívoros)
 3. Carnívoros finales (también parásitos de carnívoros).
 4. Omnívoros: hombre, oso, tejón, jabalí ...
- b.- Detritívoros o saprobios: alimentan de residuos, cadáveres ...
 1. Necrófagos: cadáveres recientes: hiena, buitres, cuervo ...
 2. Saprófagos: cadáveres descompuestos: escarabajo, lombriz ..
 3. Coprófagos: excrementos: escarabajos, moscas ...

- **Descomponedores:**

Son un tipo de consumidores que se encargan de la degradación y reciclado de los nutrientes fundamentalmente. Su eficacia es enorme sobre todo en climas cálidos y húmedos. Aquí pertenecen las bacterias y los hongos. Digieren y oxidan moléculas orgánicas liberando: CO_2 , NH_3 , CH_4

La materia sigue un ciclo en la naturaleza y lo terminan este grupo de organismos.

Necrosfera:

Si no existieran descomponedores los restos orgánicos ocuparían más de 10 km. de altura. Pero la ausencia de éstos parece improbable, pues en los restos orgánicos hay mucha materia y energía.

Se denomina necrosfera a la capa de restos orgánicos que "no debería existir" y sin embargo existe y que es aproximadamente diez veces superior a la de la biosfera actual.

- **Fijadores de nitrógeno:**

Obtienen el nitrógeno a partir del N_2 atmosférico: Cyanophyceas, m.o (Rhizobium sp.).

Son autótrofos para el N y heterótrofos para el C.

3º.- FLUJO DE ENERGÍA:

La energía solar es la responsable de los procesos vitales del planeta. El sentido de transferencia es **unidireccional**. La energía se va degradando y no se recupera (se pierde en forma de calor) por lo que es un sistema **abierto**.

Este flujo constante de energía **impulsa** el ciclo de materia.

La cantidad de energía que emite el sol en forma de radiación electromagnética es sobrecogedora, casi 4×10^{26} vatios. A la tierra llega una fracción 2.220 millones de veces menor es decir, unos 174×10^{15} vatios. La cantidad de energía que recibe la Tierra del Sol durante un año es de $5,5 \times 10^{24}$ julios. La relación es reveladora, el Sol emite en un segundo unas 70 veces más energía que la recibida por la Tierra en todo un año.

La vida está lejos de aprovechar toda la luz que le llega a nuestro planeta. A la superficie terrestre sólo llega el 50 % de esa luz. Además de todo lo que llega a las partes altas de la atmósfera (2 langleys) sólo el 0,2 % es absorbida por los organismos fotosintéticos.

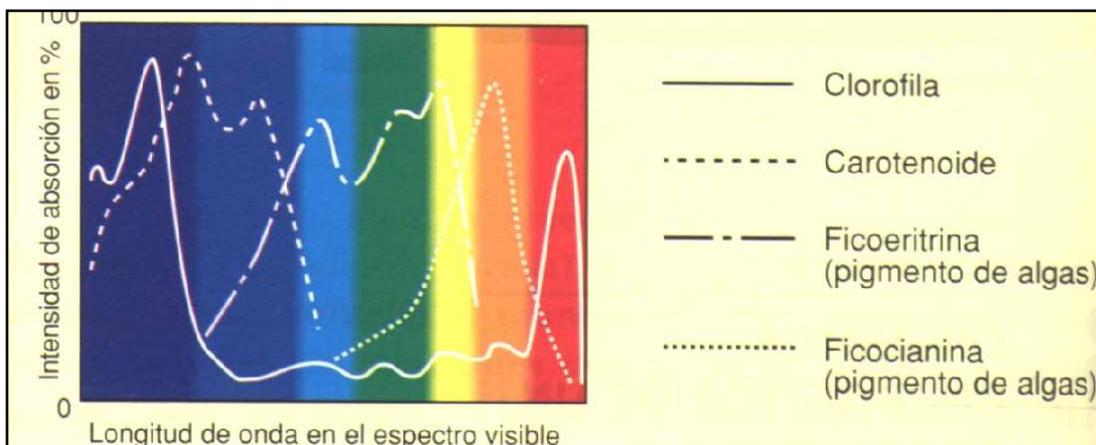
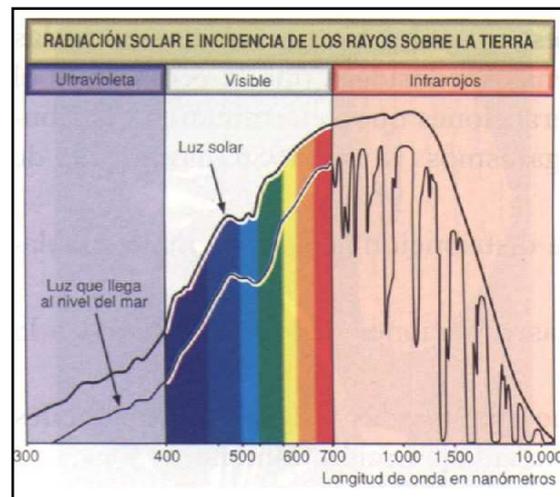
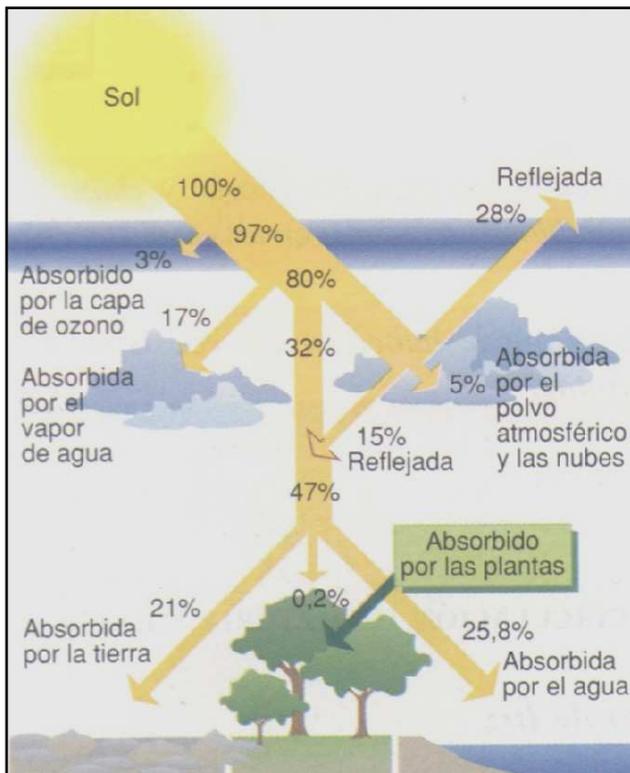
Aproximadamente el 25 % de la energía solar (que equivale a $10.512.000 \text{ kcal/m}^2 \text{ año}$) es potencialmente aprovechable por la planta en la superficie terrestre, lo que representa unas $300.000 \text{ cal/m}^2 \text{ hora}$.

Se ha medido la cantidad de materia orgánica elaborada por los productores, siendo ésta en el mejor de los casos: 1.500 mgr de C/m² hora, para lo cual son necesarias 15.000 cal/m² hora

Resumen: de 300.000 que nos llegan 15.000 se utilizan para obtener biomasa vegetal. El rendimiento es del 5 % y del 1,25 % respecto a la constante solar. Lo normal es que el aprovechamiento sea menor y próximo al **0,2 %**.

La energía luminosa puede ser absorbida por los pigmentos de los organismos fotosintéticos, que consiguen almacenar parte de ella en forma de enlaces químicos, principalmente en moléculas de almidón y ser utilizada para su propio metabolismo.

Los organismos heterótrofos toman moléculas ricas en energía directamente de los autótrofos o de otros heterótrofos, las cuales degradan (respiración) para mantener su propio metabolismo.



4º.- CICLO DE LA MATERIA

Los organismos autótrofos fotosintéticos son los encargados de la fabricación de materia orgánica (rica en energía química que presentan sus enlaces), a partir de materia inorgánica, en presencia de radiación solar.

La materia orgánica ha de ser transformada en inorgánica para que pueda volver a ser asimilada por los productores. Se dice que la materia es **biodegradable**. Sigue un ciclo.

Los encargados de estas funciones son los organismos descomponedores:

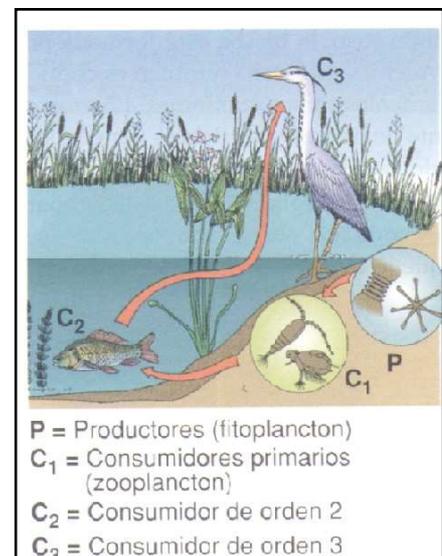
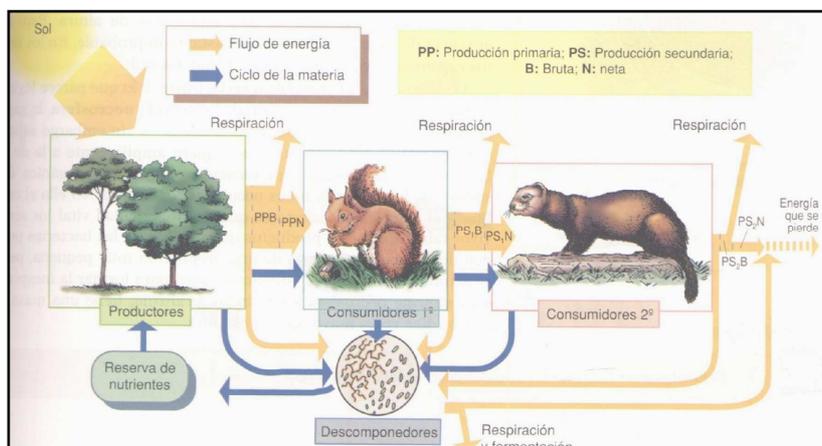
- Transformadores: como las bacterias y hongos.
- Mineralizadores: que son bacterias quimiosintéticas, que liberan compuestos o sales minerales, que sirven de inicio a la cadena trófica.

El ciclo de la materia es **cerrado**. A veces no se reciclan determinados elementos o compuestos ya que el ciclo se para: petróleo, carbón, fósiles

Nosotros veremos los ciclos de algunos compuestos en la naturaleza: N, O, S, P, C

Cadena trófica: es la relación nutritiva lineal que existe entre el productor, el consumidor de primer orden y los consumidores sucesivos en el orden correspondiente.

Red trófica: los seres vivos no se alimentan exclusivamente de un tipo de alimento, ni incluso de un sólo nivel trófico. Los procesos alimenticios son más complejos, de tal forma que el flujo de materia y energía deja de ser lineal para convertirse en una intrincada y compleja red de relaciones tróficas, incluso en un ecosistema pequeño con pocas especies, denominada red trófica.



5º.- PARÁMETROS TRÓFICOS:

Son una serie de medidas que caracterizan a un determinado nivel trófico o a una especie en concreto.

1º.- **BIOMASA:**

Es la cantidad, en peso seco, de materia orgánica viva o muerta o de energía que presenta un determinado nivel trófico.

Es la forma que tiene la biosfera de almacenar energía.

Se mide en Kg / cc, Kg / Ha, Kcal /cc, Kcal / m² ó gr C / m².

1 gramo de materia orgánica seca genera 4.500 calorías.

1 gramo de carbono origina 12.000 calorías.

2º.- **PRODUCCIÓN:**

Es el incremento de biomasa por tiempo y superficie.

Es la cantidad de energía que fluye por un nivel trófico.

La producción se mide en gr ó cal / m² ó m³ x unidad tiempo. Esta puede ser:

a.- Producción primaria:

Relaciona la cantidad de energía luminosa que se transforma en energía química (materia orgánica) en los procesos fotosintéticos que realizan los vegetales (a mayor cantidad de clorofila mayor producción pr. Óptimo por 1 gr de clorofila: 4 gr C org./m²h)

Hay dos valores diferentes de la misma:

a₁ .- **PPB** (producción primaria bruta): es toda la energía fijada por el vegetal para su: crecimiento, respiración, reproducción, nutrición. Es todo lo que fabrica.

a₂ .- **PPN** (producción primaria neta): es la energía que queda acumulada en forma de materia orgánica después de descontar la gastada en los procesos metabólicos. Es el incremento de biomasa que experimenta dicha especie.

En ecosistemas terrestres la PPN es de 300 g de C/m² y en acuáticos 100 g de C/m² año.

$$\mathbf{PPB = PPN + R} \quad (\text{R es el gasto metabólico o respiración}).$$

En la caña de azúcar (Haway):

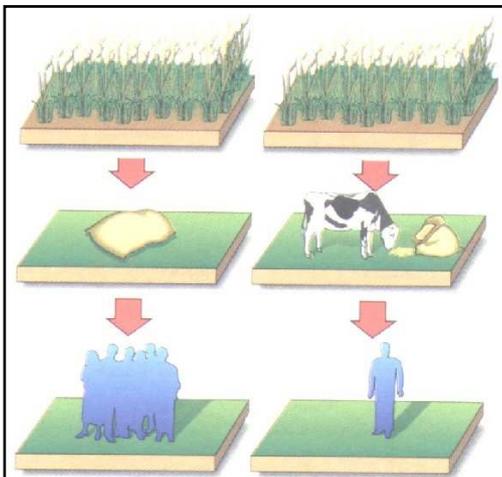
- PPB = 4.000 kcal/m² x día.

- PPN = 190 "

- R = 3.810 "

b.- Producción secundaria:

Relaciona la energía química o materia orgánica asimilada por un organismo heterótrofo y la que transforma en nueva biomasa.



a₁ .- **PSB** (producción secundaria bruta):

es el alimento asimilado del total que ha ingerido el animal (en herbívoros este valor es del 90 % del ingerido, siendo el 10 % excrementos y en carnívoros este valor es del 50 %, como media).

a₂ .- **PSN** (producción secundaria neta):

ese el incremento de biomasa de ese nivel o de ese organismo (más la reproducción). Es la energía que queda a disposición del nivel trófico siguiente.

$$\mathbf{PSB = PSN + R}$$

La producción primaria o secundaria neta es la energía que queda a disposición del nivel trófico siguiente en la cadena alimentaria.

La producción neta de un nivel trófico es la bruta del siguiente si se consume toda.

Regla del 10 %: la energía que pasa de un nivel trófico al siguiente es aproximadamente el 10 % de lo acumulado en él. Esto equivale a la eficiencia en la alimentación. (Así se cumple que 8.000 kilos de alfalfa generan 800 de carne de vaca y 80 de biomasa humana: es el 10 %).

La energía solar que entra en el ecosistema es igual a la energía calorífica que sale de él más la acumulada en forma de materia orgánica que impulsa las cadenas.

4º.- **PRODUCTIVIDAD:**

Es cociente entre producción y la biomasa.

Es necesario su conocimiento pues nos diferencia distintas situaciones, así por ejemplo: no es lo mismo 10 gr. de hormigas que después de un año se convierten en 11 gr. que 1.000 gr. de hormigas que se conviertan en 1.001. En ambos casos la producción anual es de 1 gr, pero la productividad es diferente: en el primer caso es del 10 % y en el segundo de 0,1 %.

$$p = \text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Biomasa}} \times 100 \% \text{ por unidad de tiempo.}$$

$$pB = \text{Productividad bruta} = \frac{\text{Producción bruta}}{\text{Biomasa}} \times 100 \%$$

$$pN = \text{Productividad neta} = \frac{\text{Producción neta}}{\text{Biomasa}} \times 100 \% \text{ ó tasa de renovación.}$$

$$tr = \text{Tiempo de renovación} = \frac{\text{Biomasa}}{\text{Producción neta}}$$

La tasa de renovación varía de 0 a 100 %. El tiempo de renovación es el tiempo que tarda en renovarse la biomasa de un nivel trófico.

La productividad neta es muy elevada en el **plancton** marino debido a su elevada tasa de reproducción alcanzando el 100 % diario. En vegetales dicha productividad neta oscila entre los 0,006 y los 0,3 % diario. Otros ejemplos son: cultivos agrícolas: 1 %, pastizales: menos del 1 % y en los bosques es de 0 % diario.

5º.- **EFICIENCIA**

Se llama eficiencia ecológica o eficiencia de la cadena alimentaria al porcentaje de energía que es transferida de un nivel trófico al siguiente. La transferencia se produce efectivamente cuando un ser vivo cede su materia orgánica a un depredador o un parásito. Se expresa de varias maneras:

$$\text{Eficiencia ecológica} = \frac{\text{Producción del consumidor}}{\text{Producción de la presa}} \times 100 \%$$

$$\text{Eficiencia es también} = \frac{\text{Producción neta}}{\text{Producción bruta}} \times 100 \%$$

$$\text{También es} = \frac{\text{Producción neta}}{\text{Total ingerido}} \times 100 \% \text{ ó engorde / alimento ingerido}$$

Se acostumbra a considerar la eficiencia ecológica del 10 % en cada nivel de la pirámide trófica, siendo el 90 % restante lo gastado en el propio metabolismo.

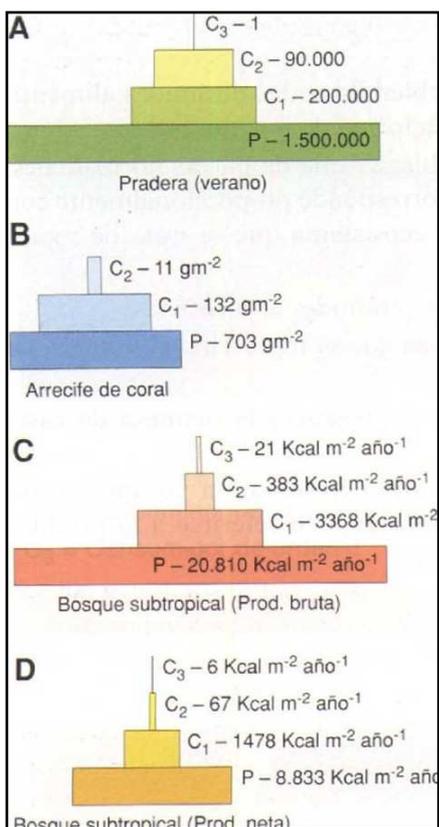
Datos: en las biocenosis del mar cercano a la costa la producción primaria neta es de 8.000 kilocalorías por metro cuadrado y año con una eficiencia del 20 %. En las praderas de clima templado la producción primaria neta es de 2.000 kilocalorías por metro cuadrado y año y la eficiencia ecológica del 10 %.

Es más eficiente una alimentación a partir del primer nivel trófico ya que se podrá alimentar a mayor número de individuos al disponer de una mayor cantidad de energía.

6º.- PIRÁMIDES ECOLÓGICAS

También denominadas tróficas o alimentarias son histogramas de barras horizontales, donde el área de cada barra se corresponde proporcionalmente con la magnitud del parámetro del ecosistema que se trata de representar.

El nivel de productores ocupa la base y los niveles sucesivos constituyen los siguientes escalones que conducen hasta el ápice. Hay tres tipos



1.a.- Pirámide de números:

- Cada nivel un número de individuos.
- Exagera los seres pequeños (1 elef = 1 mosca).
- Puede ser invertida (parásitos).

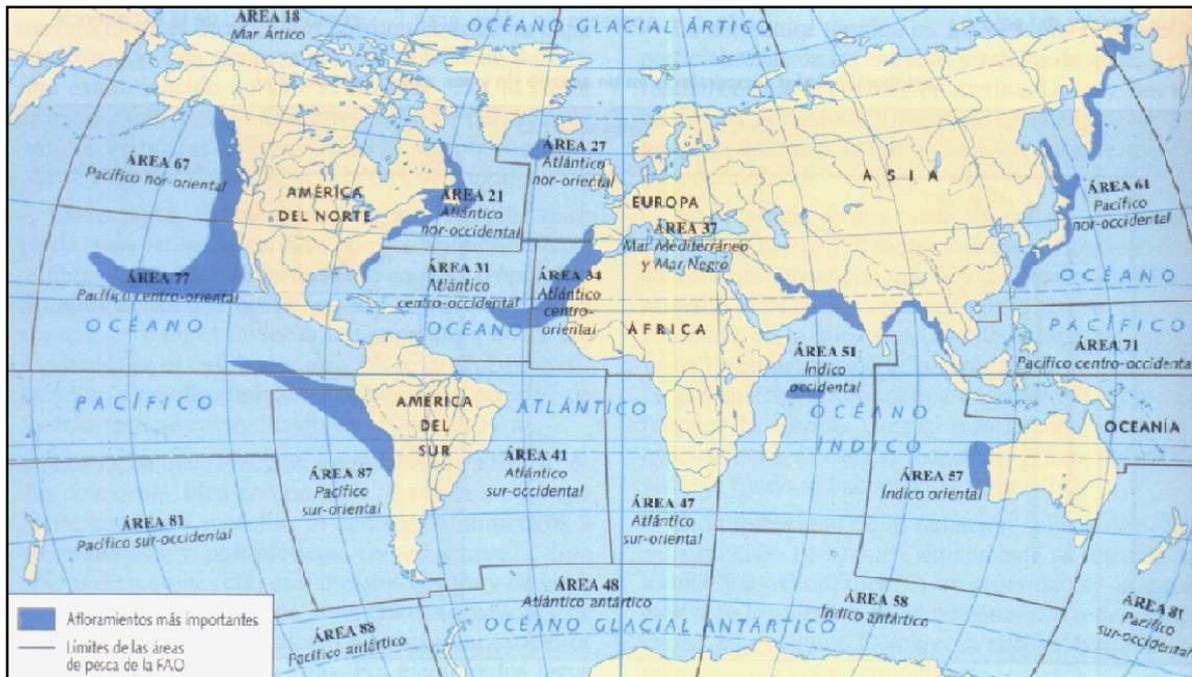
2. b.- Pirámide de biomasa:

- Cada nivel el peso en materia orgánica seca.
- Cada escalón el 10 % del anterior.
- Las puede haber invertidas: plancton marino.
- Da importancia los seres grandes o voluminosos.

3. c.- Pirámide de energía:

- Representan la producción bruta o neta de un nivel.
- Cada nivel un 10 % del anterior. No las hay invertidas.
- Nos da idea de la naturaleza funcional del ecosistema.

Zonas de afloramiento de aguas profundas y caladeros más productivos en el planeta



7º.- FACTORES LIMITANTES DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

El hombre trata de producir la máxima cantidad de biomasa, en los primeros niveles de la cadena trófica, para tener un mayor rendimiento en sus cosechas y paliar las necesidades alimentarias del planeta. Los principales factores limitantes en la producción primaria son:

a.- LUZ:

A mayor intensidad lumínica mayor capacidad fotosintética, hasta un cierto límite en el que se oxida la clorofila degenerándose (los carotenoides protegen la clorofila)

Hay pocas moléculas de clorofila: 300 que se saturan con intensidades de luz bajas (los máximos rendimientos fotosintéticos al amanecer y anochecer). La evolución ha tendido a conseguir una producción alta a intensidades lumínicas bajas.

El rendimiento o eficiencia media energía radiante / biomasa producida es del 1 % en el mejor de los casos.

b.- CO₂:

A mayor concentración de CO₂ mayor tasa de fotosíntesis.

Maíz	150 ppm	27 mgr/dm ² hora	Tabaco	10 mgr/dm ² h.
	300 "	47 "		24
	600 "	74 "		48
	1000 "	92 "		69

Por encima de las 10.000 ppm se inhibe la fotosíntesis.

c.- TEMPERATURA:

Desde - 18 °C hasta los 70 °C (bacterias termofilas).

Las plantas C₄ tienen una temperatura óptima superior a la de las plantas C₃.

d.- OXÍGENO:

A menor concentración de oxígeno mayor actividad fotosintética, ya que su presencia inhibe enzimas activas en el ciclo de Calvin.

Ejemplo: el maíz a 30 °C con:

20 % O ₂	37 mgr CO ₂ /dm ² hora
2 % O ₂	52 mgr CO ₂ /dm ² hora.

e.- AGUA:

Regula la apertura de estomas. Si escasease cierran los estomas para evitar la transpiración, realizándose menor fotosíntesis (no pasa el CO₂).

f.- NUTRIENTES: CARBONO - NITRÓGENO - FÓSFORO 106 : 16 : 1.**8º.- CICLOS BIOGEOQUÍMICOS**

La energía sigue un flujo en la naturaleza, mientras que la materia sigue un ciclo. El flujo de energía es el motor del ciclo de la materia.

Los microorganismos descomponedores ofrecen la más importante contribución a los ciclos por la mineralización de la materia orgánica que realizan.

Son bio-geoquímicos por:

- BIO: intervienen seres vivos: fase orgánica (cadenas tróficas)
- GEOQUÍMICOS: circulan por la geosfera:
 - Fase sedimentaria: predomina la litosfera: P
 - Fase atmosférica: atmósfera: C, N, O.
 - Intermedios: S.

CICLO DEL CARBONO

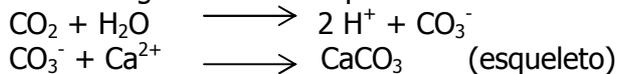
El átomo de C es el esqueleto de las moléculas de la vida, y el ciclo está ligado fundamentalmente al del CO_2 , por lo cual se halla estrechamente asociado al ciclo del oxígeno.

Se localiza como depósito de intercambio en la atmósfera: CO_2 : 358 ppm, CH_4 : 1,6 ppm. Ambos contribuyen al efecto invernadero (calentamiento global del planeta) y en la cumbre de Kioto se analizó los efectos del mismo en 1.997.

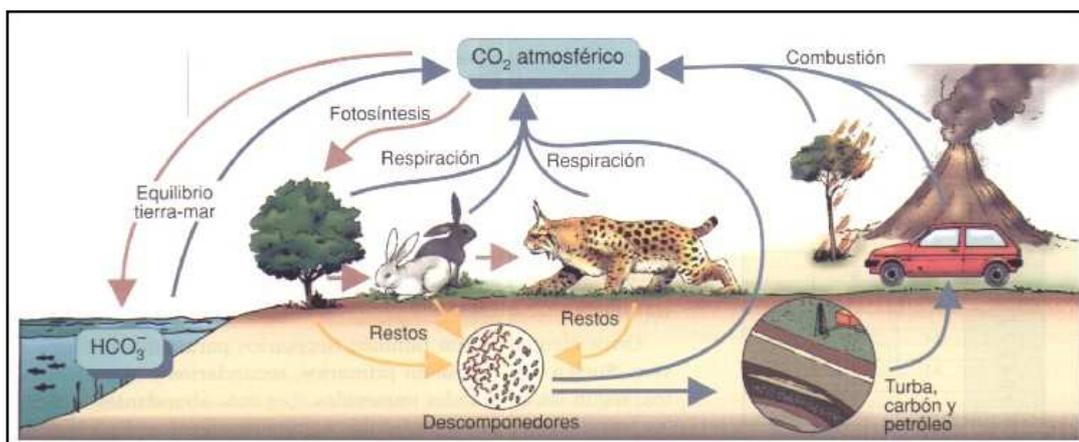
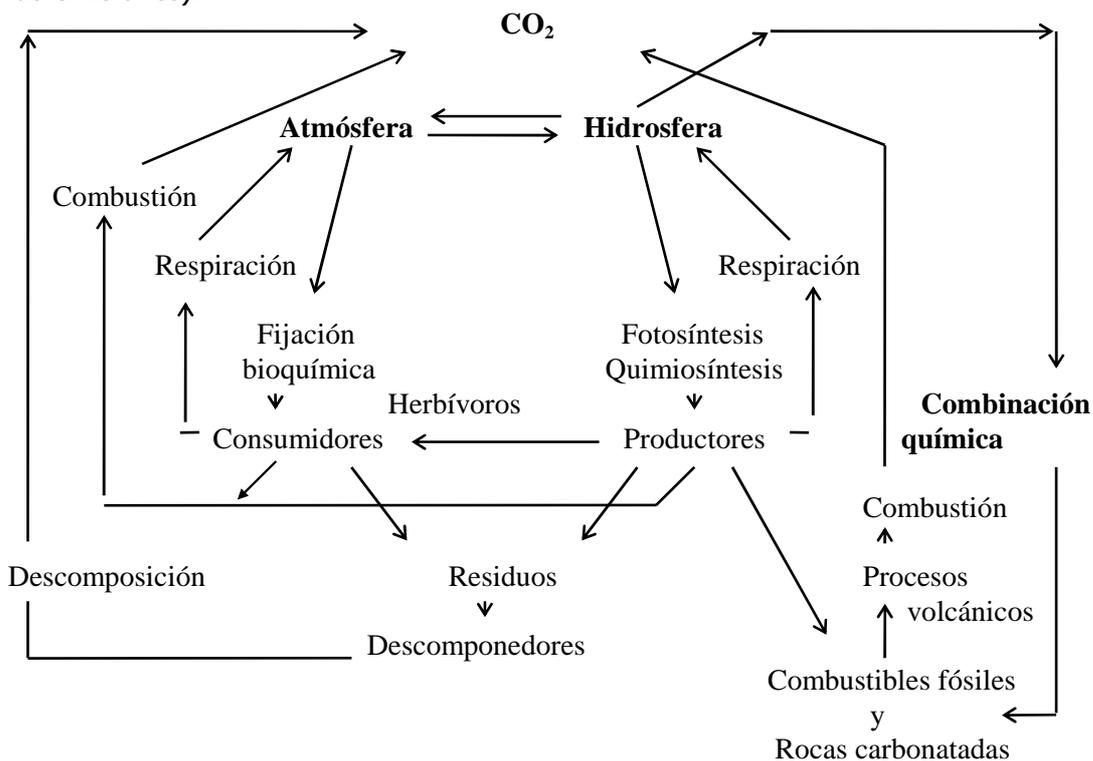
Se fija en la fotosíntesis: 120×10^{15} gr C/ año (aproximadamente el 5 % del CO_2 atmosférico, luego en 20 años se ha renovado todo) y se elimina en la respiración.

Acumulado en biomasa hay aproximadamente: 560×10^{15} gr. En la litosfera también se puede encontrar: rocas carbonatadas (influye en el modelado kárstico), combustibles fósiles

La **fijación bioquímica** es aquella en la cual el C pasa a formar parte de las estructuras de organismos sin el proceso fotosintético:



La **combinación química** es el mismo proceso pero sin intervenir los seres vivos haciendo que el CO_2 termine formando materia mineral (roca caliza) en el medio oceánico generalmente (este es uno de los procesos que pueden reducir los niveles de las emisiones).



CICLO DEL NITRÓGENO

Es el gas más abundante en la atmósfera: 79 % con: $3,5 \times 10^{15}$ gr. en la biomasa, $9,5 \times 10^{16}$ gr. en el suelo y $3,8 \times 10^{21}$ gr. en la atmósfera.

La excreción animal del mismo es en distintas formas: **Urea**: mamíferos terrestres y anfibios. Hidroliza ureasa a NH_3 y CO_2 . **Amoniaco**: peces. **Ácido úrico**: pajaros y reptiles.

Las plantas no lo absorben de la atmósfera y sólo lo pueden tomar del suelo, de dos formas: NO_3^- (soluble) ó como NH_4^+ (no es soluble y se encuentra en la fracción arcill-húmica), motivo por el cual hay que abonar al ser éste un elemento escaso en el suelo.

El ciclo presenta cuatro fases distintas:

a.- **Fijación**: Representa el 12 % del total que necesita la producción primaria por:

- Descargas eléctricas: $\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ en NO_3^- que cae al suelo al llover. Así se generan 15×10^{12} gr. de nitrógeno al año.

- Seres vivos: hay dos tipos:

a.- Vida libre: Cyanophyceas. Nostoc sp. Anabaena sp.

Bacterias: Azotobacter sp

Bacterias anaerobias: Clostridium sp.

Éstas transforman N_2 en NH_4 . con gasto de energía.

b.- Simbióticas: Actinomicetes: Frankya sp. (Aliso)

Bacterias: Rhizobium sp.(forma nódulos

con las leguminosas: transforman N_2 en NH_4 300 kg/Ha año).

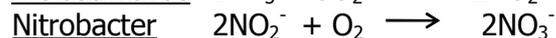
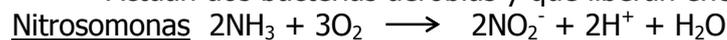
b.- **Amonificación**:

Formación de NH_3 por bacterias a partir de los compuestos orgánicos al morir los organismos o seres vivos. Así se originan 1000×10^{12} gr. de nitrógeno al año.

c.- **Nitrificación**:

Es la transformación del NH_3 (putrefacción) en NO_3^- .

Actúan dos bacterias aerobias y que liberan energía en:



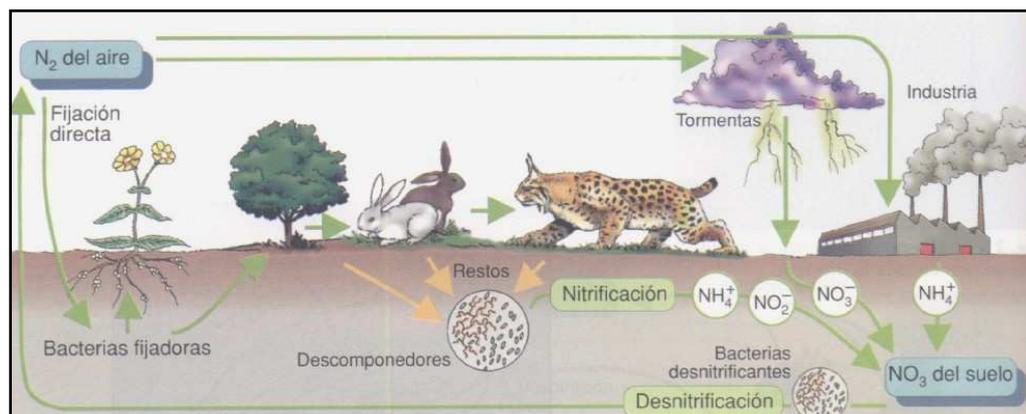
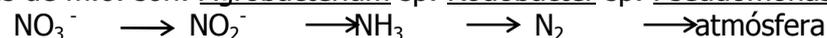
d.- **Desnitrificación**:

Se da en condiciones anaerobias por m.o. (suelos encharcados).

Reducen la cantidad de nitratos del suelo (del 20 al 80 %), por eso es importante arar o labrar la tierra ya que se airea el terreno.

Ecológicamente son muy importantes ya que eliminan NO_3^- (causante de gastroenteritis, diarreas y color azulado en niños por la falta de oxígeno). La potabiliza.

Las especies de m.o. son: Agrobacterium sp. Rodobacter sp. Pseudomonas s



CICLO DEL OXÍGENO

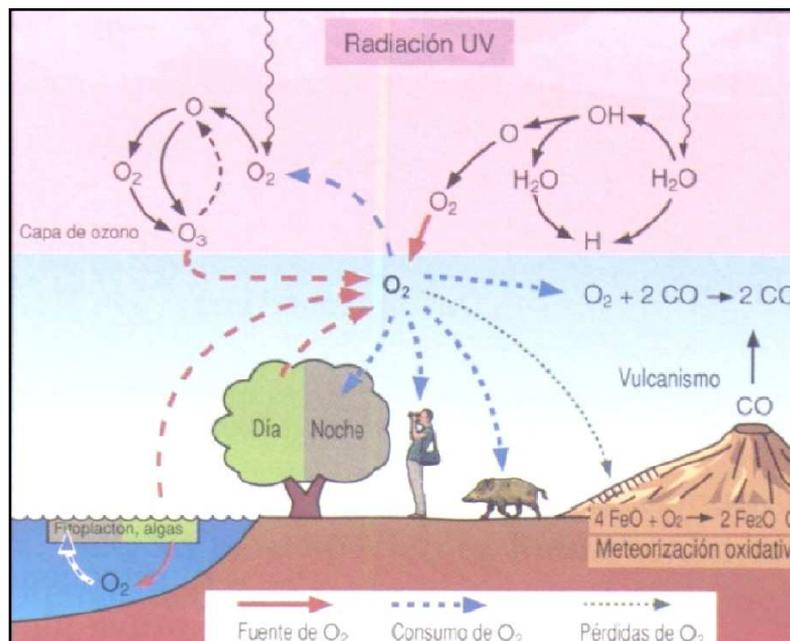
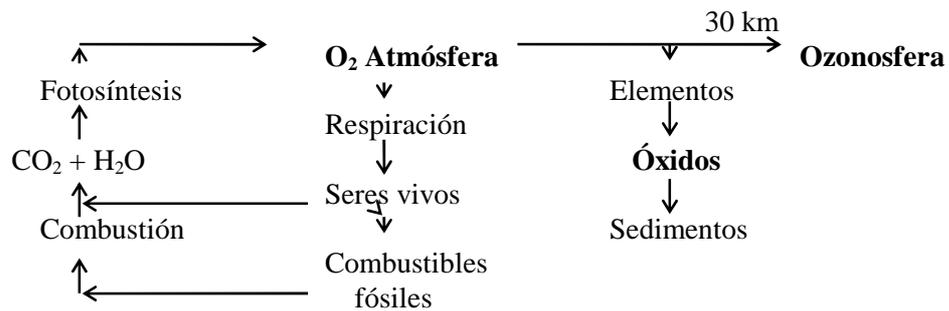
Es el elemento más abundante en los seres vivos dado que constituye el 88% de la masa de la molécula de H₂O y es el componente mayoritario de los organismos vivos.

Presenta un alto poder **oxidante** y le hace ser apropiado para obtener energía de los compuestos orgánicos reducidos. Ese el elemento fundamental en el proceso **respiratorio**.

Apareció en la atmósfera como producto residual de la fotosíntesis y originó los óxidos y el proceso respiratorio en la mayoría de los seres vivos. Cuando hubo exceso migró a las partes altas de la atmósfera originando la ozonosfera.

La cantidad liberada en fotosíntesis es de: 2.688×10^{14} gr de oxígeno/año.

La cantidad consumida en respiración es: 2.683×10^{14} gr de oxígeno/año.



CICLO DEL FÓSFORO

Se encuentra siempre como fosfato PO_4^{3-} . Es poco abundante en el organismo humano (1%). N : P es de 23 : 1 en la Litosfera; en la Biosfera este valor es 16 : 1.

Es un elemento que condiciona el crecimiento de las plantas por varios factores:

- No tiene fase gaseosa, luego todo el ciclo es sedimentario: **apatito**.
- Son poco solubles, de modo que quedan fácilmente en forma inactiva, inalcanzable para las raíces de las plantas.
- La liberación del fósforo por meteorización de las rocas es muy lenta.

Interviene en la formación de los huesos, en el equilibrio osmótico, formando moléculas orgánicas: ATP y componente fundamental de los ácidos nucleicos.

En el mar puede:

- pasar a la cadena trófica: **guano**.
- formar sedimentos (donde permanece de 10^5 a 10^8 años) que pueden por Tectónica de Placas aflorar en superficie.

Un suelo pierde en 50 años el 30% del P por arrastre del mismo. Los ríos llevan al mar al año: 20×10^{12} gr de P particulado y 1×10^{12} gr. de P disuelto.

