TEMA 4. CIRCULACIÓN DE MATERIA Y ENERGÍA EN LA BIOSFERA

Guión del tema

1. Introducción
2. Relaciones tróficas
3. Ciclo de materia y flujo de energía
4. Parámetros tróficos
5. Pirámides ecológicas
6. Factores limitantes de la producción primaria
7. Ciclos biogeoquímicos

Desarrollo del tema

1. Introducción

Conceptos importantes en Ecología:

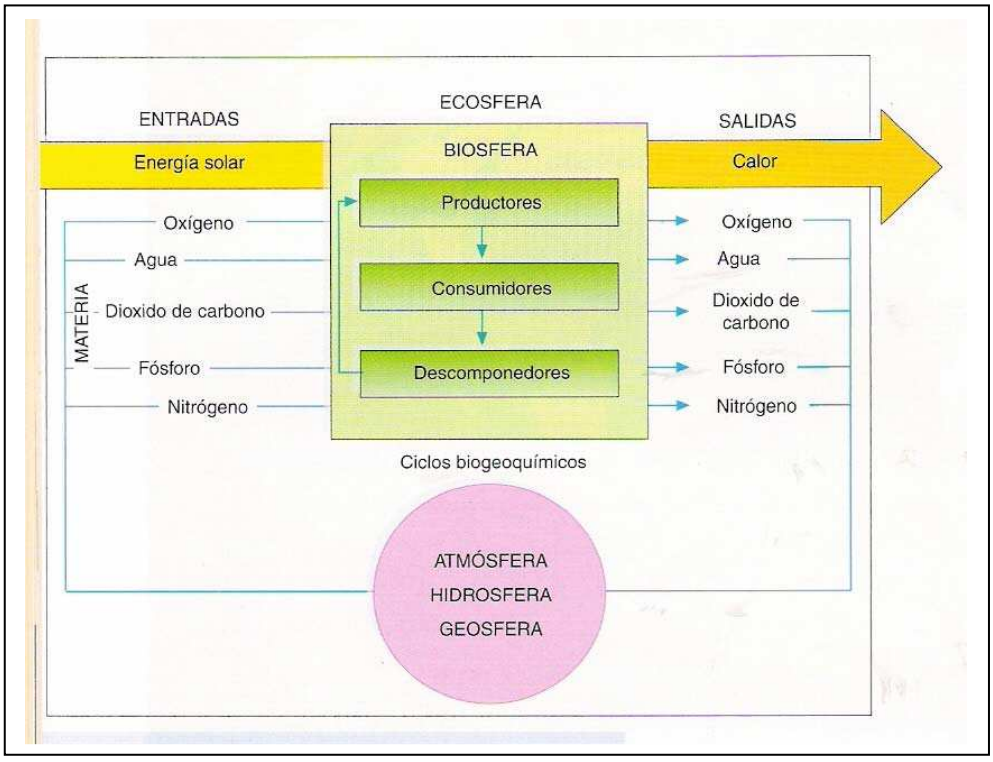
Biosfera. Conjunto formado por todos los seres vivos que habitan la Tierra.

Ecosistema. Sistema natural integrado por componentes vivos y no vivos que interactúan entre sí.

Comunidad o biocenosis. La parte biótica de un ecosistema, es decir el conjunto de todos los seres vivos que lo componen.

Ecosfera. Conjunto formado por todos los ecosistemas que constituyen la Tierra o el gran ecosistema planetario.

Biomas. Diferentes ecosistemas que hay en la Tierra.



2. Relaciones tróficas

Representan el mecanismo de transferencia energética de unos organismos a otros en forma de alimento.
Se representan mediante:

- Cadenas tróficas
- Redes tróficas

En ellas los diferentes elementos o **niveles tróficos** se unen mediante flechas.

2.a Productores

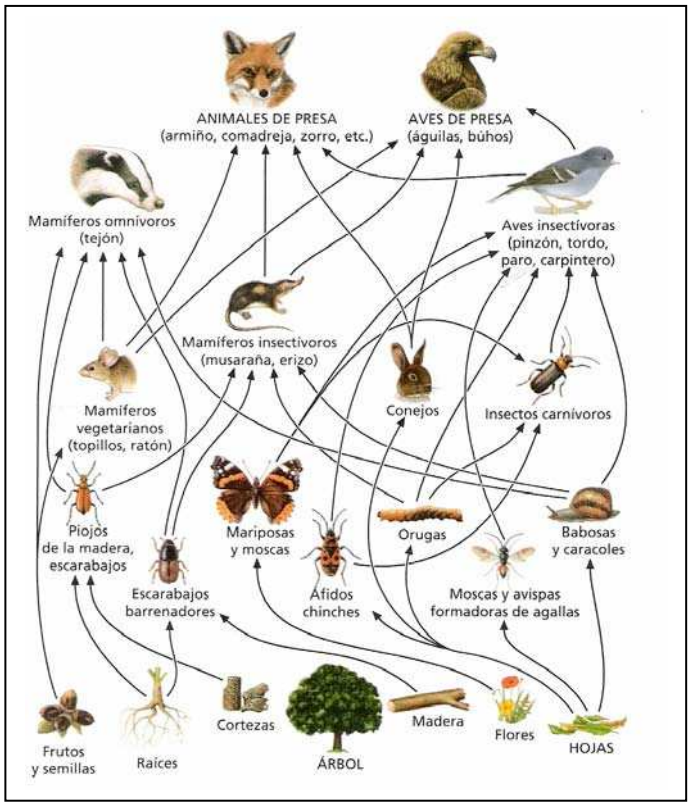
- Constituyen el primer eslabón o nivel trófico y son los autótrofos, sobre todo los que emplean la **fotosíntesis**, aunque también los quimiosintéticos
- En este nivel las plantas terrestres y el fitoplancton
- La energía procede del Sol y se transforma en energía química y el calor
- La materia inorgánica se transforma en orgánica, una parte se utiliza en la respiración (degradación de la energía) y otra se almacena como tal constituyendo los tejidos vegetales que serán alimento de los demás niveles

2.b Consumidores

- Conjunto de organismos heterótrofos que utilizan materia orgánica a partir de los productores, directa o indirectamente
- Dentro de los consumidores se distinguen:
  - Consumidores primarios o herbívoros
  - Consumidores secundarios o carnívoros
  - Carnívoros finales
- Considerando redes tróficas en lugar de cadenas lineales, distinguimos además:
  - Omnívoros
  - Carroñeros o necrófagos
  - Saprófitos o detritívoros

2.c Descomponedores

- Conjunto especial de organismos detritívoros que transforman la materia orgánica en inorgánica cerrando el ciclo de la materia.



Lectura del artículo "La mariposa que sostiene el ecosistema". El País, 20 de julio de 2006.

Ciclo de materia y flujo de energía

Los ecosistemas siguen unos principios de sostenibilidad natural:

- Reciclar al máximo la materia para obtener nutrientes
- Mantener los nutrientes dentro de los límites
- Evitar la producción de desechos no utilizables
- Utilizar la luz solar (renovable) como fuente de energía

Reciclado de la materia

La materia es biodegradable por lo que el ciclo de la materia tiende a ser cerrado, escapando una mínima parte a la atmósfera (gasificación) o lejos del lugar de origen disueltos en el agua (lixiviado).

Flujo de la energía

La energía solar entra en la cadena trófica mediante la fotosíntesis y es transformada en energía química contenida en la materia orgánica, pasando de unos eslabones a otros mediante el alimento. Tras ser utilizada por los organismos parte se pierde en forma de calor.

Cumple la 1ª ley de la termodinámica.

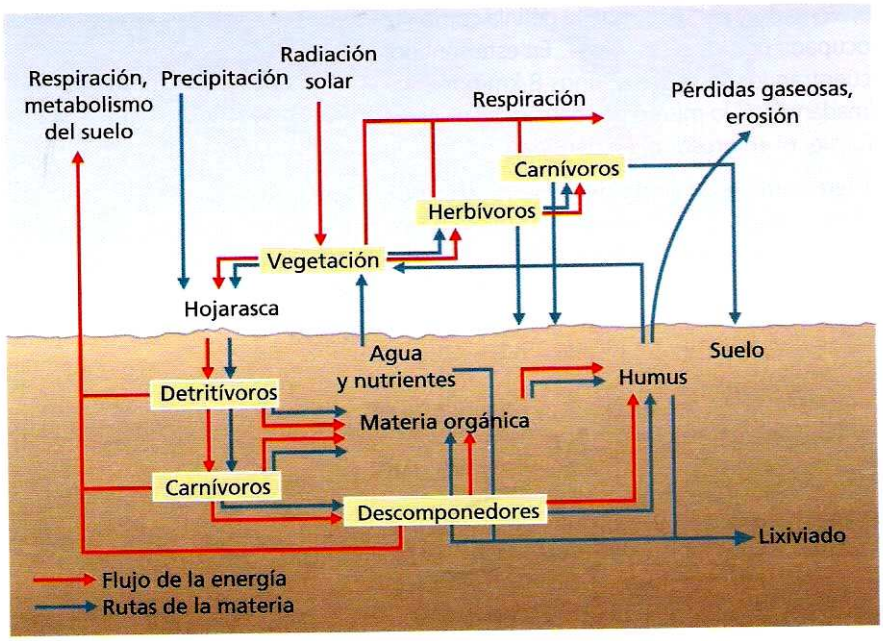


Figura 2. Ejemplo del flujo energético y de la circulación de la materia en un ecosistema terrestre. *Fuente*: Díaz Pineda, 1989.

Principios generales aplicables a los ecosistemas en relación con el flujo de energía

- El flujo de energía es unidireccional, acíclico y abierto, lo que implica la necesidad de un aporte continuo de energía externa para mantener el ecosistema.
- Los niveles tróficos o componentes de un ecosistema disponen de mucha más energía de la que consumen, comenzando por los productores que sólo asimilan un 0,1 % de la radiación solar incidente.
- A medida que ascendemos en el ecosistema, la cantidad de energía consumida en la actividad metabólica propia de cada nivel trófico a través de la respiración celular es cada vez mayor. Así en los consumidores secundarios supone un 60 % de su producción bruta, debido a lo que gastan para buscar alimentos.
- Se produce una disminución progresiva de la energía en cada nivel trófico debido, sobre todo, a las pérdidas en forma de calor durante la actividad metabólica, lo que limita el número de niveles tróficos de cada cadena a entre 3 y 5.
- Un porcentaje muy elevado de la energía disponible en cada nivel trófico no se utiliza sino que se acumula año tras año formando los sedimentos de los lagos, la hojarasca de los bosques, sirviendo como base energética de reserva para el sistema, a través de la actuación de los descomponedores.

3. Parámetros tróficos

Medidas utilizadas para evaluar tanto la rentabilidad de cada nivel trófico como la del ecosistema completo.

4.a Biomasa (B)

Cantidad en peso de materia orgánica viva (fitomasa, zoomasa) o muerta (necromasa) de cualquier nivel trófico o de cualquier ecosistema. Es la manera en que la biosfera almacena la energía solar.

B se mide en kg, g o mg o en unidades de energía, según la conversión 1 g = 4 o 5 kcal
Se refiere a unidades de superficie o de volumen. Por ejemplo gC (g materia orgánica)/cm^2

4.b Producción (P)

Cantidad de energía que fluye por cada nivel trófico. En g C/m^2 . día o kcal/ha.año

Se distingue:

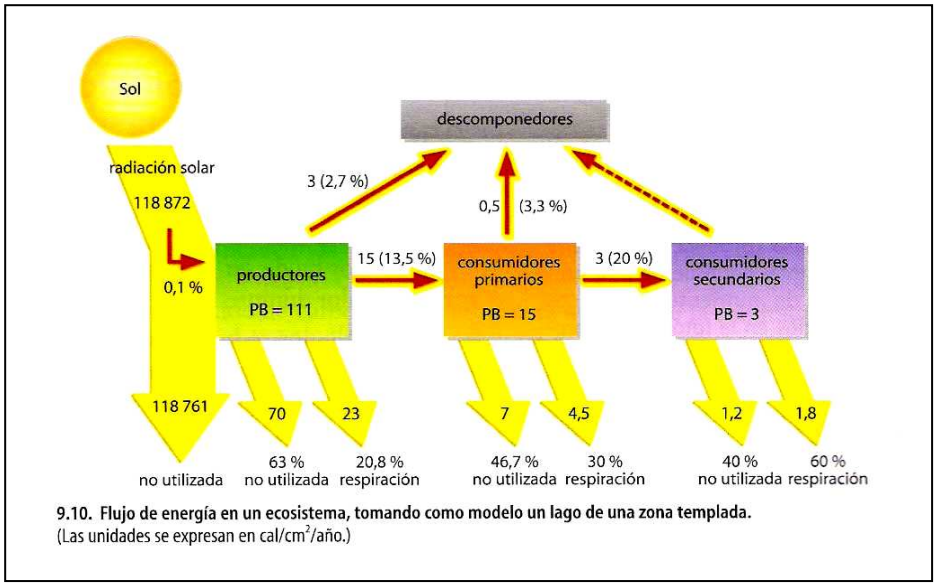
- **Producción primaria**, fijada por los organismos autótrofos
- **Producción secundaria**, del resto de los niveles

En ambas:

- **Producción bruta (Pb)** o cantidad de energía fijada por unidad de tiempo (día o año) por fotosíntesis o, en los consumidores, respecto al total ingerido.
- **Producción neta (Pn)** o energía almacenada en cada nivel por cada unidad de tiempo. Representa el aumento de la biomasa y es igual a la producción bruta menos la energía consumida en la respiración

$$Pn = Pb - R$$

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



9.10. Flujo de energía en un ecosistema, tomando como modelo un lago de una zona templada.
(Las unidades se expresan en cal/cm^2/año.)

El porcentaje de energía gastado en la respiración va aumentando.

4.c Productividad (p)

Relación entre la producción neta y la biomasa, es decir, entre los intereses y el capital

p= Pn/B

Valora la riqueza de un ecosistema o nivel trófico ya que representa la velocidad con la que se renueva la biomasa de modo que también se llama **tasa de renovación.**

Suele expresarse en tantos por ciento.

4.d Tiempo de renovación (tr)

Periodo que tarda en renovarse un nivel trófico o un sistema. Se expresa

tr= B/Pn

Se mide en días o en años.

4.e Eficiencia ecológica

Rendimiento de un nivel trófico o de un sistema. Se calcula mediante el cociente entre salidas (output) y entradas (input).

- Eficiencia de los productores = energía asimilada/energía incidente. Es menor al 2% (Pb).
- Pn/Pb mide la cantidad de energía incorporada a cada nivel respecto al total asimilado, constatando las pérdidas respiratorias que son de 10-40 % en el fitoplacton y hasta del 50 % en la vegetación terrestre.
- La rentabilidad de los consumidores = Pn/total alimento ingerido o engorde/total de alimento ingerido.

Eficiencia ecológica de un sistema = Pn (producción de un nivel)/ Pn (del nivel anterior) x 100

Teniendo en cuenta la regla del 10 % es más rentable (eficiente) alimentarse del primer nivel ya que se aprovecha más la energía y se puede alimentar a un mayor número de individuos. (Referencia al vegetarianismo como movimiento ecológico).

4. Pirámides ecológicas

La cadena trófica se puede representar como una pirámide en la que cada nivel trófico se representa por un piso o barra. Las barras tienen altura constante y longitud proporcional al parámetro medido. Existen tres tipos:

Pirámides de energía

Representan el contenido energético de cada nivel y siguen la regla del 10 %.
Expresan los valores en kilojulios/m^2 . año o en kcal/ m^2 . año

Pirámides de biomasa

Elaboradas en función de la biomasa acumulada en cada nivel.
La biomasa va decreciendo también en progresiones del 10 %, de forma que suelen tener forma de pirámide aunque a veces se forman pirámides invertidas.
Expresa los valores en kg.

Pirámides de números

Se realizan mediante el recuento de los individuos de cada nivel trófico.
Pueden ser invertidas.

5. Factores limitantes de la producción primaria

La producción primaria es la energía fijada por los productores, base de las cadenas tróficas.

Ley del mínimo y factor limitante de LIEBIG

El crecimiento de una especie vegetal se ve limitado por un único elemento que se encuentra en cantidad inferior a la mínima necesaria y que actúa como factor limitante.

Distinguimos:

- Energía interna o cantidad de luz solar utilizada en la fotosíntesis (entre 0,06 y 0,09 %) del total incidente
- Energías externas, de apoyo o auxiliares, algunas también de procedencia solar, como las implicadas en el ciclo del agua, vientos, variaciones de temperatura, movimiento de nutrientes, y otras aportadas por el ser humano para eliminar los factores limitantes (roturación, abonado, riego, invernaderos, productos para el control de plagas, etc.) y generalmente procedentes del uso de combustibles fósiles.

Los principales factores limitantes son: TEMPERATURA, HUMEDAD, LUZ, NUTRIENTES

6.a <u>Temperatura y humedad</u>

- Actúan sobre todo en áreas continentales.
- Al aumentar los dos factores aumenta la eficiencia fotosintética, hasta alcanzar un valor máximo de temperatura que hace decrecer bruscamente la producción primaria por desnaturalización de enzimas (RuBisCo). Esta enzima se ve condicionada también por las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.

    - Si la concentración es la normal en la atmósfera la RuBisCo funciona incorporando dióxido de carbono en la **fotosíntesis** y produciendo materia orgánica al tiempo que se desprende oxígeno.
    - Si la concentración de oxígeno supera el 21 % y la de dióxido desciende por debajo de 0,03 %, se ralentiza la fotosíntesis y se produce **fotorrespiración**, proceso inverso a la fotosíntesis y que ocurre a la vez y en presencia de luz. Con ello disminuye la eficiencia fotosintética bajando de un 30 a un 50 % la producción de materia orgánica.

En relación con esto se distinguen plantas de dos tipos:

C3 (trigo, patata, cebada, arroz, soja, tomate, judías, algodón, etc.)
Pierden mucha agua por los estomas. En condiciones de sequía cierran los estomas para evitar la pérdida de agua lo que hace que se concentre más oxígeno producto de la fotosíntesis. Esto hace que comience la fotorrespiración y disminuya la eficiencia. Su máxima productividad es de 10-30 tm/ha.año.

C4 (maíz, caña de azúcar, sorgo, mijo, cactus, etc.)
Aunque tengan muy poco dióxido de carbono cuentan con un sistema de bombeo incorporándolo desde la atmósfera y acumulándolo en el interior de las hojas.
Su productividad asciende a 60-80 tm/ha.año.

Las cactáceas lo acumulan durante la noche fijándolo en una molécula de cuatro carbonos (mecanismo CAM de las crasuláceas) de la que lo liberan para realizar la fotosíntesis durante el día.

Si la temperatura desciende en una época del año → Plantas caducifolias / Estructuras subterráneas / Predominio de herbáceas

6.b <u>Falta de nutrientes</u>

La presencia de nutrientes en un ecosistema está supeditado al reciclaje de los elementos en el mismo que, normalmente, depende de energías externas.

Dióxido de carbono. Nunca es factor limitante y aumenta la eficiencia fotosintética, por lo que plantar vegetales que actúen como sumideros puede contribuir a disminuir el efecto invernadero.

Fósforo. El principal factor limitante, por su lenta liberación desde los fondos oceánicos donde se almacena en mayor cantidad.

Nitrógeno. En segundo lugar, cuando falta aparecen microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico.

Se necesitan los organismos **descomponedores** que cierran los ciclos de la materia y restituyen estos elementos al medio. Normalmente la dificultad estriba en la distancia entre productores y descomponedores, sobre todo en los ecosistemas acuáticos, por lo que hay ciertas circunstancias que hacen que la productividad aumente (energía externa):

- Zonas de afloramiento, donde el agua profunda asciende y trae nutrientes que fertilizan el plancton. La energía externa es el viento.
- Plataformas costeras, donde las olas movilizan los sedimentos y los nutrientes aportados por los ríos.
- En ecosistemas terrestres producción y descomposición se superponen.

6.c <u>La luz y la disposición de las unidades fotosintéticas</u>

La luz es factor limitante sobre todo en los ecosistemas acuáticos.
Al aumentar la luz incidente, si los demás factores son adecuados, aumenta la eficiencia fotosintética hasta llegar a un límite impuesto por dos motivos:

- La disposición de las unidades fotosintéticas en los cloroplastos, que hace que se den sombra unas a otras como las hojas de un árbol.
- La estructura de dichas unidades fotosintéticas en las que el número de moléculas captadoras de luz (moléculas de pigmento) es muy superior al de las moléculas encargadas de transformarla en energía química (centro de reacción), en proporción de 300/1. De modo que a partir de una determinada intensidad las moléculas se saturan como lo hace una enzima con su sustrato.

Ocurre así que la mayor eficiencia fotosintética se produce al amanecer y al atardecer, con intensidades bajas, disminuyendo en las horas principales de insolación.

6. Ciclos biogeoquímicos

Comprenden una serie de caminos realizados por la materia entre los subsistemas terrestres. Tienden a ser **cerrados**, aunque los seres humanos al romper el reciclaje natural los han abierto, provocando pérdidas y aceleración en los mismos.

Transparencias con los ciclos del carbono, fósforo, nitrógeno y azufre. Ciclo del oxígeno aparte.

CICLO DEL CARBONO

- **Distribución del dióxido de carbono**
  - Atmósfera 1
  - Hidrosfera 50
  - Litosfera (combustibles) 10
  - Biosfera (biomasa) 3

  La biosfera con la fotosíntesis moviliza el 5 % al año, renovándolo en 20 años.
  Se absorbe 12.000 millones de tm/año y se emite 25.000 millones de tm/año.

- **Fases**
  - Ciclo biológico, entre biosfera y atmósfera
  - Ciclo biogeoquímico, entre biosfera y los demás sistemas terrestres

- **Compuestos mayoritarios**
  - Atmósfera: dióxido y monóxido de carbono y metano
  - Hidrosfera: dióxido de carbono por difusión
  - Litosfera: rocas carbonatadas, silicatos y combustibles fósiles **Reserva de C**
  - Biosfera: compuestos orgánicos.

- **Paso de atmósfera a litosfera, a través de la hidrosfera**
  - Proceso geológico muy lento
  - Dióxido de carbono + agua ⟶ ácido carbónico al combinarse con rocas carbonatadas produce calcio e iones bicarbonato que en el mar se volverán a combinar con calcio para formar esqueletos o conchas que irán a parar a los sedimentos, liberando una parte de dióxido a la atmósfera.

  El mar se convierte en sumidero de dióxido cuya cantidad es 50 veces la de la atmósfera.

- **De la litosfera a la atmósfera**
  - Parte de las rocas carbonatadas a cierta profundidad se funden y liberarán dióxido de carbono en las emisiones volcánicas.

- **De la biosfera a la atmósfera**
  - Parte de la materia orgánica quedará enterrada y en condiciones anaerobias fermentará produciendo combustibles fósiles como almacén de carbono que volverá a la atmósfera en la combustión como dióxido de carbono.

CICLO DEL NITRÓGENO

- La mayor cantidad de nitrógeno está en la atmósfera como N_2 en un 78 % **Reserva**
- Es un gas inerte e inaccesible a la mayor parte de los organismos

- **Compuestos con nitrógeno en la atmósfera.**
  N_2, NH_3 (de erupciones volcánicas y putrefacción de organismos), NOx (por transformación de nitrógeno molecular por tormentas eléctricas y también por contaminación). Es lo que se llama fijación atmosférica.
  Los NOx se unen al agua y se convierten en ácido nítrico que caerá y formará nitratos en el suelo, absorbibles por los vegetales.

- **El nitrógeno en la biosfera.**
  En los organismos el nitrógeno forma parte de las proteínas, nucleótidos. Tras la muerte se descompondrán y por amonificación darán amoniaco.
  La biosfera fija nitrógeno atmosférico a través de bacterias fijadoras libres (*Azotobacter*, cianobacterias) o simbióticas (*Rhizobium*). También hongos (*Francia*). Es la fijación biológica.

- Hay otros dos procesos en la transformación de nitrógeno:
  Nitrificación: Por bacterias descomponedoras que transforman amoniaco en nitritos (*Nitrosomonas)* y nitritos en nitratos *(Nitrobacter)*, asimilables por los vegetales.
  Desnitrificación: Conversión de nitratos en nitrógeno molecular en condiciones de anaerobiosis, suelos encharcados.

- El ser humano interviene en el ciclo:
  Combustión a elevadas temperaturas: combina oxígeno y nitrógeno formando NOx que con el vapor de agua origina ácido nítrico y lluvia ácida, enriqueciendo los suelos en nitratos.
  Fijación industrial: El nitrógeno es transformado en amoniaco y fertilizantes.
  Abonado excesivo: libera NOx de efecto invernadero
  al principio fertiliza pero luego agota el suelo al faltar otros nutrientes
  eutrofización del agua
  contaminación de acuíferos

CICLO DEL FÓSFORO

- La mayor parte del fósforo está inmovilizado en sedimentos oceánicos **Reserva**

- Su liberación es entre 10.000 y 100 millones de años lo que le convierte en **factor limitante** de la producción primaria y en **recurso no renovable,** del que se calcula quedan reservas para 100 años.

- **Compuestos** en los que interviene:
  - Litosfera: rocas fosfatada y cenizas volcánicas que liberan iones fosfato acumulados en lagos y océanos.
  - Biosfera: fosfolípidos, nucleótidos, esqueletos. 0,2 % en materia vegetal y 1 % en animales.

  El tiempo de permanencia en la biosfera es: 100-10.000 años en ecosistemas terrestres
  1 a 2 años en ecosistemas acuáticos

CONCENTRACIÓN DE ALGUNOS ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES PARA LA VIDA EN LOS TEJIDOS DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS (DEMANDA) Y EN EL AGUA (SUMINISTRO)

Elemento químico	Demanda (plantas)	Suministro (agua)	Relación demanda/suministro
O	80,5	89	1
H	9,7	11	1
C	6,5	0,001 2	5 000
Si	1,3	0,000 65	2 000
N	0,7	0,000 023	30 000
Ca	0,4	0,001 5	270
K	0,3	0,000 23	1 300
P	0,08	0,000 001	80 000
Mg	0,07	0,000 4	175
S	0,06	0,000 4	150

La relación demanda/suministro más elevada es la del fósforo, por lo que este nutriente es el factor limitante más importante en el crecimiento vegetal.

CICLO DEL AZUFRE

- Mayoritariamente almacenado en la hidrosfera, en forma de sulfatos con transferencia muy lenta entre hidrosfera y litosfera.

- **En la litosfera** forma los yesos, abundantes en los suelos y fácilmente lavados hacia los medios acuáticos.

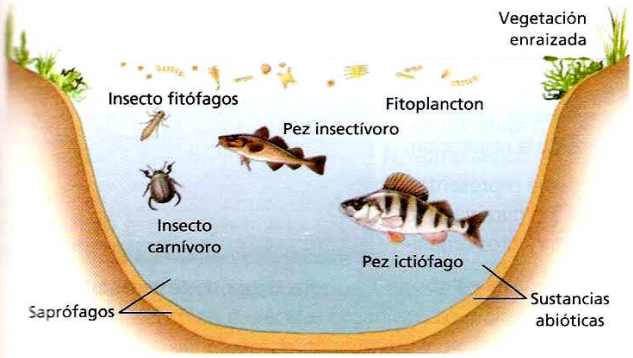
- **En la biosfera** forma parte de ciertos aminoácidos como cisteína, metionina. Las bacterias, hongos y plantas toman sulfatos los transforman en sulfitos, en sulfuros y de aquí los incorporan en sus reacciones de biosíntesis para transferirlos a otros niveles tróficos.
  Con la muerte los sulfuros se liberan a la atmósfera.

- **En la hidrosfera** en anaerobiosis, por bacterias sulfatorreductoras, en zonas profundas los sulfatos se combinan con hierro (pirita) o con arcillas, pudiendo volver a la superficie en erupciones volcánicas o por combustión.
  En superficie, con oxígeno, el sulfhídrico se combina con oxígeno para formar sulfatos mediante reacciones de fotosíntesis o quimiosíntesis dependiendo de si es en presencia de luz o no.
- **De la hidrosfera a la atmósfera** corre a cargo de las algas DMS (dimetilsulfurosas) que transforman el dimetilsulfuro en sulfatos o SOx que al combinarse con el agua formará ácido sulfúrico y lluvia ácida. Estos SOx son también liberados por combustión.

ACTIVIDAD 1

Basada en una PAU de junio de 1998

En el ecosistema de la charca del siguiente dibujo se representan una serie de organismos como componentes de las cadenas tróficas.



a) Clasifica los organismos representados según su papel en el ecosistema.

b) Describe y analiza el flujo de energía en el ecosistema de la charca, introduciendo para ello un elemento fundamental que falta en el ecosistema.

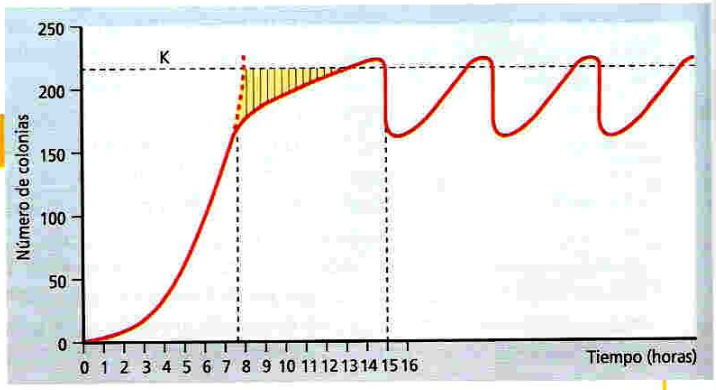
c) Identifica razonadamente a qué tipo de sistema físico pertenece el ecosistema de una charca. Represéntalo utilizando un modelo de caja negra.

d) ¿Qué se entiende por producción primaria de un ecosistema? ¿Qué relación existe entre la intensidad de la luz y la producción primaria? Representa la curva que relaciona ambas variables, colocando la intensidad de la luz en las abscisas.

ACTIVIDAD 2

Basada en una PAU de junio de 1998

En la siguiente gráfica se representa el crecimiento de una población de una especie de bacteria en función del tiempo.



a) Analiza la gráfica indicando qué ocurre desde el tiempo 0 hasta la 8.ª hora, desde ésta hasta la 15.ª hora y a partir de esta última.

b) ¿Qué indica el valor K? ¿Qué representa la zona rayada? ¿Qué es el potencial biótico de una especie?

c) Según la gráfica, ¿la especie estudiada sería r-estratega o k-estratega? Razona la respuesta.

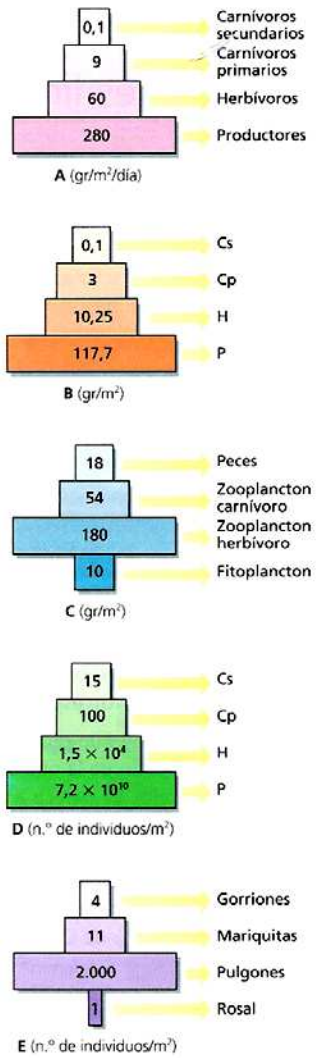
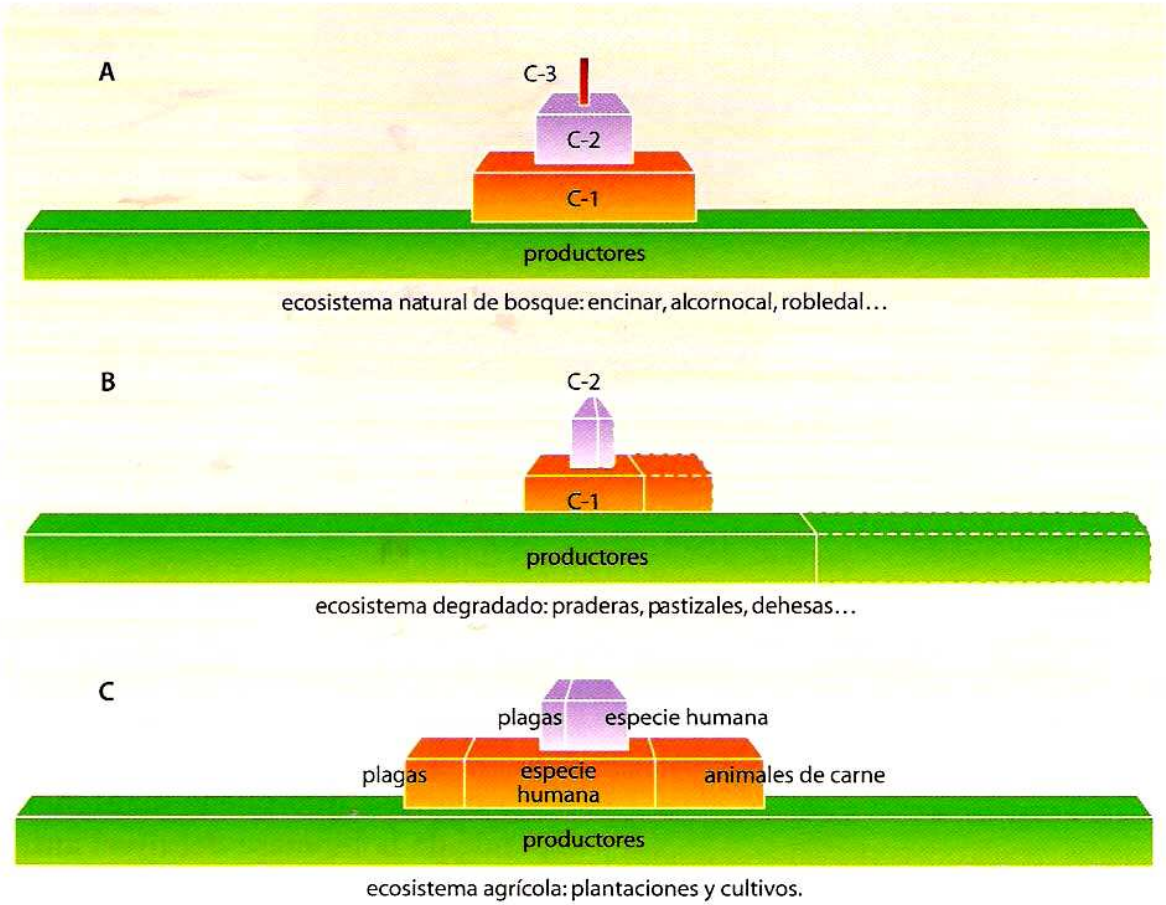


Figura 12. Pirámides tróficas.
A. De energía; B. De biomasa;
C. De biomasa invertida;
D. De números; E. De números con parásitos.



9.23. Pirámides de producción de tres ecosistemas. A, ecosistema natural de bosque: su complejidad estructural regula los tamaños de las poblaciones; conserva el mismo patrón de transferencia de energía de año en año. **B, ecosistema degradado:** la pirámide de producción es fluctuante; las poblaciones de herbívoros y carnívoros se caracterizan por incluir gran número de individuos, pero pocas especies distintas. **C, ecosistema agrícola:** la producción neta (PN) de los productores disponible para el siguiente nivel trófico es mayor de lo normal; la estabilidad se mantiene por incorporación de energía en los cultivos, a partir de los pesticidas y fertilizantes agrícolas, es decir, gracias a la intervención humana. (Las pirámides están realizadas en la misma escala.)

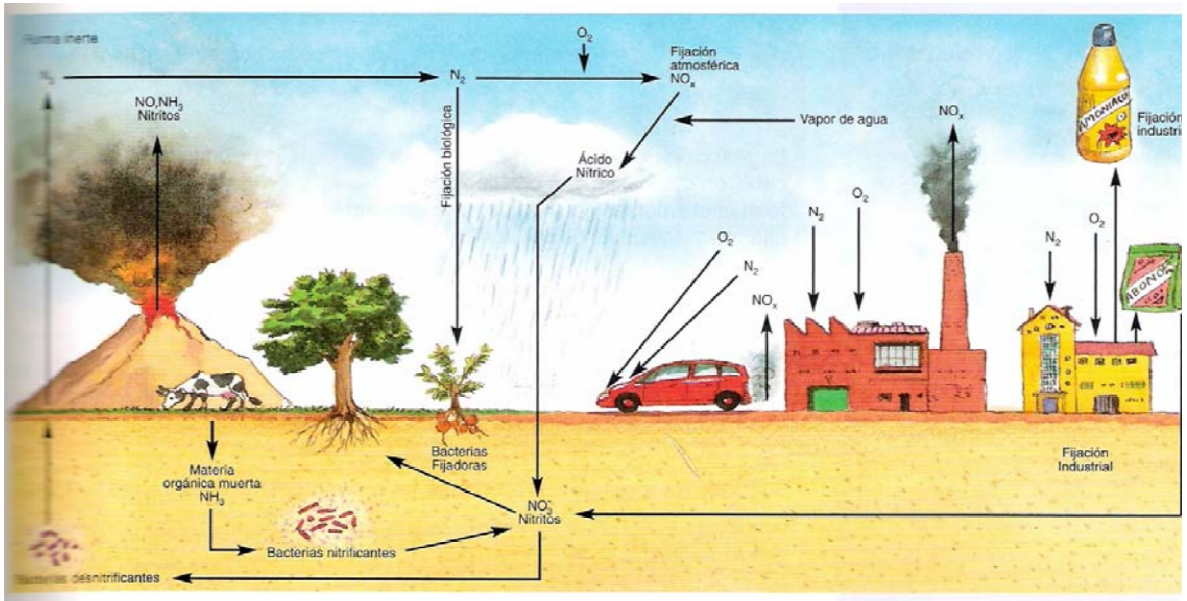


Fig. 4.29. *Ciclo del nitrógeno.*

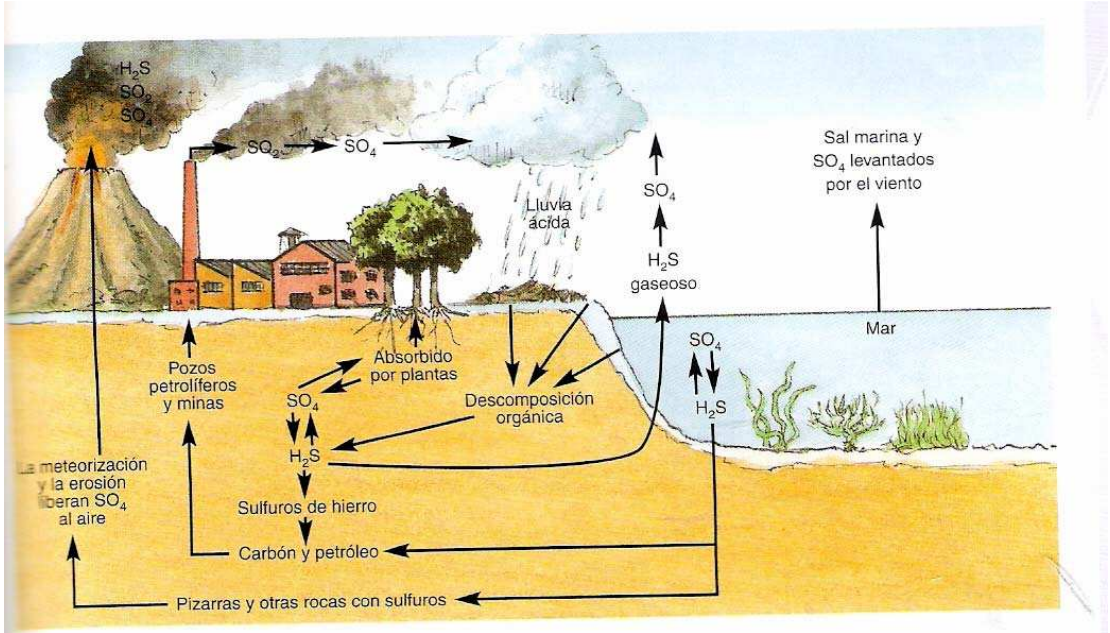
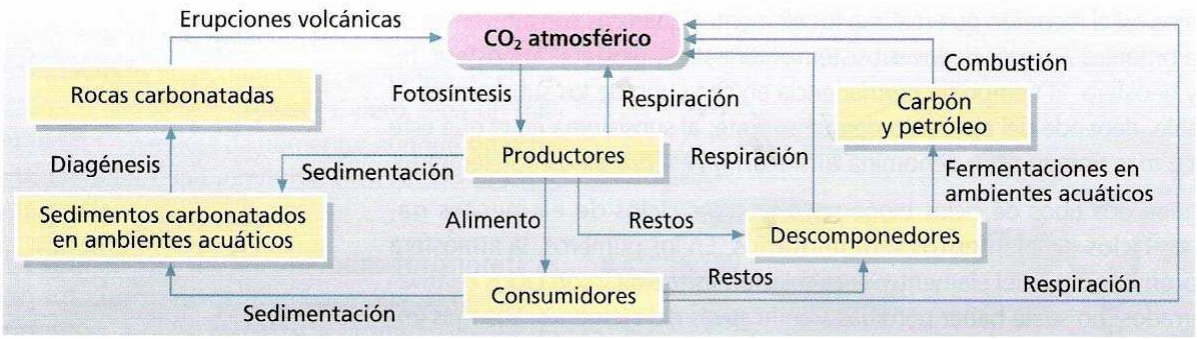
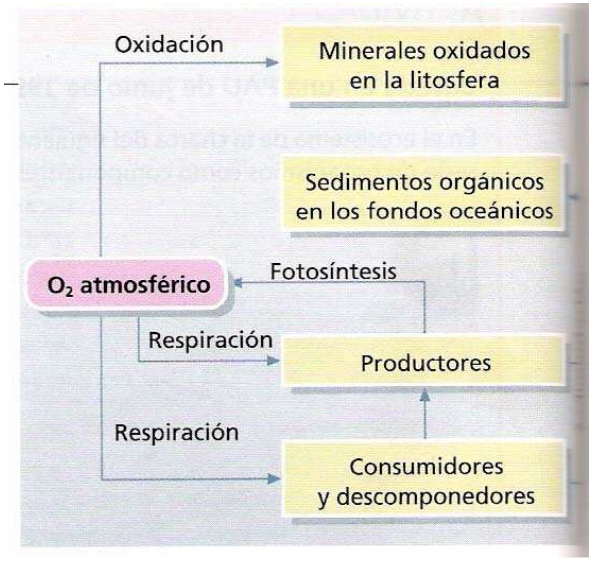
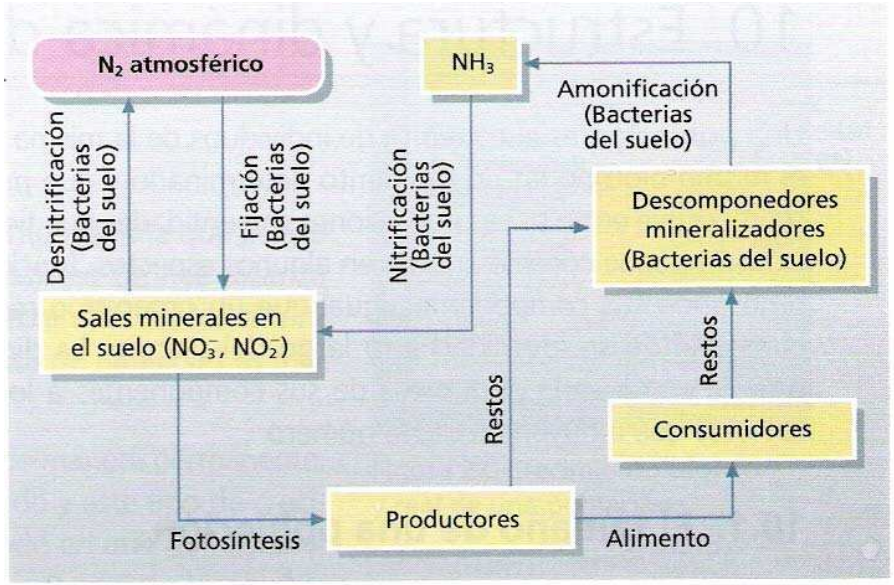
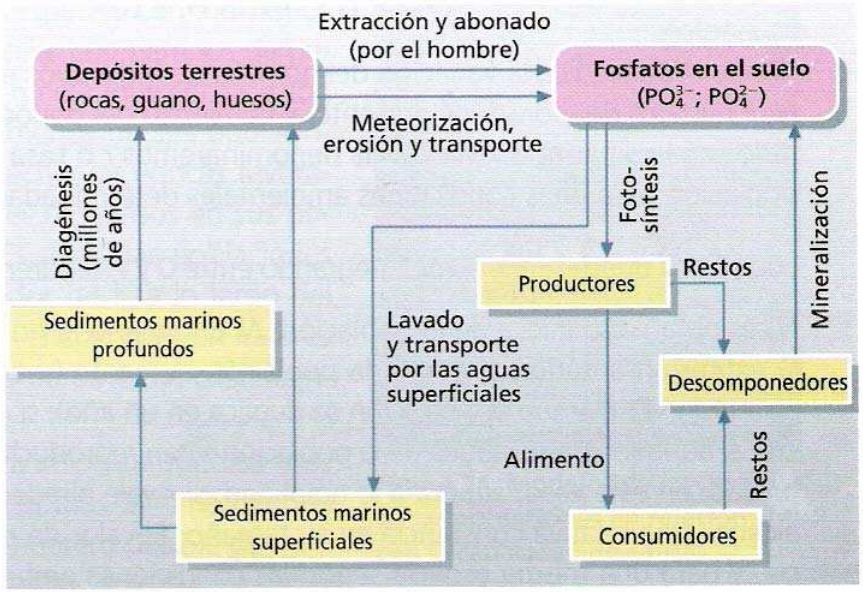


Fig. 4.30. *Ciclo del azufre.*


Erupciones volcánicas
CO_2 atmosférico
Rocas carbonatadas
Fotosíntesis
Respiración
Combustión
Carbón y petróleo
Diagénesis
Sedimentación
Productores
Respiración
Fermentaciones en ambientes acuáticos
Sedimentos carbonatados en ambientes acuáticos
Alimento
Restos
Descomponedores
Restos
Consumidores
Respiración
Sedimentación


Oxidación
Minerales oxidados en la litosfera
Sedimentos orgánicos en los fondos oceánicos
O_2 atmosférico
Fotosíntesis
Respiración
Productores
Respiración
Consumidores y descomponedores


N_2 atmosférico
NH_3
Amonificación (Bacterias del suelo)
Desnitrificación (Bacterias del suelo)
Fijación (Bacterias del suelo)
Nitrificación (Bacterias del suelo)
Descomponedores mineralizadores (Bacterias del suelo)
Sales minerales en el suelo (NO_3^-, NO_2^-)
Restos
Restos
Consumidores
Productores
Fotosíntesis
Alimento


Extracción y abonado (por el hombre)
Depósitos terrestres (rocas, guano, huesos)
Fosfatos en el suelo (PO_4^{3-}; PO_4^{2-})
Meteorización, erosión y transporte
Diagénesis (millones de años)
Foto-síntesis
Mineralización
Productores
Restos
Sedimentos marinos profundos
Lavado y transporte por las aguas superficiales
Descomponedores
Alimento
Restos
Sedimentos marinos superficiales
Consumidores

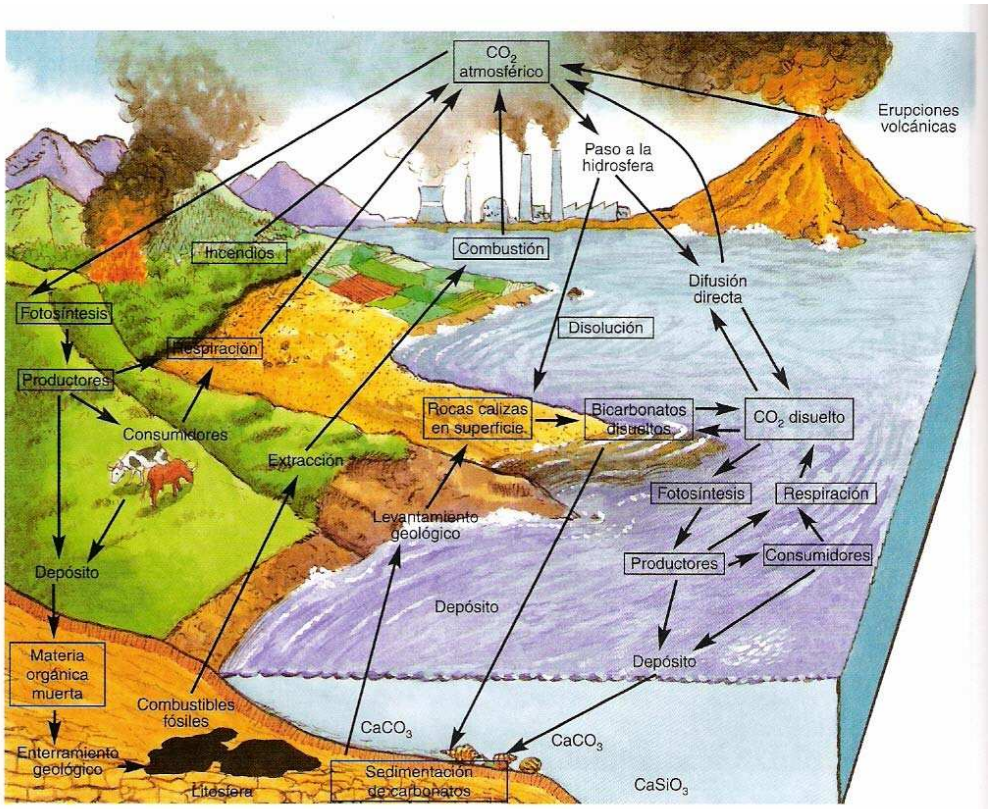


Fig. 4.27. *El ciclo del carbono.*

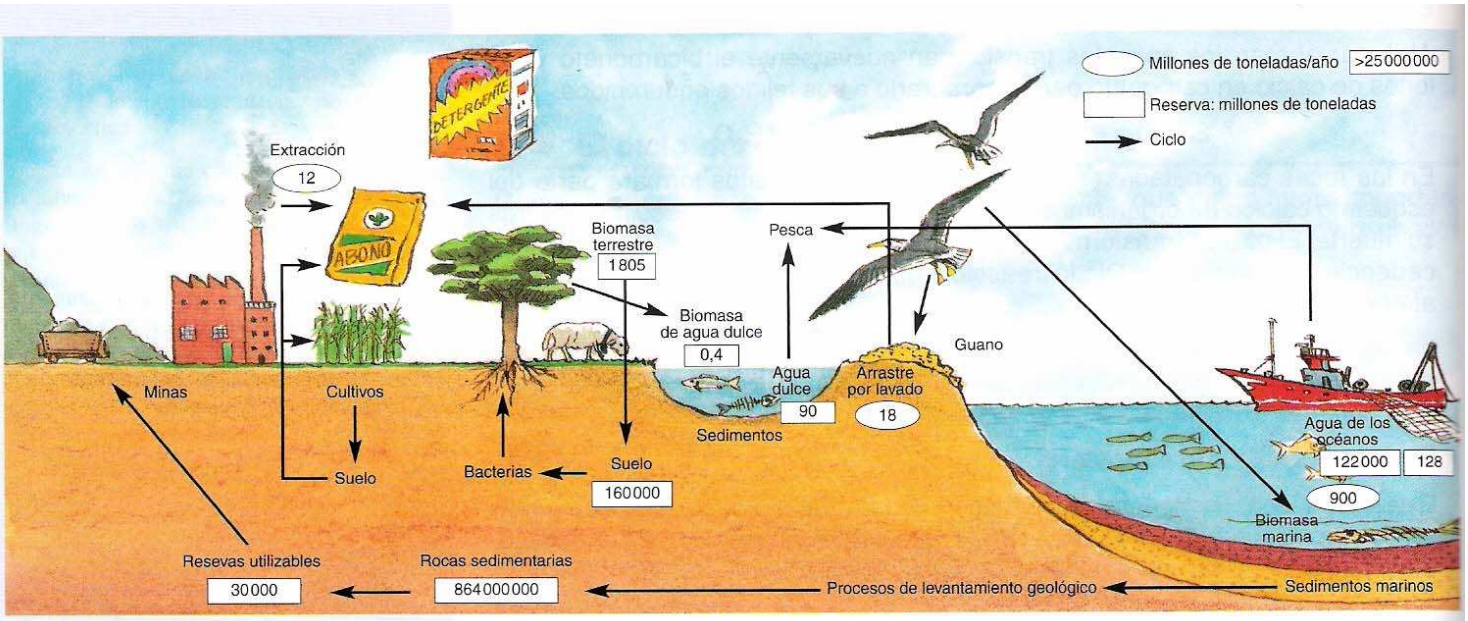


Fig. 4.28. *Ciclo del fósforo.*