



# Ecosistemas II

## Los Ciclos Biogeoquímicos

Nódulos de bacterias *Rhizobium* en las raíces de las plantas que se encargan de la fijación del nitrógeno

# Los Ciclos Biogeoquímicos

La materia en un ecosistema es intercambiada constantemente con la atmósfera, la hidrosfera y la geosfera. Los principales elementos constituyentes de los organismos vivos siguen ciclos perfectamente ajustados por diversas realimentaciones denominados **ciclos biogeoquímicos**. Según sea la reserva de estos elementos (el lugar en el que mayor parte del ciclo pasan) **la atmósfera o la geosfera** distinguimos entre **ciclos de nutrientes gaseosos y ciclos de nutrientes sedimentarios**. La acción del hombre puede irrumpir en estos ciclos catalizándolos o alterándolos.



*Imagen de fondo:* Efectos de la lluvia ácida en Jizerské Hory, República Checa. La lluvia ácida es un efecto de la alteración del ciclo del azufre debida a emisiones humanas.



# Los Ciclos Biogeoquímicos

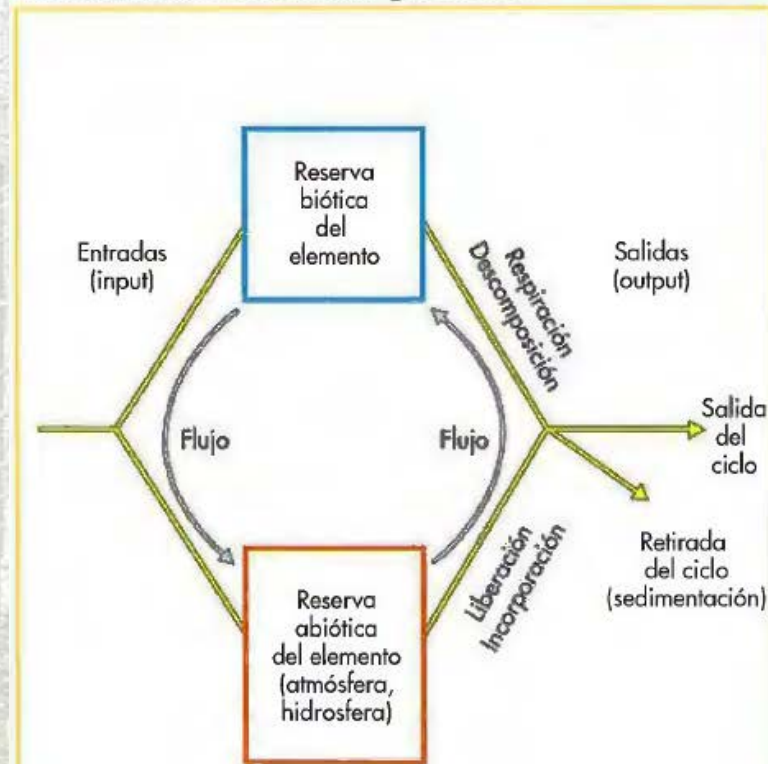
La materia en un ecosistema es intercambiada constantemente con la atmósfera, la hidrosfera y la geosfera. Los principales elementos constituyentes de los organismos vivos siguen **ciclos perfectamente ajustados por diversas realimentaciones** denominados **ciclos biogeoquímicos**. Según sea la reserva de estos elementos (el lugar en el que mayor parte del ciclo pasan) **la atmósfera o la geosfera** distinguimos entre **ciclos de nutrientes gaseosos** y **ciclos de nutrientes sedimentarios**. La acción del hombre puede irrumpir en estos ciclos catalizándolos o alterándolos.

## Ciclos de Nutrientes Gaseosos

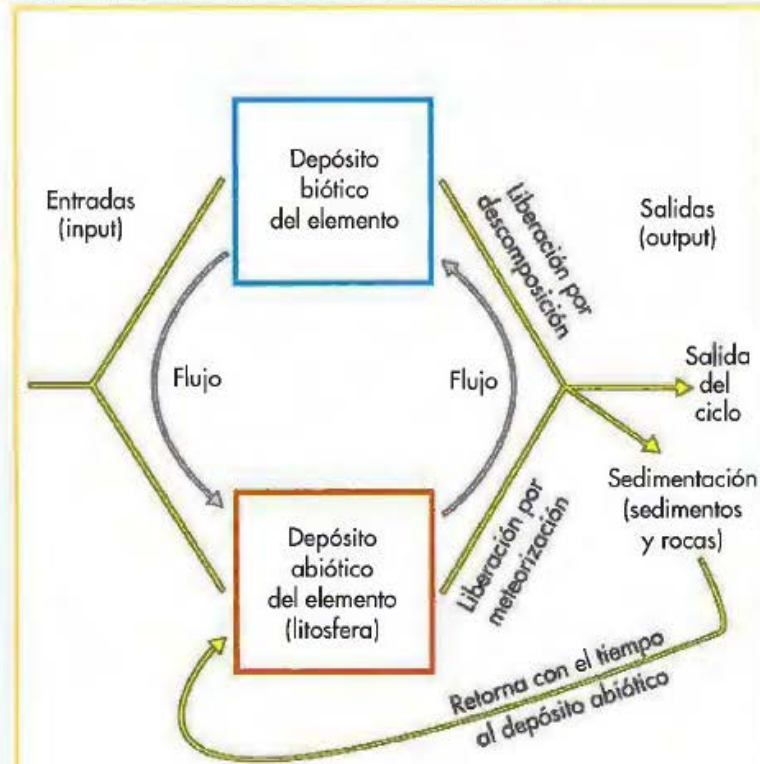
- Oxígeno
- Carbono
- Nitrógeno

Los ciclos de nutrientes gaseosos suelen ser **relativamente cerrados y rápidos**.

### Los ciclos de nutrientes gaseosos



### Los ciclos de nutrientes sedimentarios



## Ciclos de Nutrientes Sedimentarios

- Fósforo
- Azufre

Los ciclos de nutrientes sedimentarios **tienden a ser mucho más lentos y estancarse**. Pueden quedar fuera del alcance de los organismos y del proceso de reciclaje durante largos tiempos, constituyendo a menudo un **factor mucho más limitante** que los nutrientes gaseosos para muchos seres vivos.



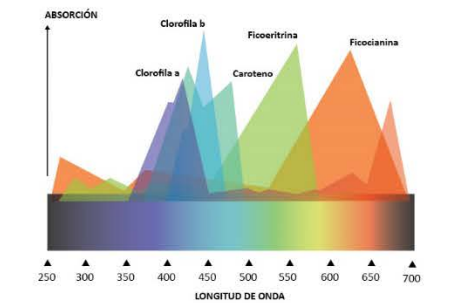
# Un Recordatorio Previo: la Fotosíntesis...

## Proceso de fotosíntesis

La vida sobre la Tierra depende de la luz solar. Por medio de la fotosíntesis los organismos autótrofos como plantas y cianobacterias son capaces de producir compuestos orgánicos como la glucosa a través de la reacción impulsada por la energía lumínica, en donde el dióxido de carbono presente en el aire es fijado en estos hidratos de carbono y el agua oxidada. Como producto de la fotosíntesis se obtiene además, oxígeno, que es un elemento esencial para la vida.

### PIGMENTOS

Todos los organismos fotosintéticos contienen una mezcla de pigmentos cada uno con una función específica. Los pigmentos relacionados con la fotosíntesis se ubican en los cloroplastos. La **clorofila a y b** se encuentra abundantemente en plantas verdes y las **c y d** en ciertos protistas y cianobacterias. Existen otros pigmentos como los **carotenoides** que pueden ser amarillos, rojos o púrpura. También se hallan pigmentos llamados **ficobilinas**, dentro de los cuales encontramos por ejemplo a la **ficoeritrina** y a la **ficocianina**.



Absorción de la luz visible por los diferentes tipos de pigmentos fotosintéticos. Los pigmentos presentes en las plantas absorben luz de las regiones roja y violeta del espectro, permitiendo que se refleje o transmita la luz verde, es por este motivo que las plantas son verdes.

### FOTOSISTEMAS

Los pigmentos que absorben luz están organizados en conjuntos llamados **fotosistemas**. Todas las moléculas de pigmentos son capaces de absorber energía lumínica, pero sólo algunas de ellas son capaces de transformarla en energía química. Este tipo de moléculas se encuentran en los llamados **centros de reacción fotoquímico** y las demás moléculas son llamadas **moléculas recolectoras de luz** o **directamente antenas**. Existen dos fotosistemas cuyas funciones son diferentes pero complementarias. El **fotosistema I** que tiene un centro de reacción llamado **P700** y contiene una mayor cantidad de **clorofila a** que de **clorofila b**, y el **fotosistema II** que contiene un centro de reacción **P680**. El flujo de electrones entre los dos fotosistemas y las relaciones energéticas de las reacciones luminosas puede verse por medio del llamado **"Esquema en Z"**. El flujo comienza en el centro de reacción **P680** y de aquí comienza su camino a través de los demás aceptores y del **P700** del fotosistema I, para llegar finalmente al último aceptor de electrones que puede producir **NADPH**. En el transcurso de este proceso los electrones perdidos son reemplazados por los presentes en las moléculas de agua, luego de su ruptura por la luz solar, en donde se liberan además moléculas de oxígeno.

### ECUACIÓN GENERAL DE LA FOTOSÍNTESIS



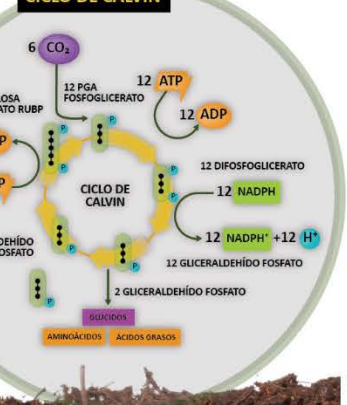
**1**  
**ENERGÍA SOLAR**  
Es la fuente de energía más importante para los seres vivos. Es utilizada por los organismos autótrofos, en el proceso de fotosíntesis, junto con el agua y el dióxido de carbono para producir compuestos orgánicos.

**2**  
**AIRE**  
El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) presente en el aire es captado por las plantas por los estomas, unas estructuras formadas por un grupo de dos o más células epidérmicas especializadas, cuya función es regular el intercambio y la transpiración.

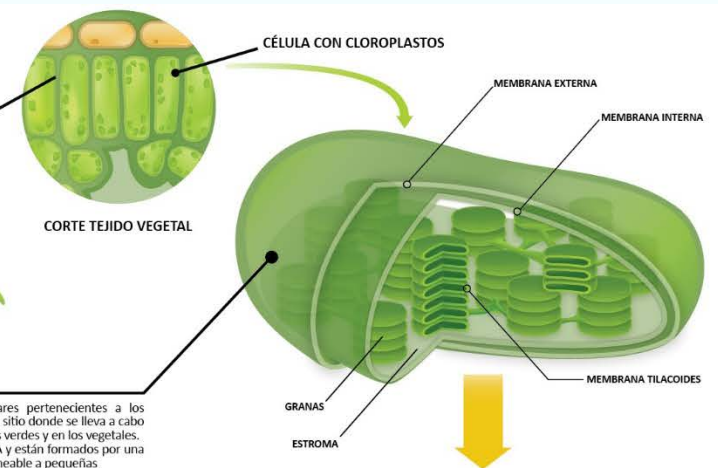
**3**  
**AGUA**  
El agua utilizada en el proceso de fotosíntesis es absorbida del suelo a través de las raíces de las plantas y transportada a través de toda la planta por el xilema, que es el tejido especializado en el transporte de agua y minerales, en las plantas vasculares.



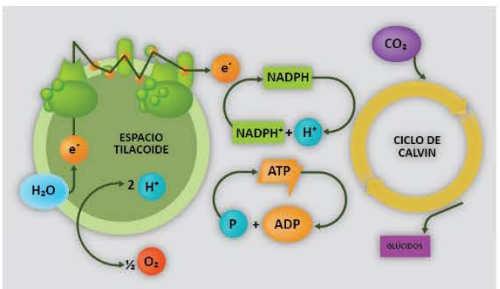
### CICLO DE CALVIN



**CICLO DE CALVIN**  
Durante la fijación del carbono se fijan tres moléculas de  $CO_2$  (gracias al ATP y NADPH producido en las reacciones dependientes de la luz) para la producción neta de una molécula de gliceraldehído-3-fosfato. Esta molécula puede ser luego utilizada para la síntesis de glucosa, aminoácidos y ácidos grasos.



**CLOROPLASTO**  
Son organelas subcelulares pertenecientes a los plástidos. Representan el sitio donde se lleva a cabo la fotosíntesis en las algas verdes y en los vegetales. Contienen su propio DNA y están formados por una membrana externa, permeable a pequeñas moléculas, separada de una interna, por un estrecho espacio intermembrana.



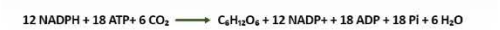
### LAS ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS

Se pueden diferenciar dos etapas, una con reacciones dependientes de la energía solar denominadas "reacciones dependientes de la luz" y la otra etapa con reacciones independientes, que pueden ocurrir tanto en la luz como en la oscuridad llamadas "reacciones que fijan nitrógeno".

**REACCIONES DEPENDIENTES DE LA LUZ**  
Esta etapa se desarrolla dentro de los tilacoides. Aquí la luz es absorbida por las moléculas de **clorofila a** y así los electrones presentes en estas moléculas son excitados y lanzados hacia niveles de energía mayores moviéndose por una cadena transportadora de electrones hasta llegar al aceptor final para producir **NADPH**, que es una sustancia que funciona como transportadora de átomos de hidrógeno y electrones. Junto con el transporte de electrones, se encuentra acoplado el movimiento de protones desde la estroma hacia el interior del tilacoide. Luego, estos electrones retornan a la estroma y se sintetiza **ATP** (adenosintrifosfato) a partir de **ADP** (adenosindifosfato) y **PI** (fósforo inorgánico).

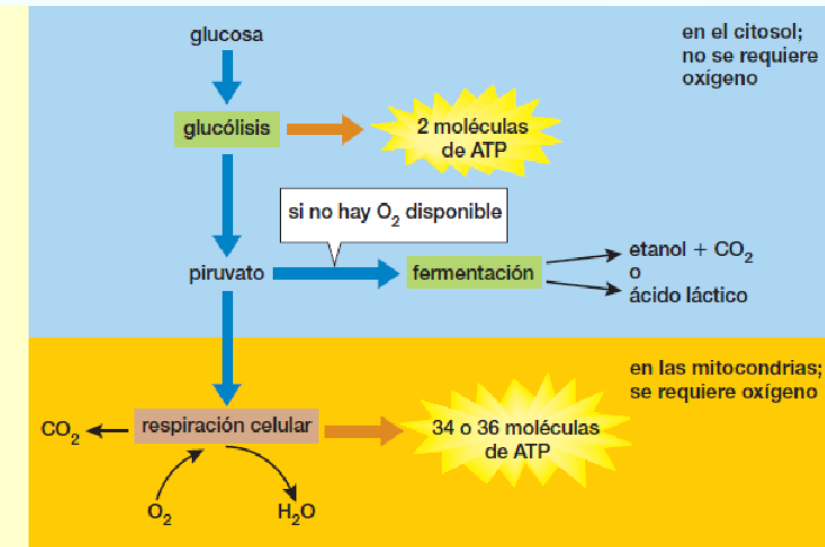
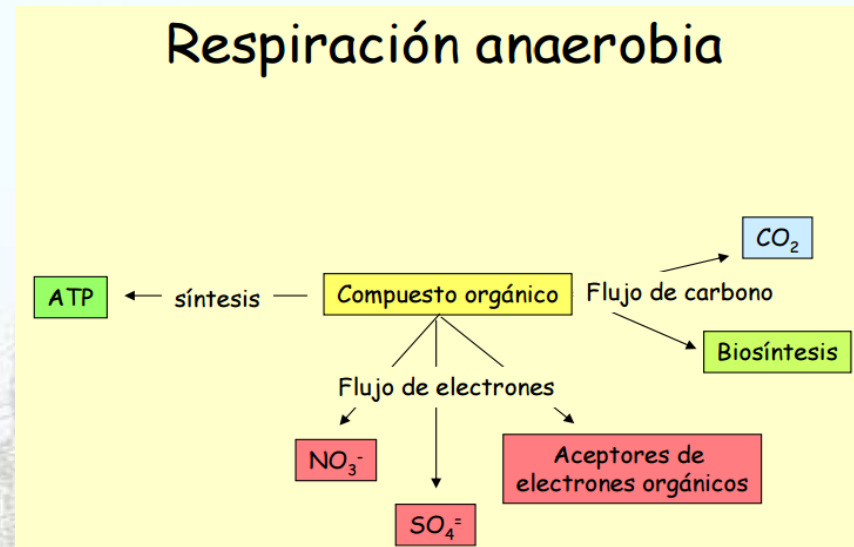
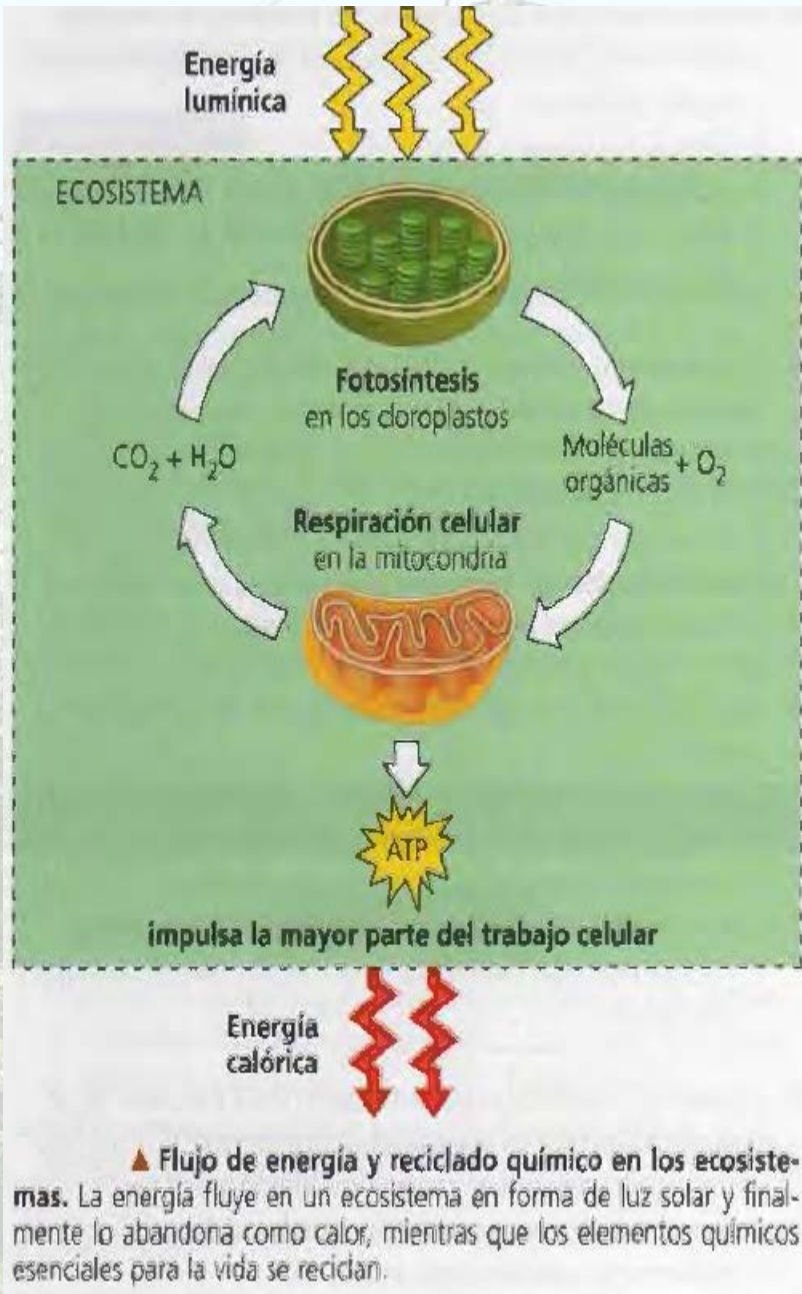


**REACCIONES QUE FIJAN NITRÓGENO**  
Ocurren en la estroma del cloroplasto en donde se utiliza el ATP y el NADPH formados en la etapa anterior, para producir **glucosa** ( $C_6H_{12}O_6$ ) a partir de la reducción del carbono, del dióxido de carbono, que ocurre en el **Ciclo de Calvin**.



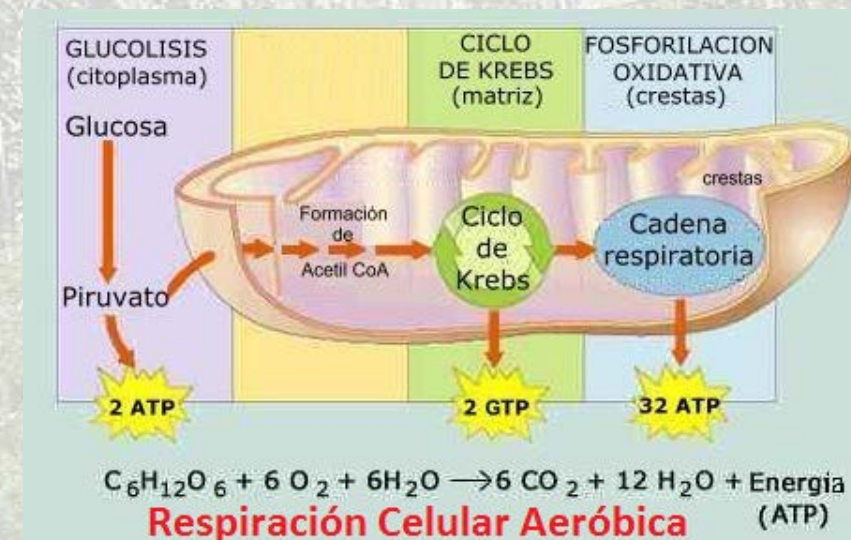


# ...y la Respiración Celular



Los **organismos anaerobios** o **anaeróbicos** son los que no utilizan **oxígeno ( $\text{O}_2$ )** en su metabolismo, más exactamente que el **aceptor final de electrones** es otra sustancia diferente del oxígeno.<sup>1</sup> Si el **aceptor de electrones** es una **molécula orgánica** (piruvato, acetaldehído, etc.) se trata de **metabolismo fermentativo**; si el **aceptor final** es una **molécula inorgánica** distinta del oxígeno (sulfato, carbonato, etc.) se trata de **respiración anaeróbica**. El concepto se opone al de **organismo aerobio**, en cuyo metabolismo se usa el oxígeno como **aceptor final de electrones**.

Aquellos organismos unicelulares que no pueden vivir o desarrollarse con la presencia de oxígeno se denominan **anaerobios estrictos**. Algunos microorganismos aeróbicos, que pueden desarrollarse en ausencia de oxígeno, por medio de la **fermentación** se denominan **anaerobios facultativos**.<sup>2</sup>



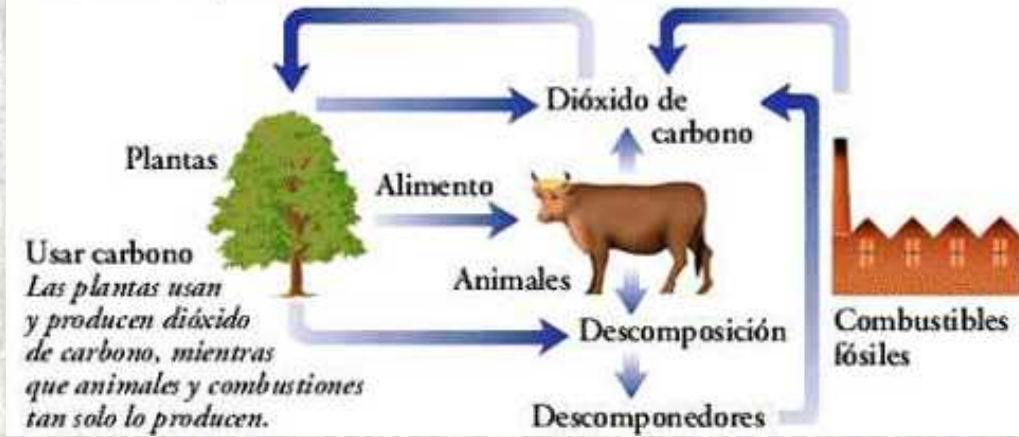


# El Ciclo del Carbono

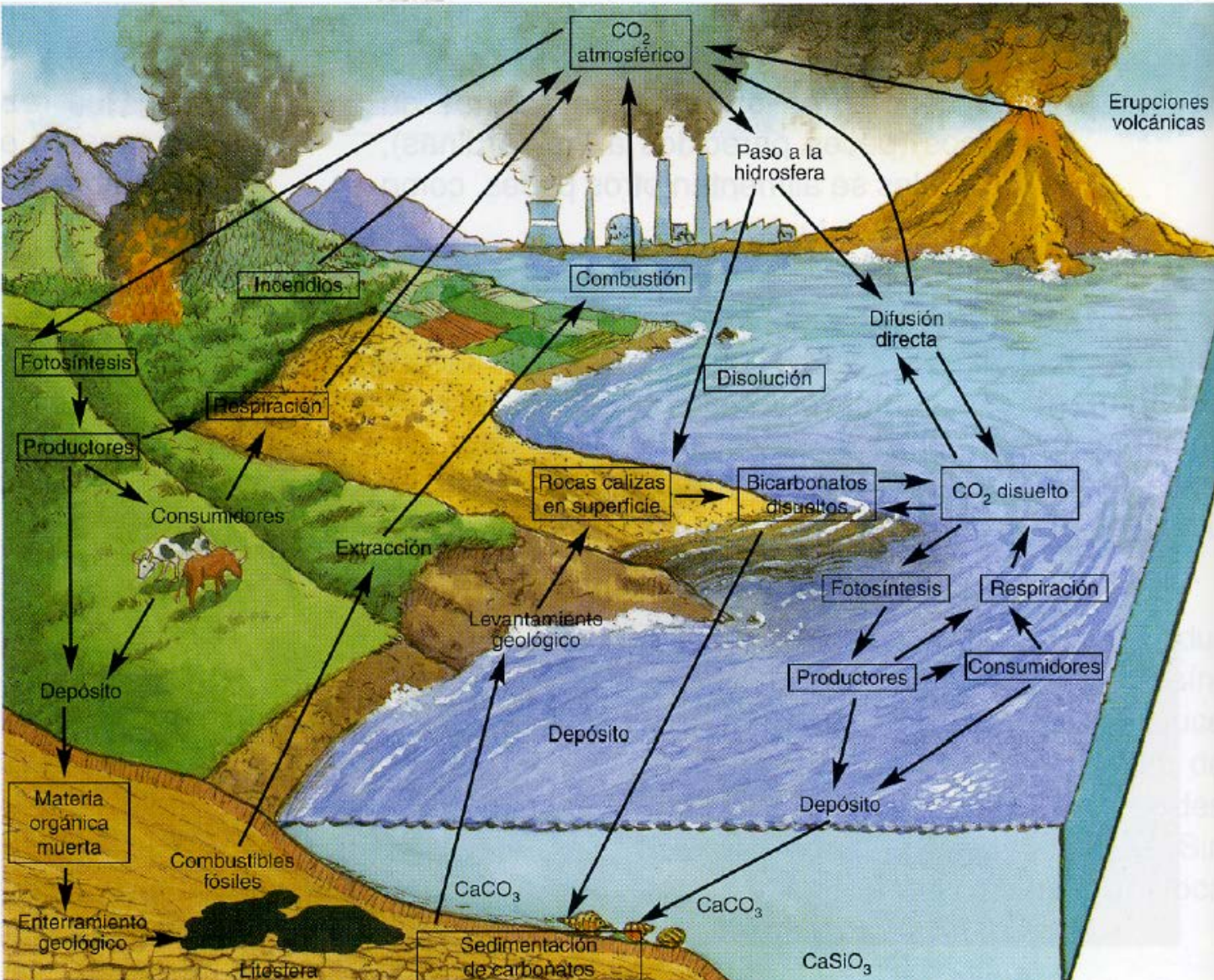
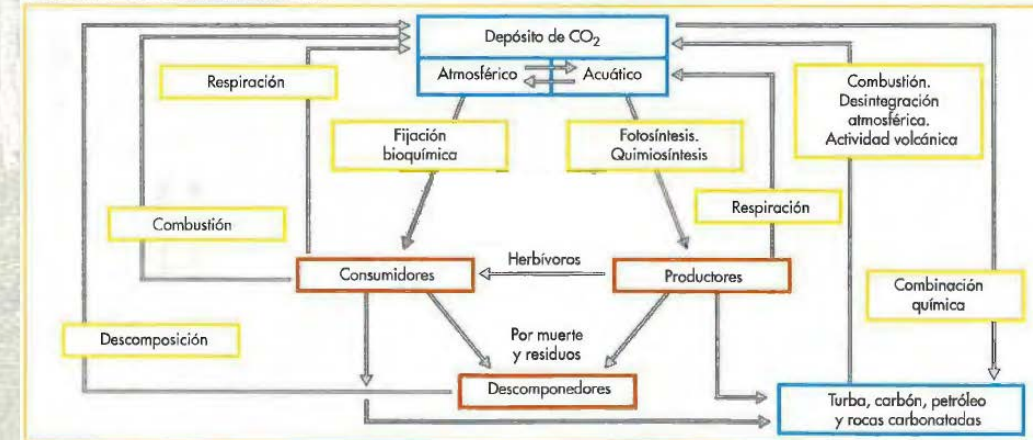
## CICLO DEL CARBONO

EL AIRE contiene un 0,03% de dióxido de carbono. Durante la **fotosíntesis** las plantas absorben una parte y producen sustancias orgánicas (que contienen carbono). Los animales se alimentan de plantas y esas sustancias pasan a su organismo.

Cuando los animales, plantas, hongos y bacterias **respiran**, vuelven a producir dióxido de carbono. Este equilibrio se rompe cuando la industria utiliza combustibles que al quemarse liberan más dióxido de carbono de lo normal.

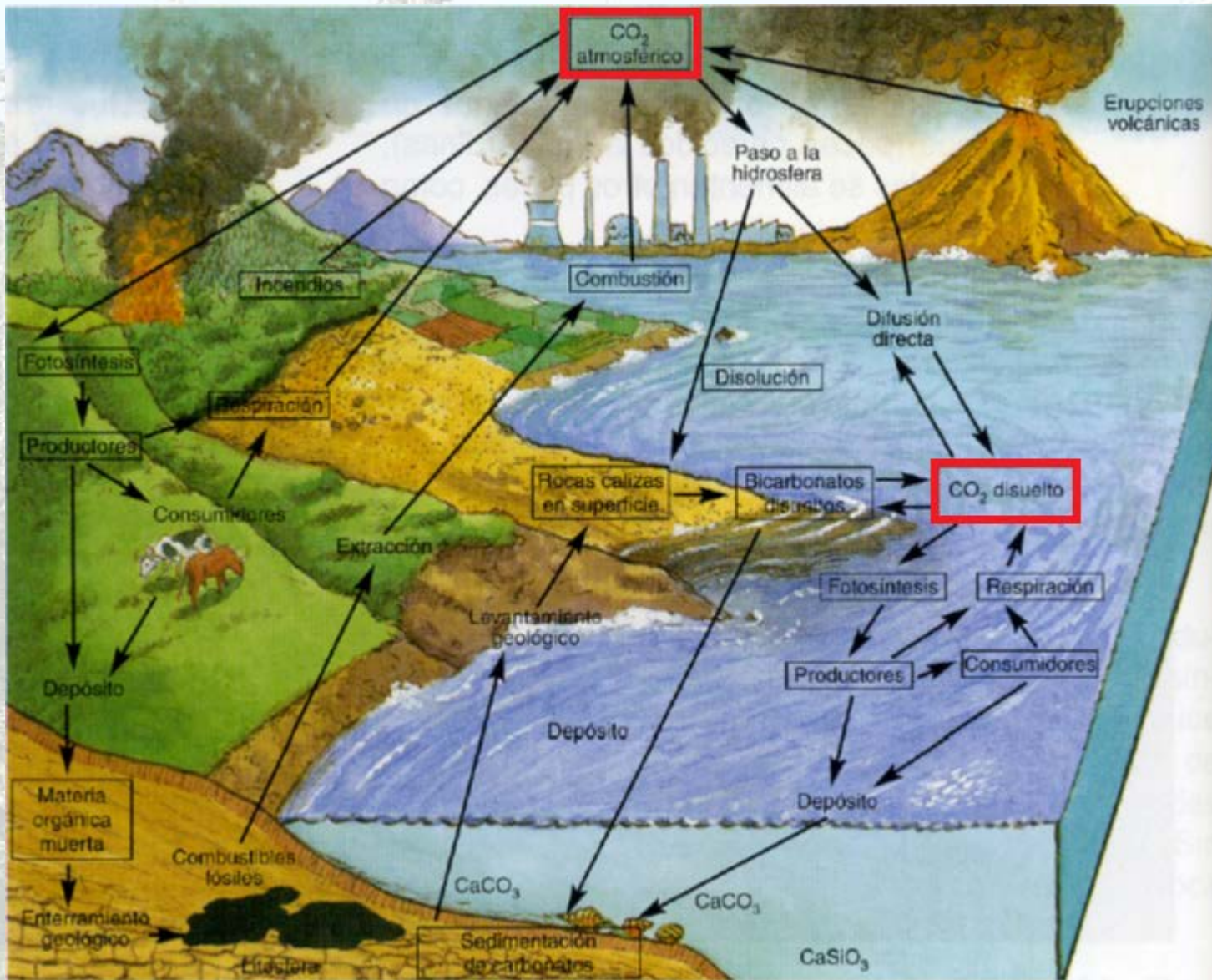


Esquema del ciclo de carbono



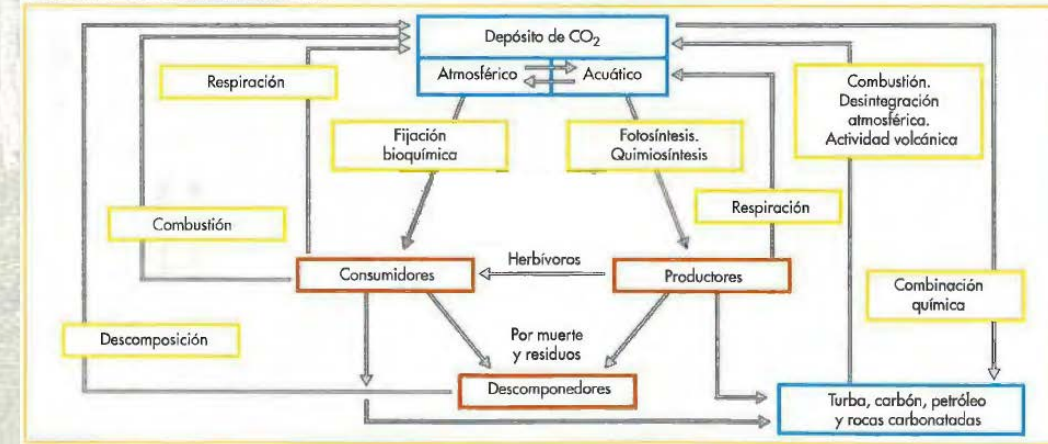


# El Ciclo del Carbono



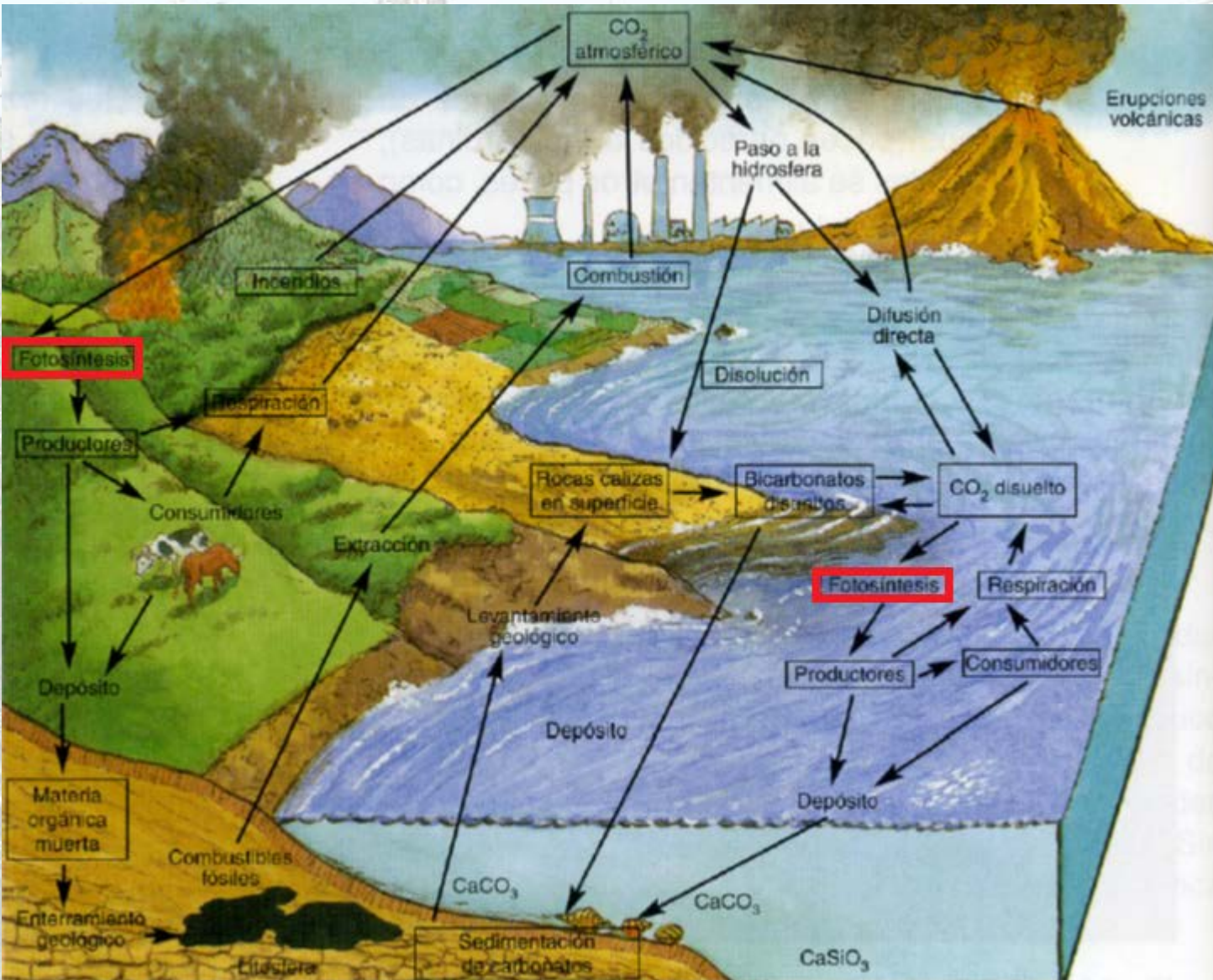
El **ciclo del carbono** tiene una **importancia tremenda para el desarrollo de la vida**. De él depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico de todo ser vivo. La reserva fundamental de carbono (en su inmensa mayoría en forma de **CO<sub>2</sub>**) se encuentra en la atmósfera, y en parte disuelto en la hidrosfera.

Esquema del ciclo de carbono



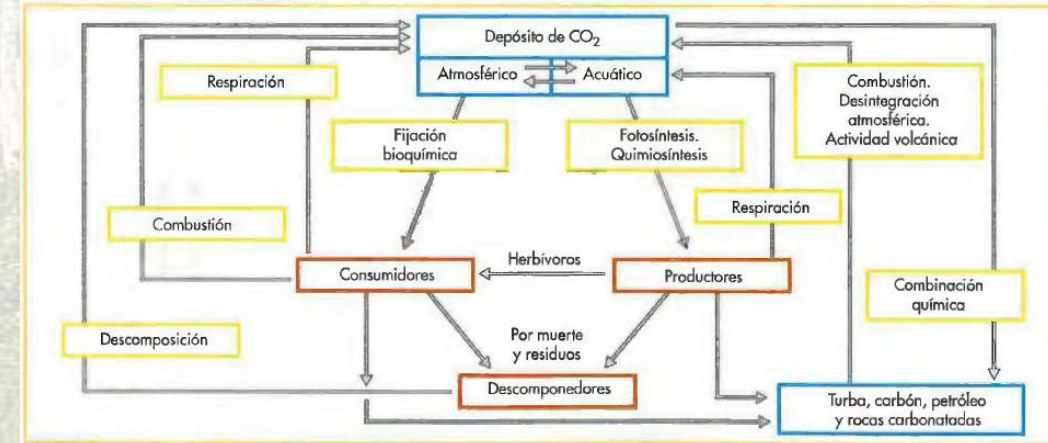


# El Ciclo del Carbono



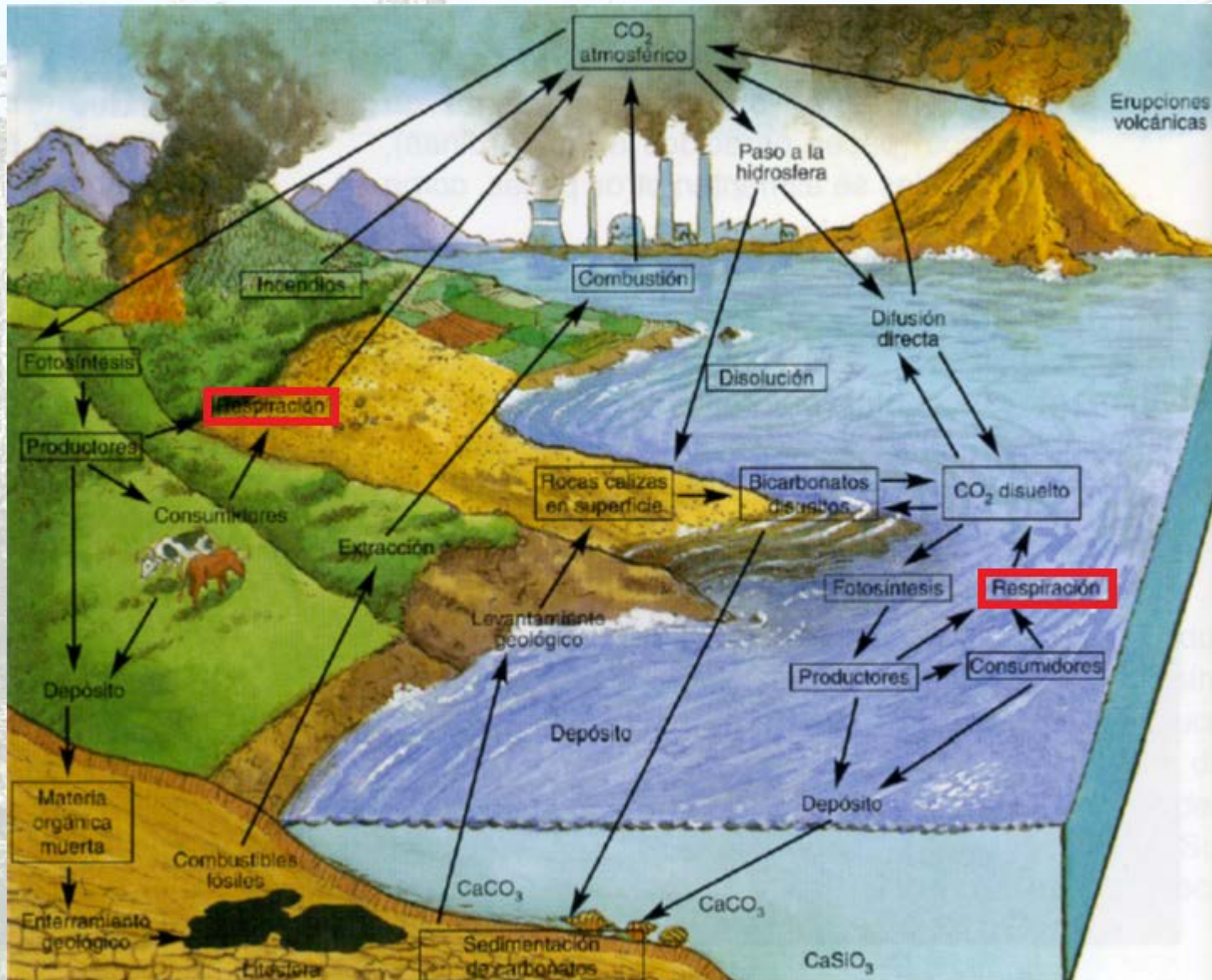
El ciclo se inicia cuando las plantas o algas toman el dióxido de carbono y lo utilizan para producir glucosa a través de la **fotosíntesis**. El **CO<sub>2</sub>** constituye un 0,03% de la atmósfera y cada año los procesos de fotosíntesis consumen un 5% de la cantidad total de CO<sub>2</sub>. Es decir, **todo el dióxido de carbono se renueva en tan sólo 20 años**.

Esquema del ciclo de carbono



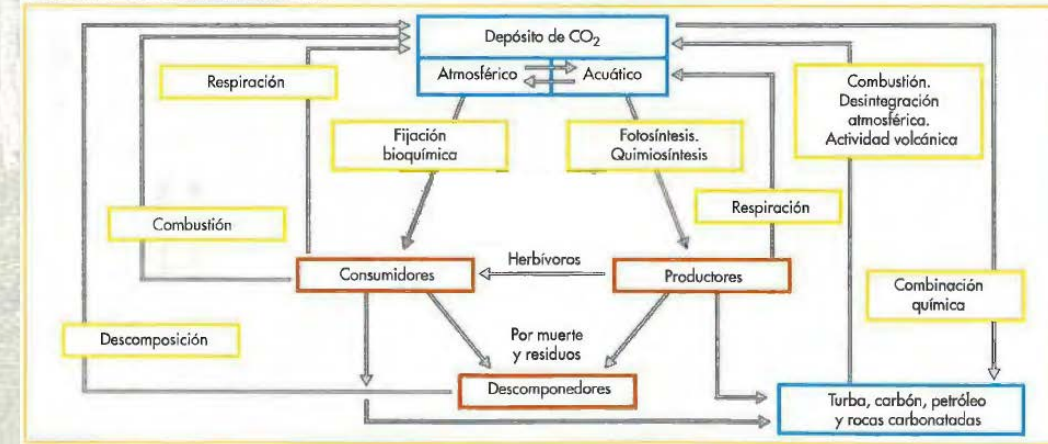


# El Ciclo del Carbono



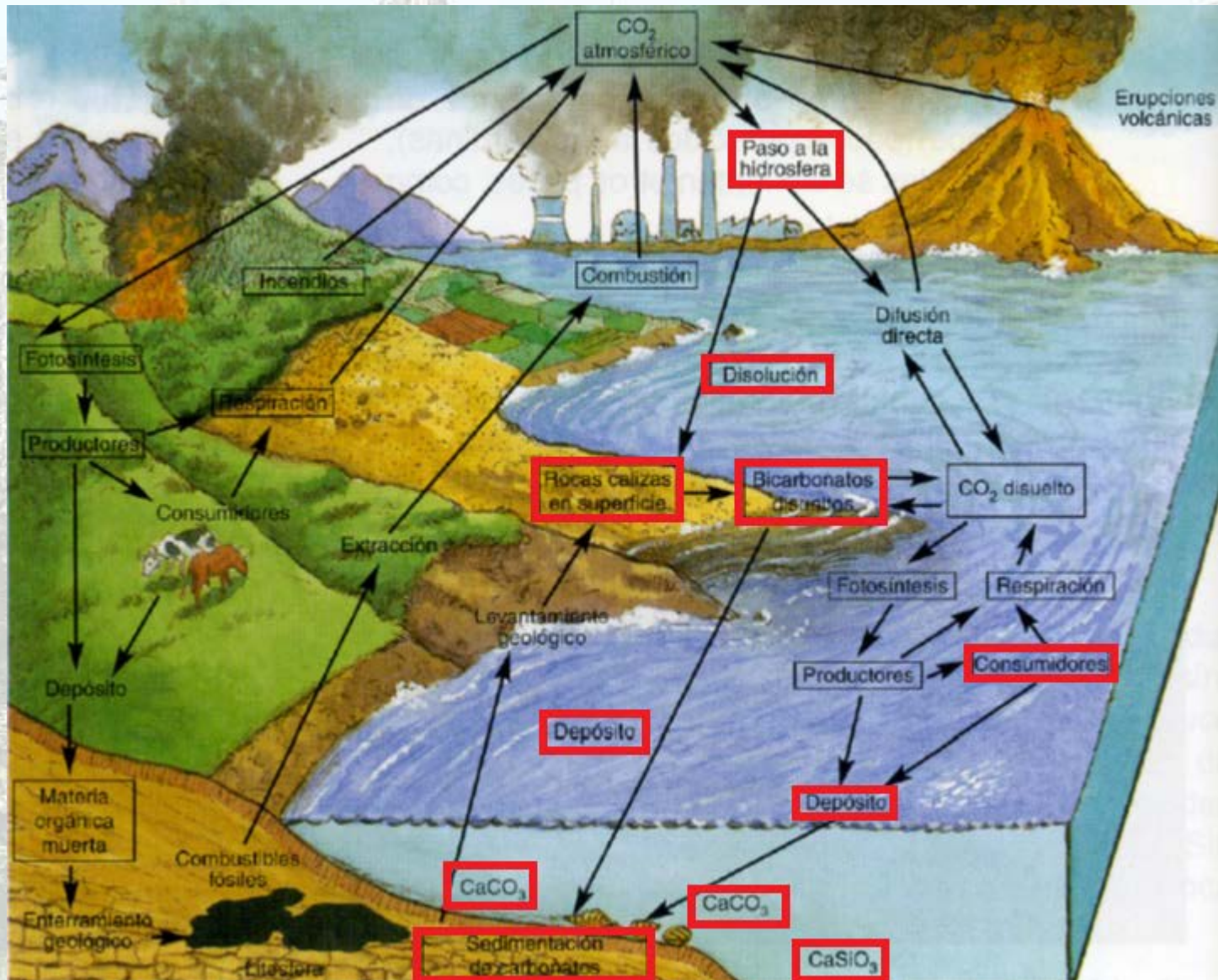
La vuelta del  $\text{CO}_2$  a la atmósfera se produce a través de la **respiración**, cuando los seres vivos oxidan los alimentos produciendo  $\text{CO}_2$ . La mayor parte de la respiración la realizan las raíces de las plantas y los organismos descomponedores del suelo, aunque en términos globales los vegetales son consumidores netos de  $\text{CO}_2$ . De ahí que haya mucho más oxígeno (21%) que dióxido de carbono (0,03%) en la atmósfera, situación que era inversa en la era azoica antes que existieran los vegetales.

Esquema del ciclo de carbono





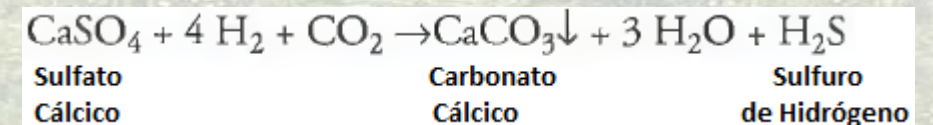
# El Ciclo del Carbono



Si bien el ciclo biológico del carbono es bastante rápido, **otros subciclos son mucho más lentos, pues tienen que ver con procesos geológicos**. El CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve con facilidad en agua, formando ácido carbónico H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> que ataca los silicatos de las rocas, resultando iones de bicarbonato. Estos iones disueltos alcanzan el agua del mar, son asimilados por los animales para formar sus tejidos y tras su muerte se depositan en los **sedimentos en forma de carbonatos**:

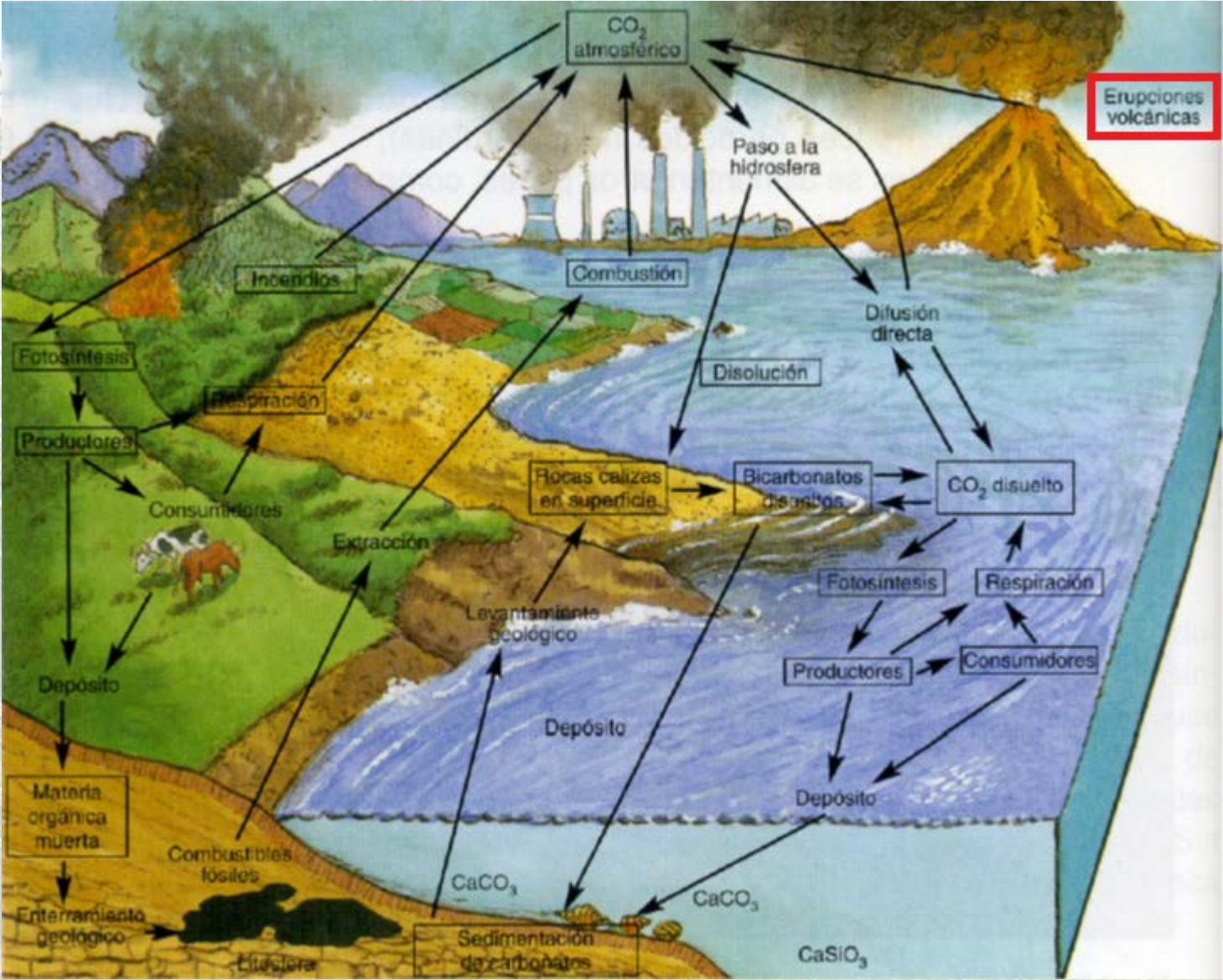


La precipitación de carbonatos también puede darse en ambientes anaerobios, e.g. a través de bacterias reductoras de sulfatos

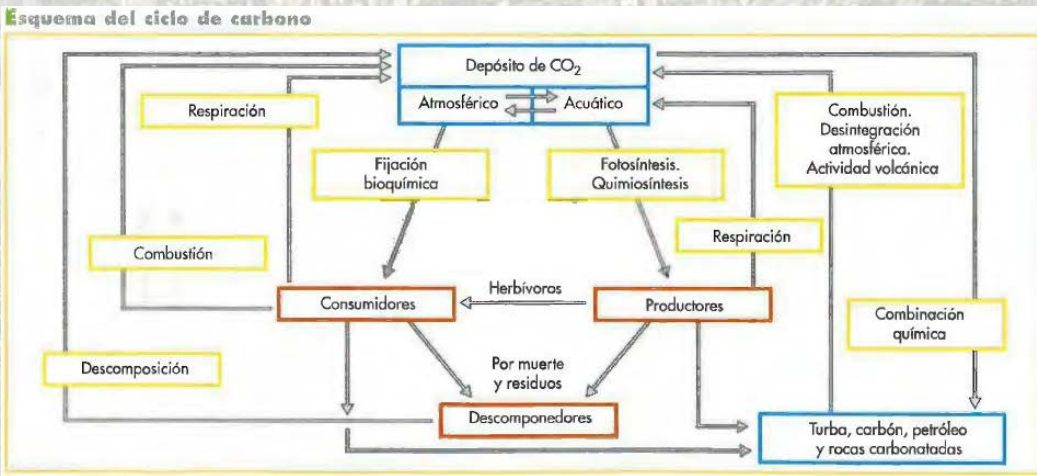




# El Ciclo del Carbono

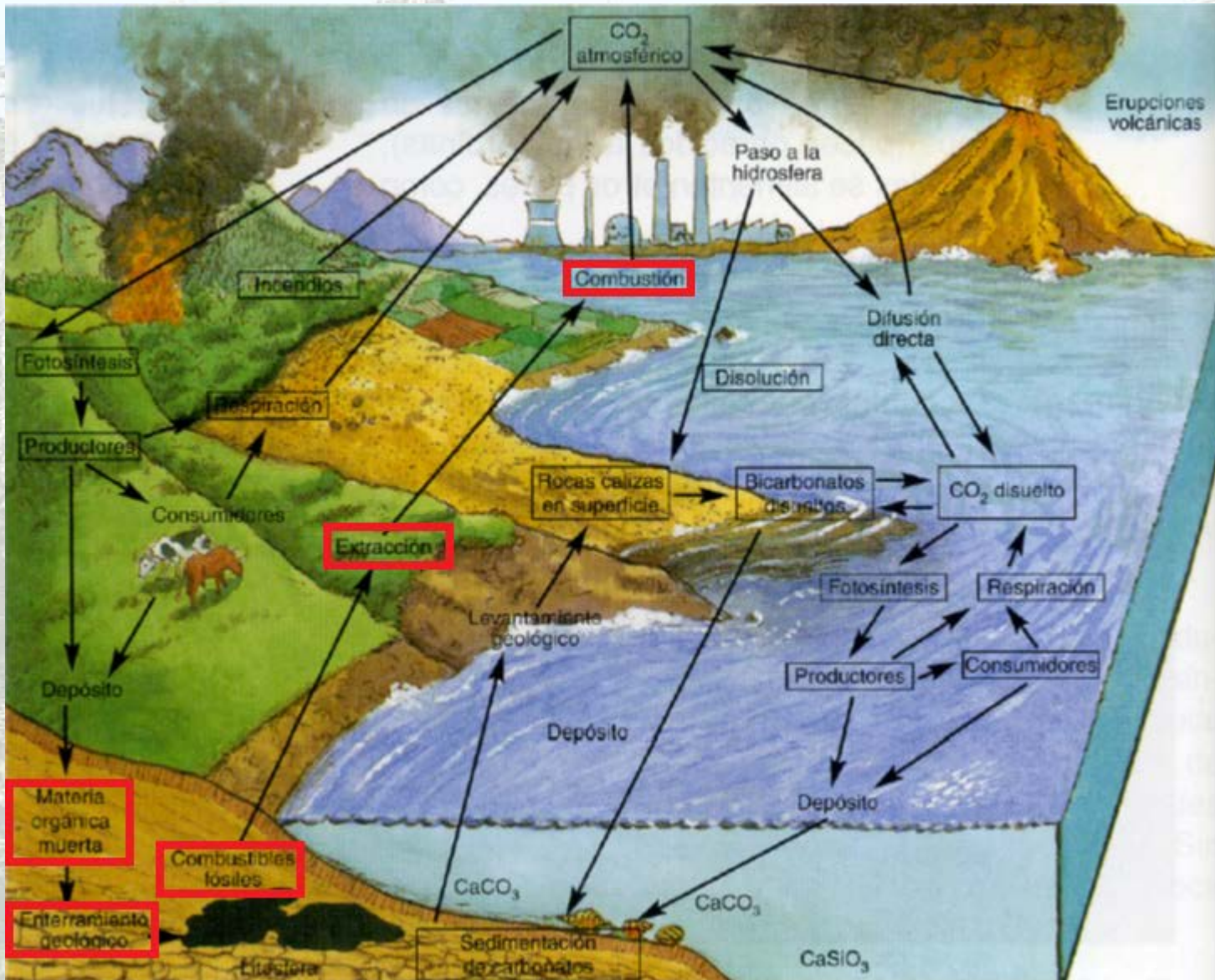


El **retorno del carbono a la atmósfera** se produce en las **erupciones volcánicas**, una vez que los carbonatos sedimentados son procesados y fundidos por el lento ciclo geológico.



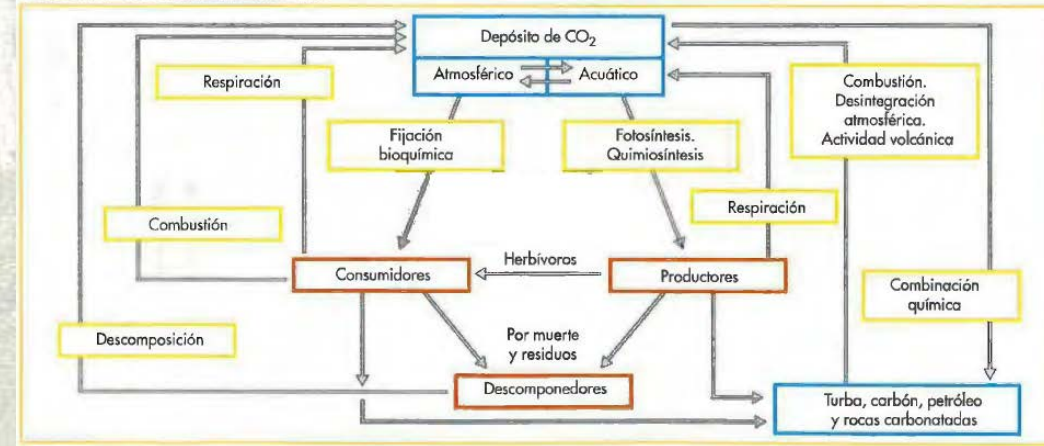


# El Ciclo del Carbono



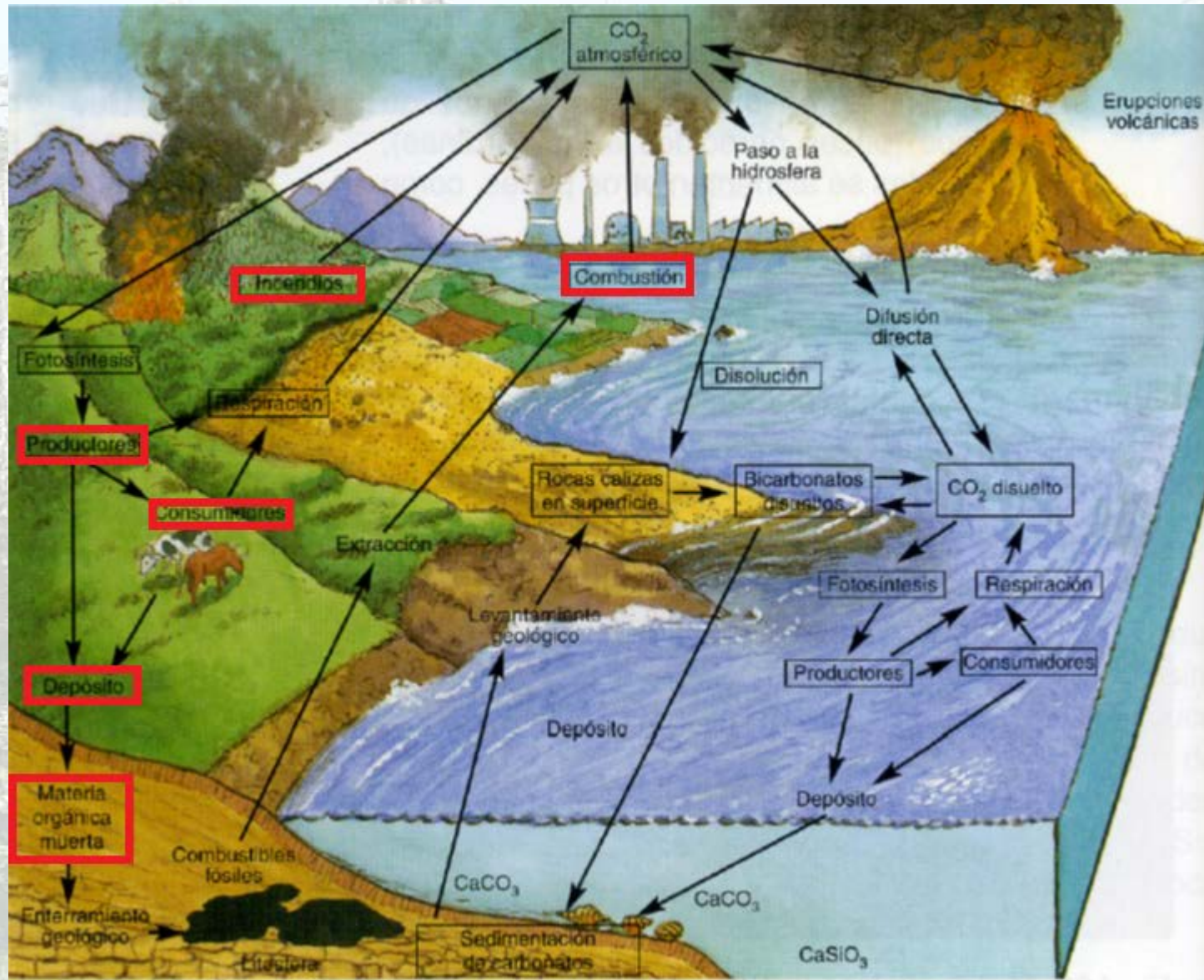
En ocasiones, la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descomponga, produciéndose así la **fermentación** (anaerobia) que lo transforma en **carbón, petróleo y gas natural**. Así se formaron las grandes reservas de estos combustibles durante miles de años en fondos de lagos y mares. El carbono que queda atrapado en esta forma sale del ciclo, a no ser que se explote intencionadamente. La explotación masiva de combustibles fósiles amenaza hoy día con trastocar un delicado equilibrio.

Esquema del ciclo de carbono





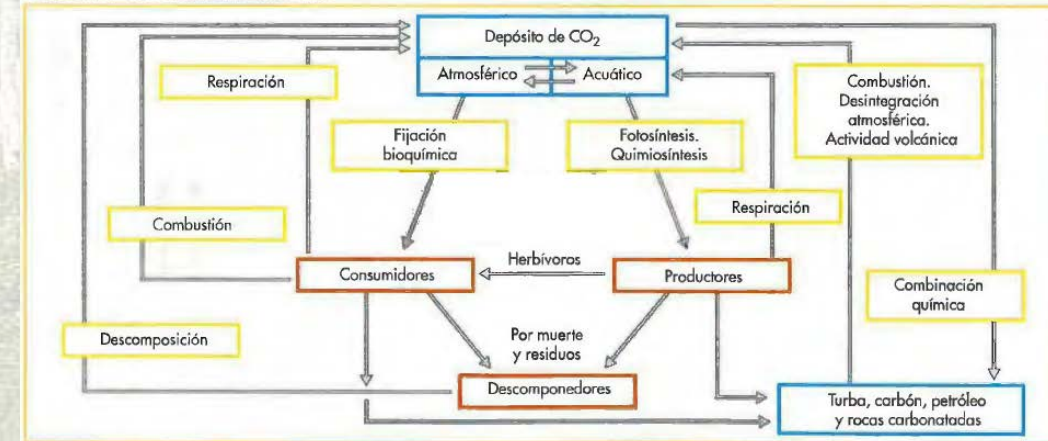
# El Ciclo del Carbono



Finalmente, en ambientes terrestres, la materia orgánica puede ser descompuesta casi totalmente por hongos y bacterias sucesivamente, y finalmente es devuelta como  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. La fracción orgánica no descompuesta conforma el humus.

La **combustión** intencionada o accidental de materia orgánica también devuelve  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.

Esquema del ciclo de carbono





# El Ciclo del Carbono y la Actividad Humana

## Actividades humanas que interfieren en el ciclo del carbono



**La combustión de materiales para la obtención de la energía.** Por ejemplo, la quema de madera, o el uso del carbón o del petróleo, libera a la atmósfera grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  que provocan el denominado efecto invernadero.



**La eliminación masiva de organismos autótrofos,** mediante la deforestación o la alteración de los medios marinos (que reducen la cantidad de fitoplancton), disminuye la tasa de  $\text{CO}_2$  que estos organismos retiran de la atmósfera a través de la fotosíntesis.



# El Ciclo del Oxígeno

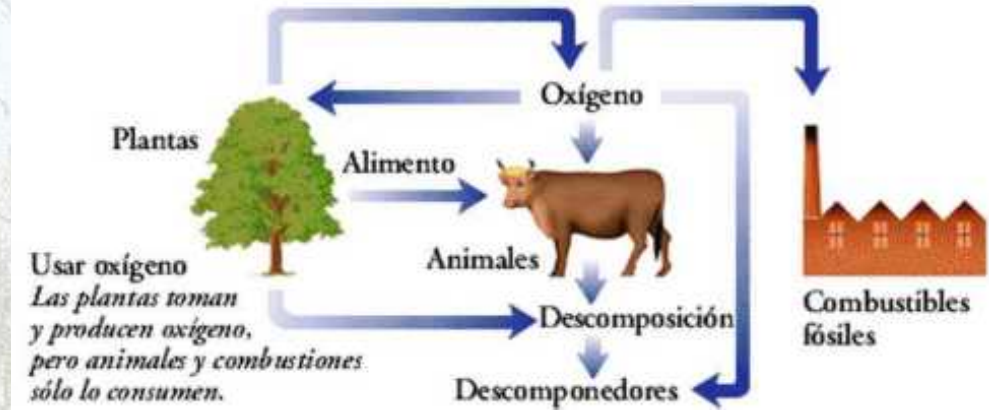
El ciclo del oxígeno está obviamente íntimamente relacionado con el del carbono. Aunque el 99,5% del oxígeno de la Tierra está en la litosfera formando parte de óxidos y silicatos, nos interesa el 0,5% restante (oxígeno libre  $O_2$ ) que es de vital importancia.

El oxígeno llega a la atmósfera a través de la fotosíntesis y desaparece por la respiración, la descomposición y la combustión.

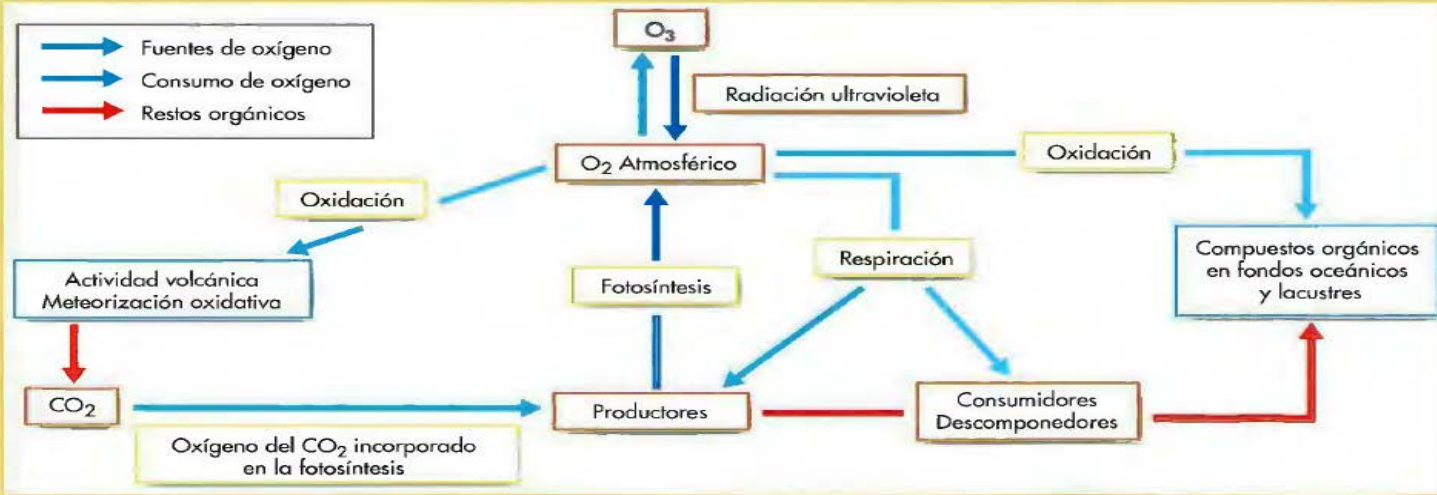
También se crea una cantidad mucho menor de oxígeno por **fotólisis**, i.e. por descomposición directa de vapor de agua en hidrógeno y oxígeno. La fotólisis es mucho más importante en el ciclo del ozono: la disociación del  $O_2$  por la luz permitirá la **formación de ozono**.

## CICLO DEL OXÍGENO

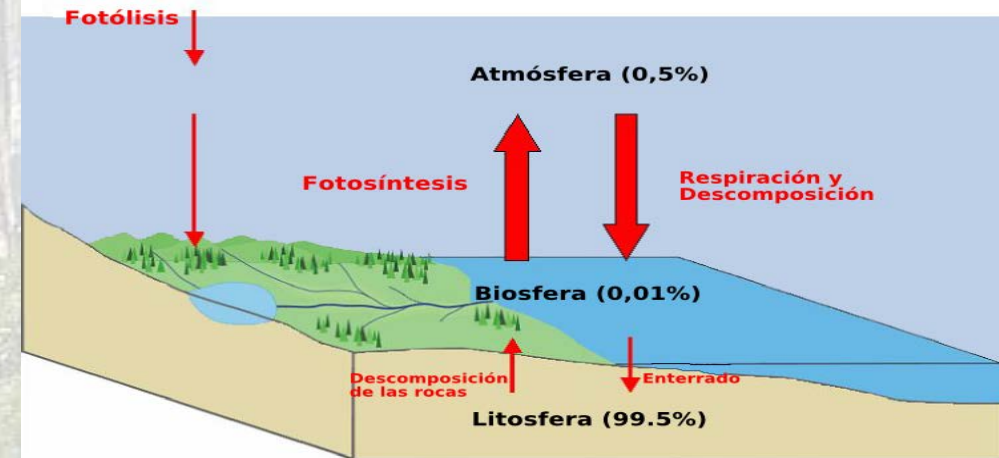
UN 21 POR CIENTO de la atmósfera es oxígeno. Los animales y las plantas lo usan para **respirar**. También se consume oxígeno cuando hongos y bacterias descomponen plantas y animales muertos o cuando se quema madera u otros combustibles. Las plantas, en cambio, devuelven oxígeno al aire. Los ciclos del oxígeno y del carbono van muy unidos: en la **fotosíntesis** se consume dióxido de carbono y se produce oxígeno; en la respiración se consume oxígeno y se produce dióxido de carbono.



## Esquema del ciclo del oxígeno



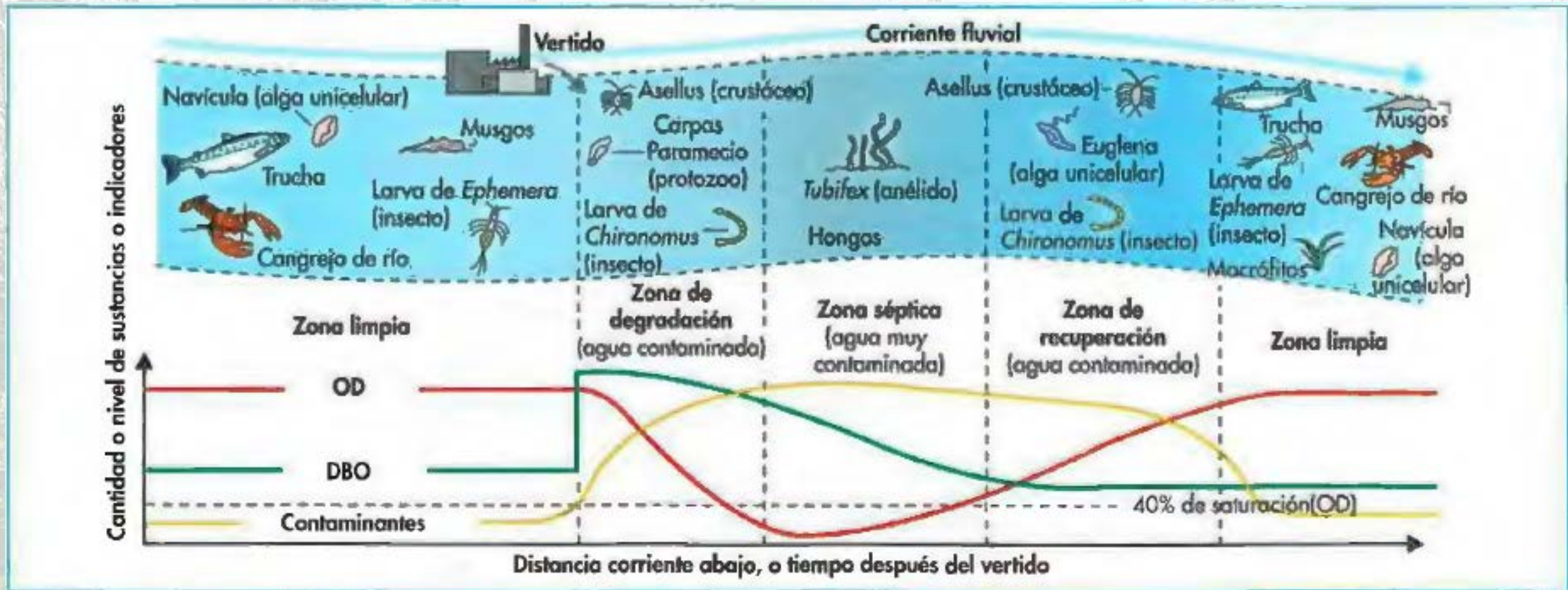
## Ciclo del Oxígeno Depósitos y Flujo





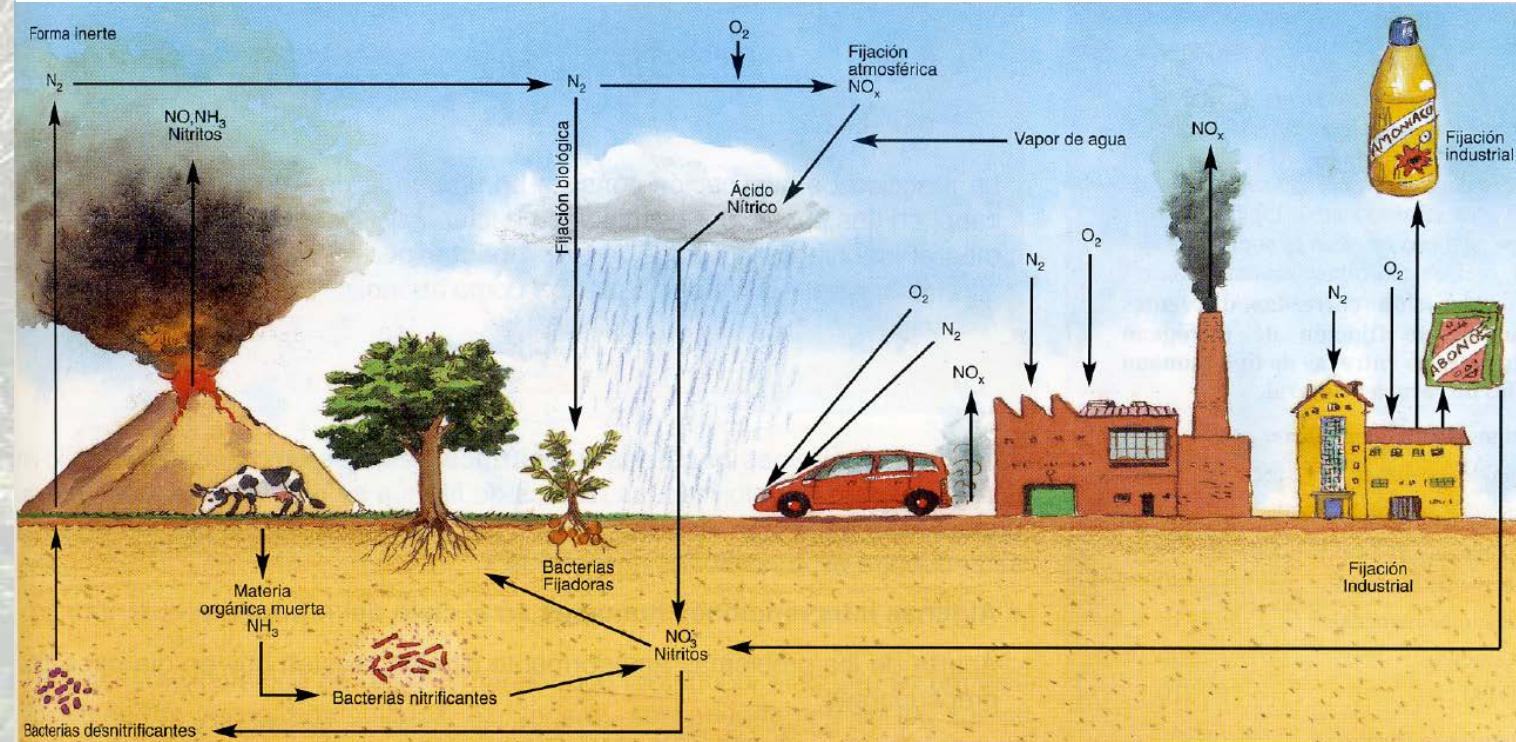
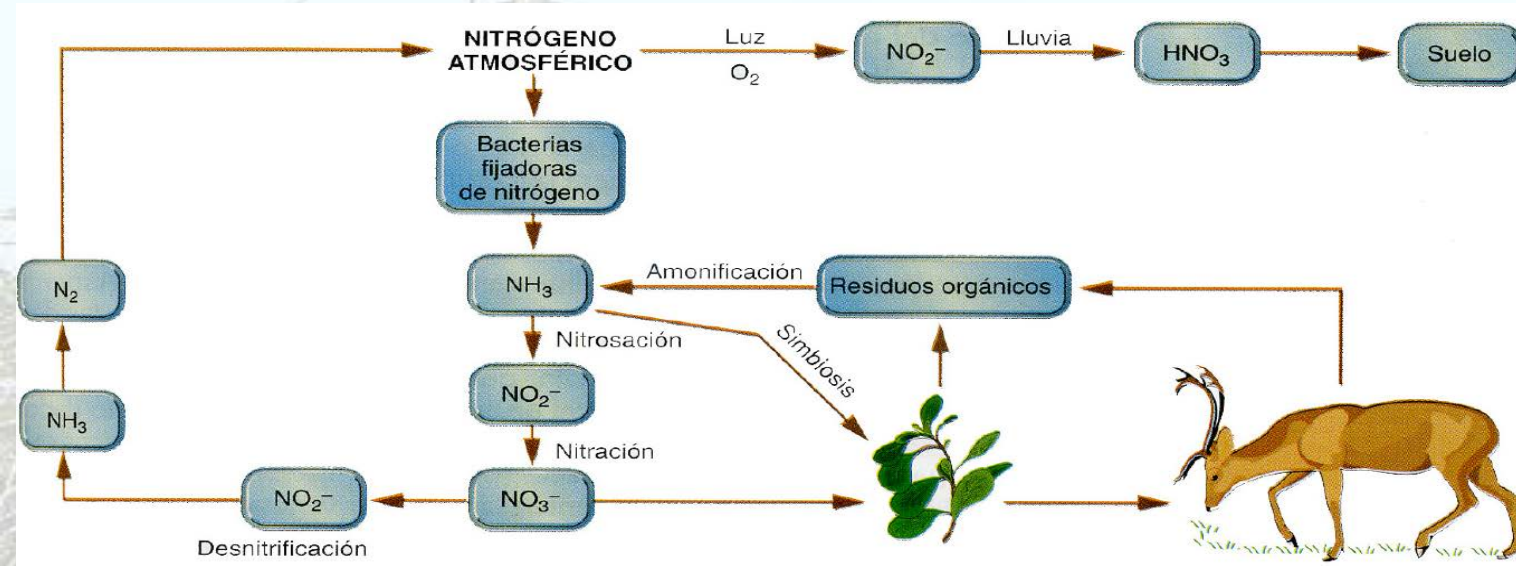
# Recordatorio: el Oxígeno en las Zonas Acuáticas

El oxígeno es relativamente poco soluble en agua, especialmente si su temperatura es alta. En los ríos vimos cómo la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua variaba según los nutrientes, y qué procesos aerobios y anaerobios tenían lugar. Del mismo modo, en un mar o lago, **los compuestos orgánicos no consumidos precipitan a zonas profundas donde son disueltos por microorganismos aerobios que consumen mucho oxígeno. Las capas profundas se quedan entonces casi sin oxígeno dando sólo cabida a bacterias anaerobias**, que realizan la fermentación que vimos en el ciclo del carbono.





# El Ciclo del Nitrógeno



## CICLO DEL NITRÓGENO

Las plantas usan nitrógeno, en forma de nitratos, y producen proteínas que los animales convierten en proteínas animales. Los hongos y las bacterias descomponen organismos muertos o excrementos, y liberan nitrógeno en forma de amoníaco. Las

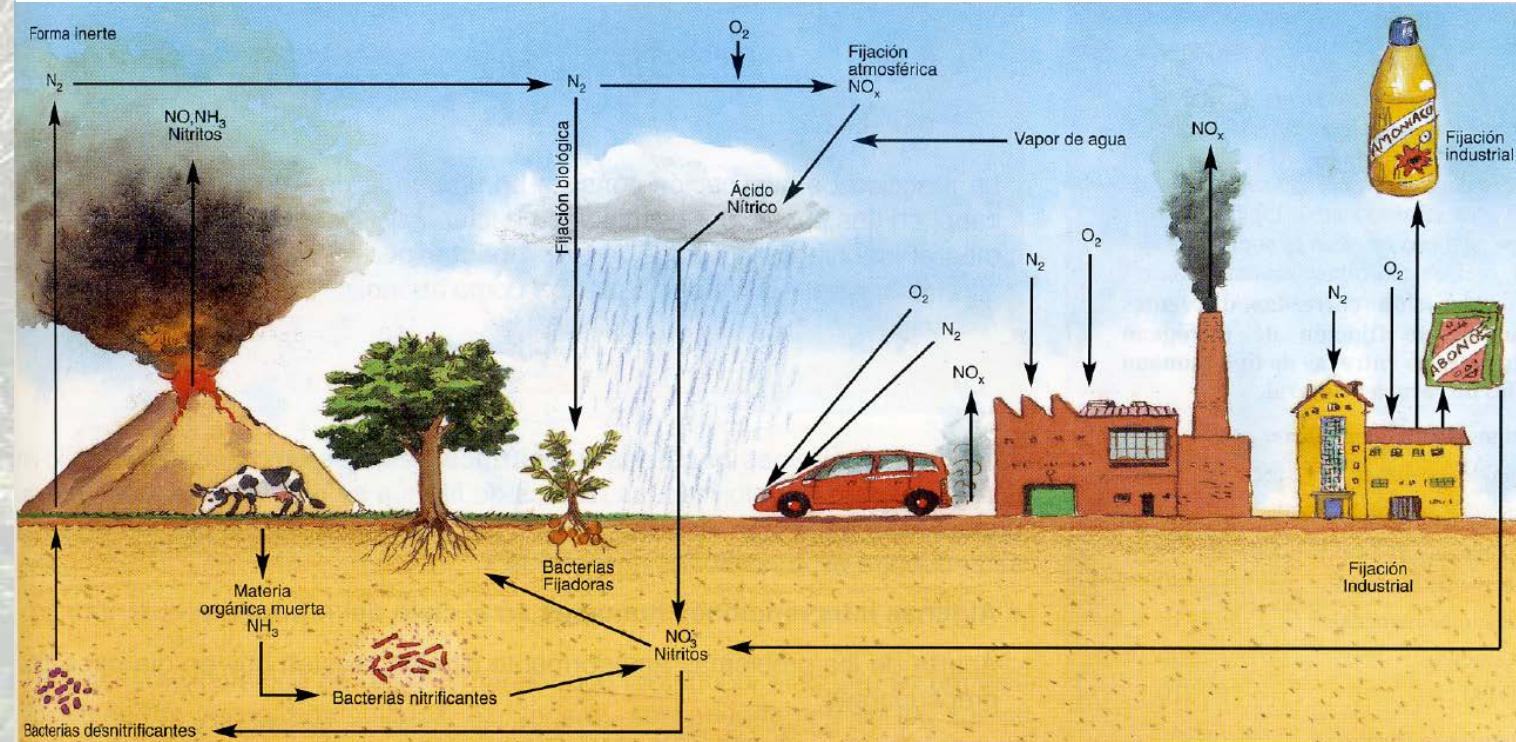
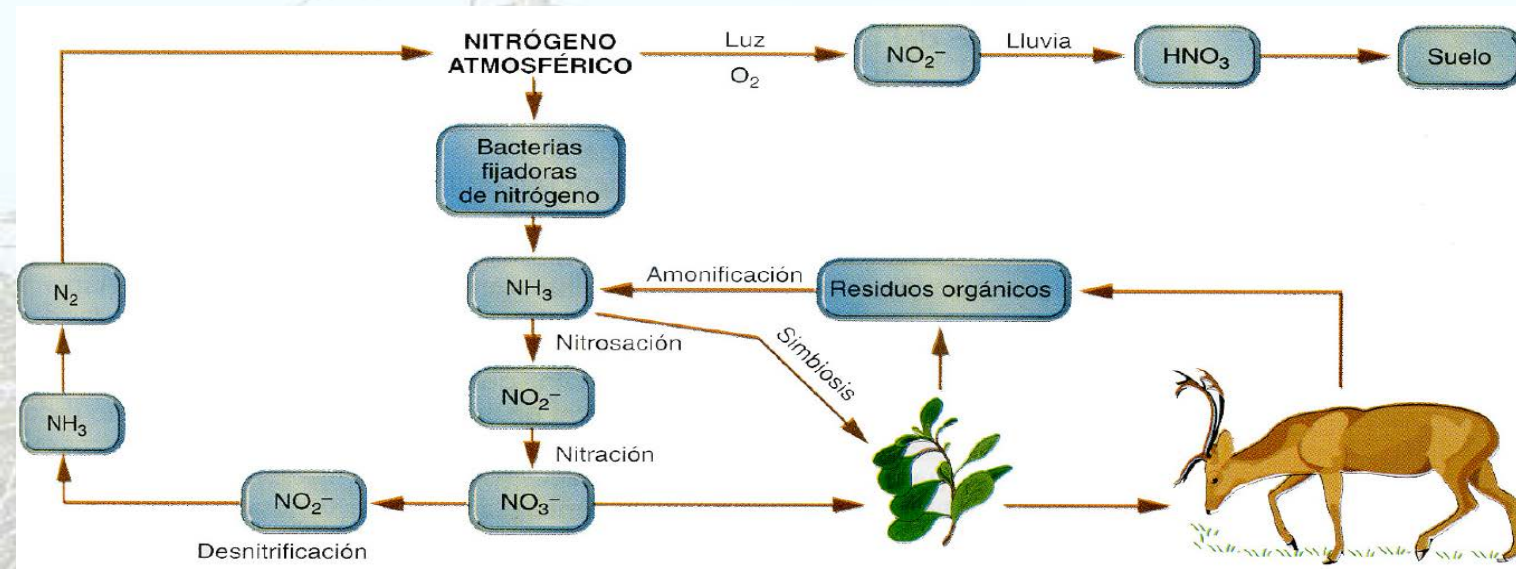
bacterias nitrificantes convierten el amoníaco en nitrato, que es absorbido por las plantas. En la raíz de algunas plantas se encuentran unas bacterias que convierten el nitrógeno del aire en nitratos. Las bacterias desnitrificantes devuelven nitrógeno a la atmósfera.



Aunque el nitrógeno es el gas más abundante, los organismos no lo consiguen fácilmente, pues las plantas no pueden asimilarlo directamente en forma gaseosa, sino sólo a través de los iones nitrato ( $NO_3^-$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ) del suelo. Los consumidores obtienen nitrógeno de los ácidos nucleicos y proteínas de los productores. El ciclo consta de 4 etapas: **fijación, amonificación, nitrificación y desnitrificación**.



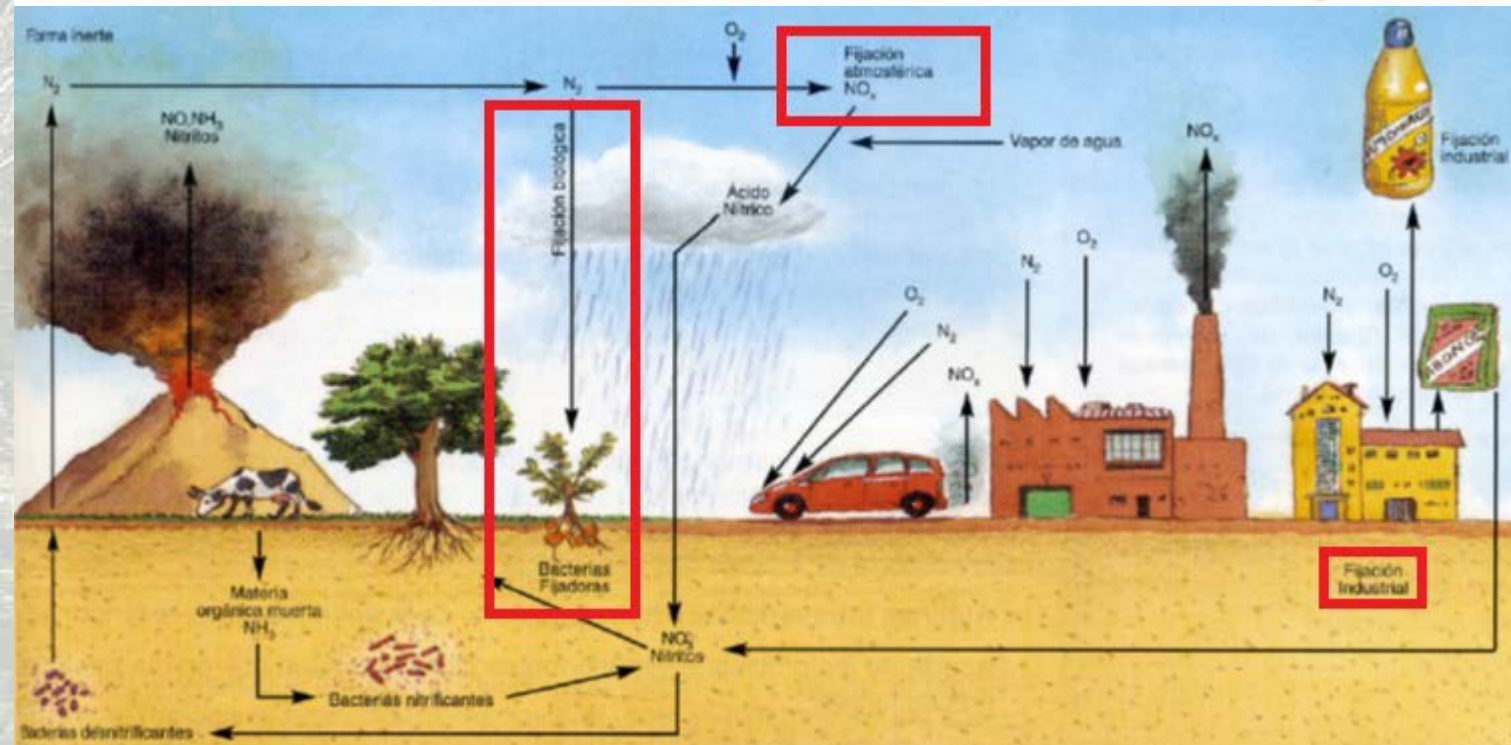
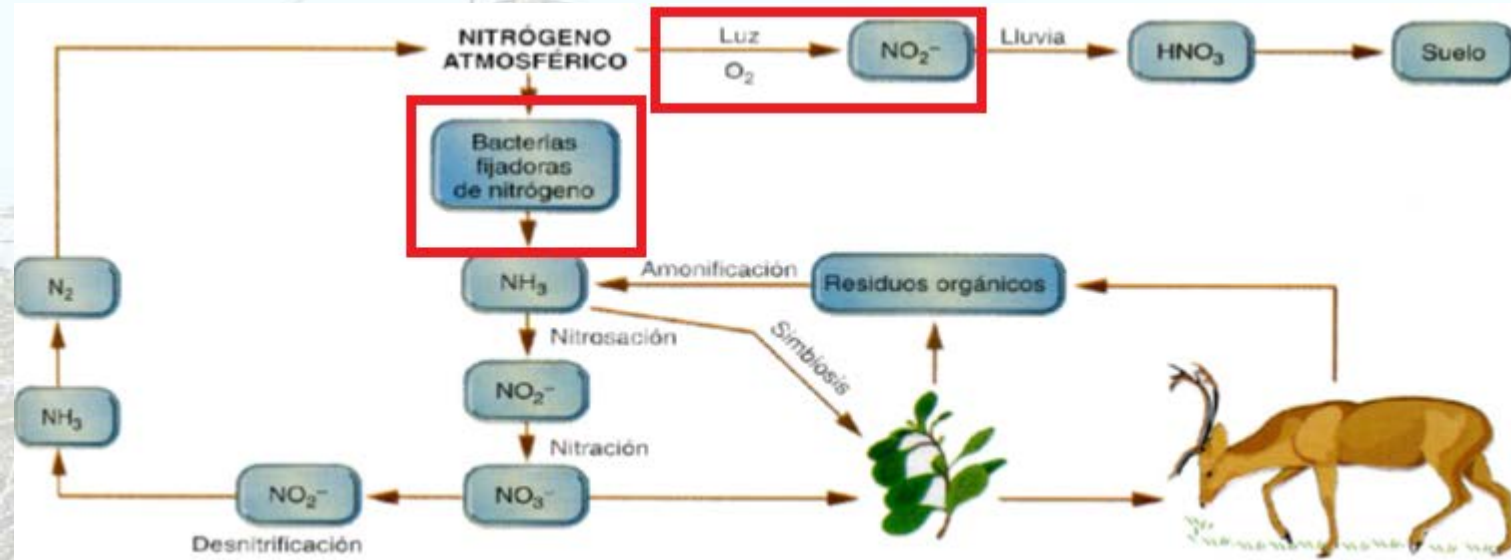
# El Ciclo del Nitrógeno: Visión en Perspectiva



- El ciclo del nitrógeno es extremadamente complejo y tiene características de los ciclos gaseosos y los sedimentarios.
- Los seres vivos asimilan los nitratos como grupos aminoácidos. Para volver a obtener nitratos hace falta que los descomponedores lo extraigan de la biomasa en forma de ion amonio (**amonificación**), para que éste sea posteriormente oxidado (**nitrificación**).
- El ciclo no se cierra sin embargo así. El amonio y el nitrato son muy solubles en agua, y la infiltración y la escorrentía tienden a llevarlos al mar. **Todo el nitrógeno de la tierra acabaría disuelto en el mar** si no fuese por la **desnitrificación** (una forma de respiración anaerobia que devuelve  $N_2$  a la atmósfera) y la **fijación** del nitrógeno, que origina compuestos de N con H y O (nitratos, amonio) que pueden ser absorbidos por la biosfera.



# El Ciclo del Nitrógeno: Fijación



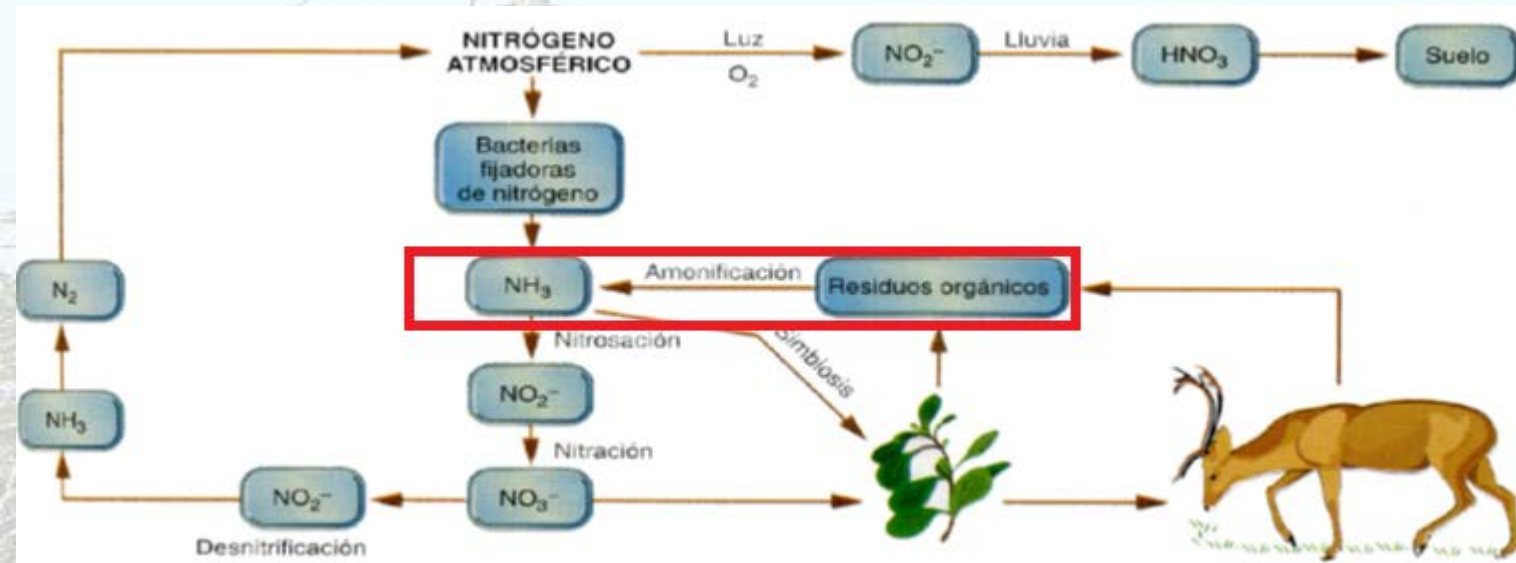
La fijación del nitrógeno **puede producirse abióticamente**, en forma de óxidos, por medio de las descargas eléctricas de **las tormentas y las reacciones fotoquímicas** en las que la luz aporta la energía para que estas reacciones químicas sucedan espontáneamente ( $1-10 \text{ kg N}_2/(\text{ha}\cdot\text{año})$ ).

**La mayor cantidad de nitrógeno es fijada por microorganismos, de vida libre o simbióticos** ( $\sim 28 \text{ kg N}_2/(\text{ha}\cdot\text{año})$ ). Los fijadores con vida libre incluyen **cianobacterias** de agua y tierra húmeda y **bacterias aerobias o anaerobias del suelo**, que consiguen la energía para la fijación del nitrógeno a partir de la oxidación de glúcidos.

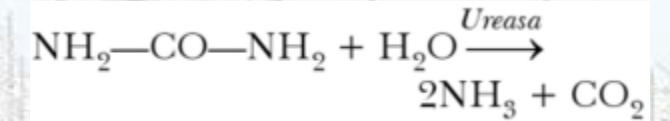
Las **bacterias simbióticas** que fijan nitrógeno (en especial el género *Rhizobium*) suelen estar localizadas en **nódulos de las raíces** de ciertas plantas como leguminosas. En cultivos de alfalfa y trébol, estas bacterias pueden llegar a fijar unos  $150-400 \text{ kg N}_2/(\text{ha}\cdot\text{año})$ .



# El Ciclo del Nitrógeno: Amonificación



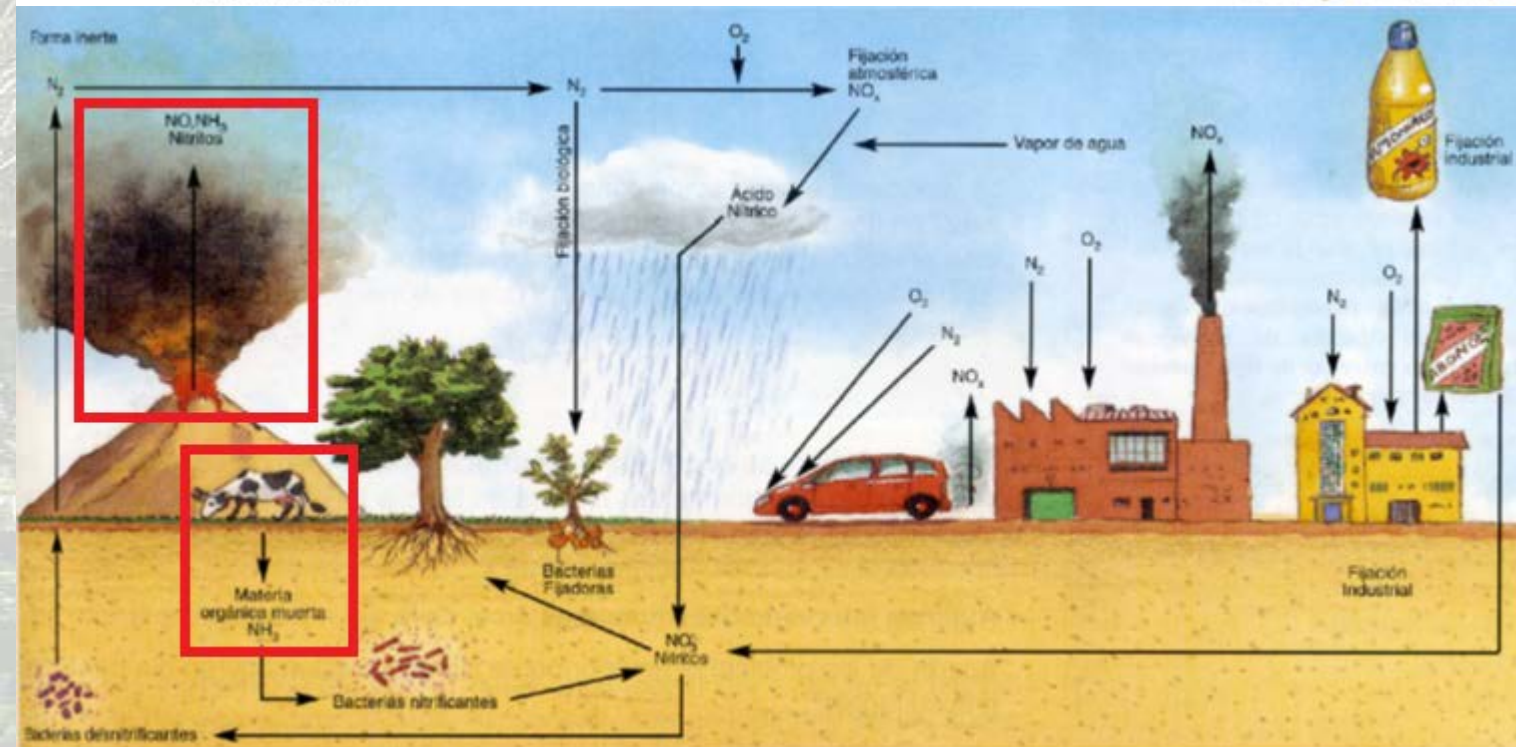
La amonificación consiste en **la producción de amoniaco ( $NH_3$ ) (o, en disolución acuosa, ion amonio)** a partir de los restos de la materia orgánica. En primer lugar se degradan las proteínas y ácidos nucleicos en otros compuestos como la urea, que es hidrolizada así



Otros compuestos nitrogenados insolubles como la guanina y el ácido úrico, que son purinas, dan lugar a amoniaco de forma parecida.

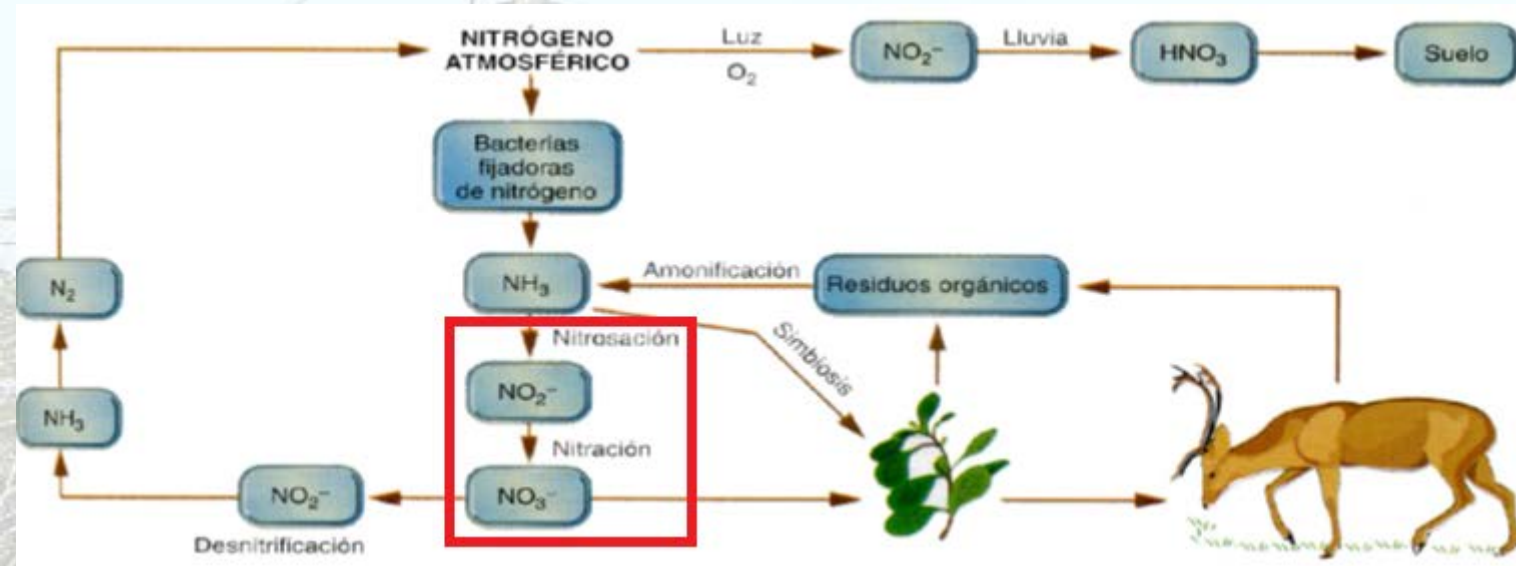
En estos procesos participan a menudo microorganismos descomponedores.

También participan en el proceso de amonificación los volcanes, cuya importancia en el ciclo era mucho mayor en la Tierra primitiva.



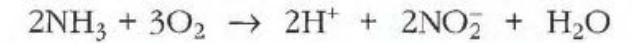


# El Ciclo del Nitrógeno: Nitrificación

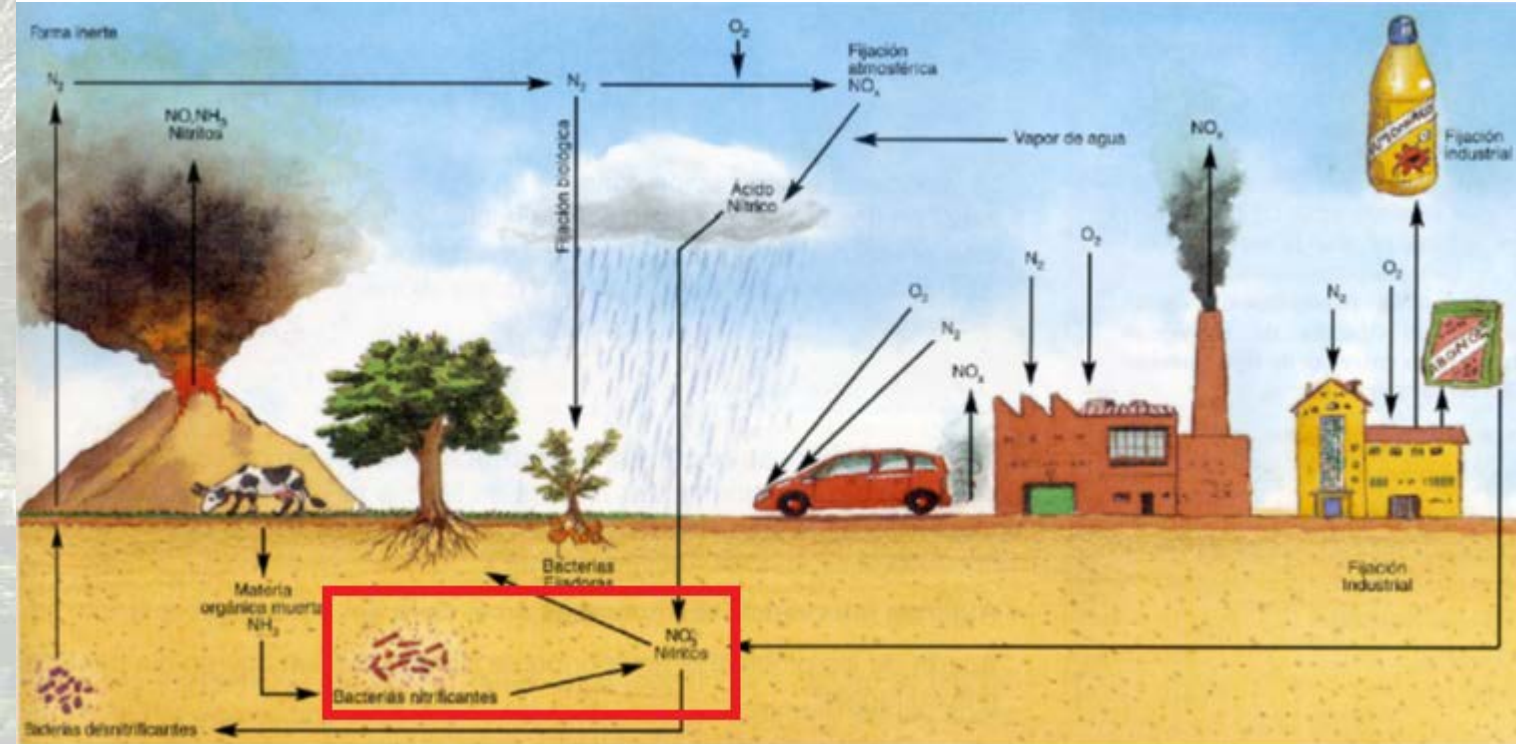
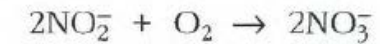


La nitrificación es el proceso de producción de nitritos y nitratos a partir de amoníaco. En este proceso intervienen diversos tipos de bacterias aerobias en dos procesos:

- Por la acción de las bacterias nitrosantes, como *Nitrosomonas*, el amoníaco se oxida a nitrito:

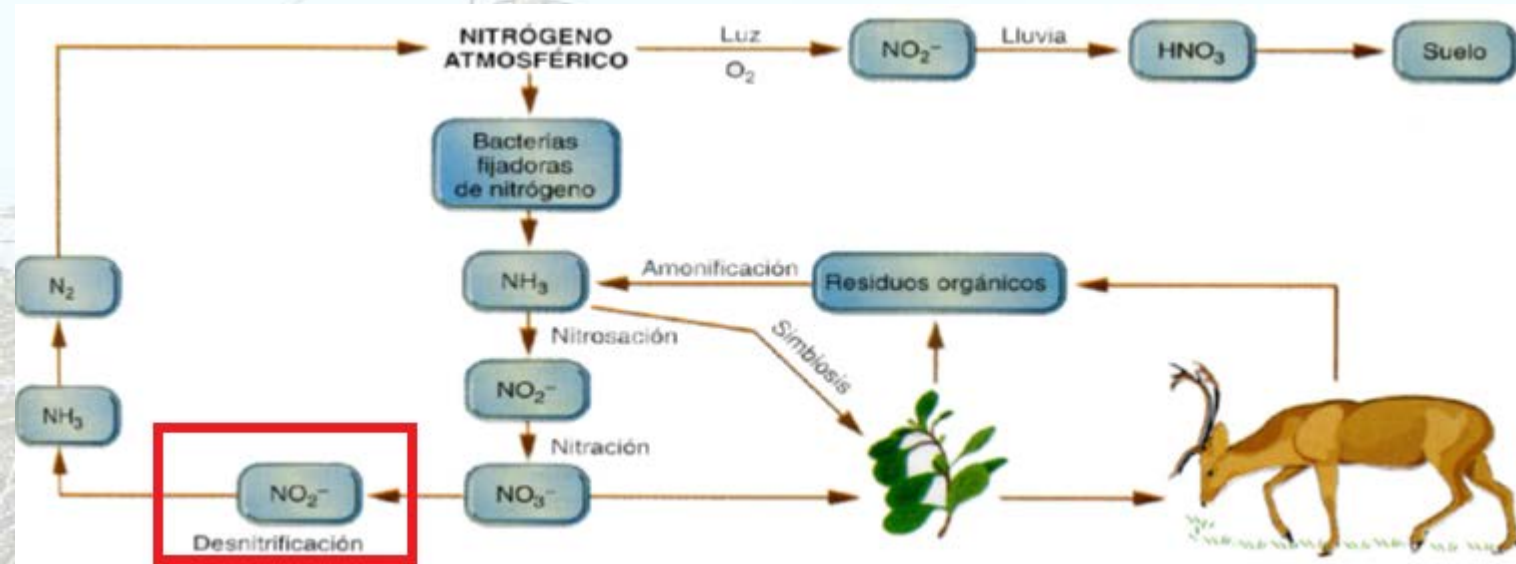


- Por la acción de las bacterias nitrificantes, como *Nitrobacter*, los nitritos se oxidan a nitratos:





# El Ciclo del Nitrógeno: Desnitrificación



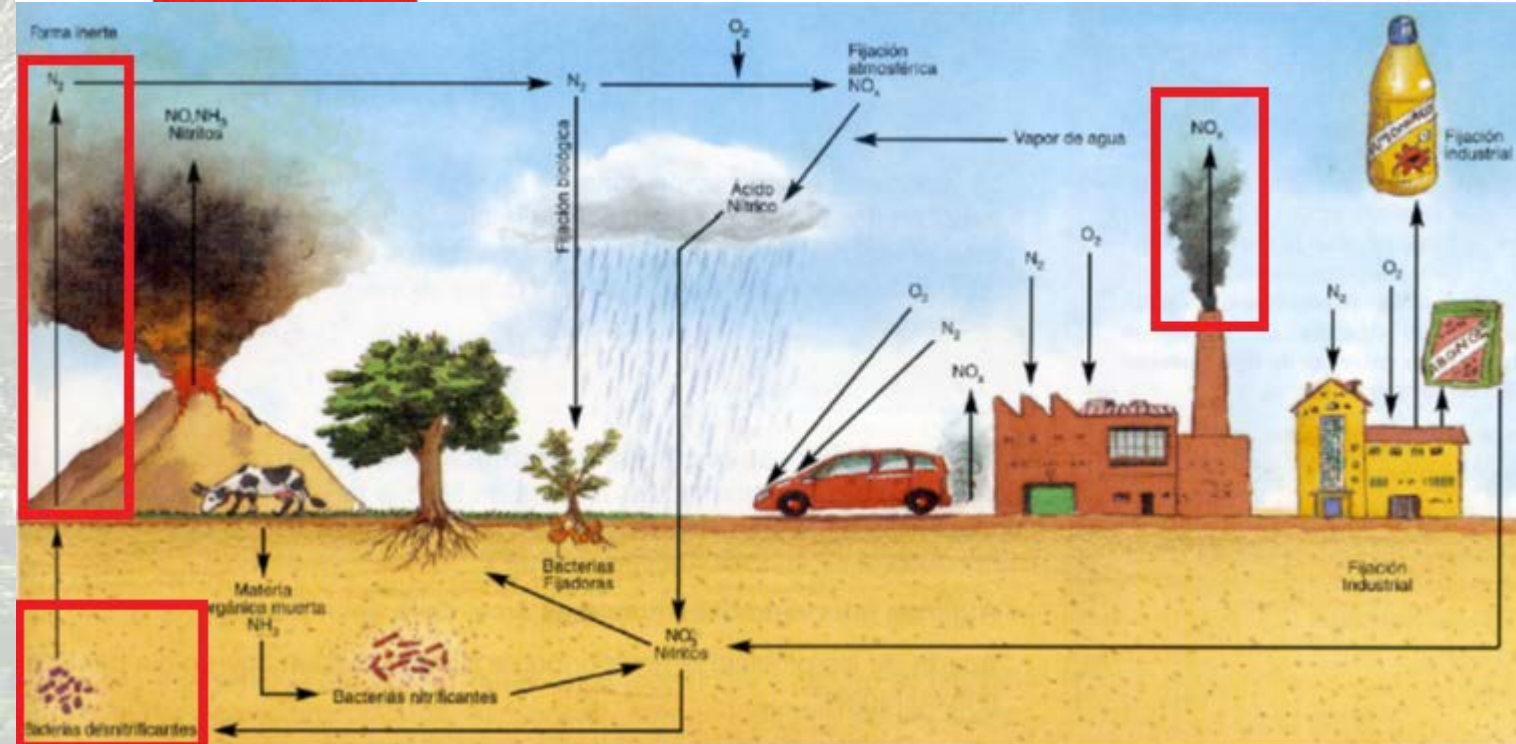
La desnitrificación es el proceso inverso a la fijación, la reducción del ion nitrato ( $NO_3^-$ ) presente en el suelo o el agua, a nitrógeno molecular o sus óxidos (en estado gas).

Lo realizan ciertas bacterias heterótrofas, como Pseudomonas, para obtener energía mediante respiración anaerobia.

El proceso sigue unos pasos en los que el nitrógeno se encuentra sucesivamente bajo las siguientes formas:

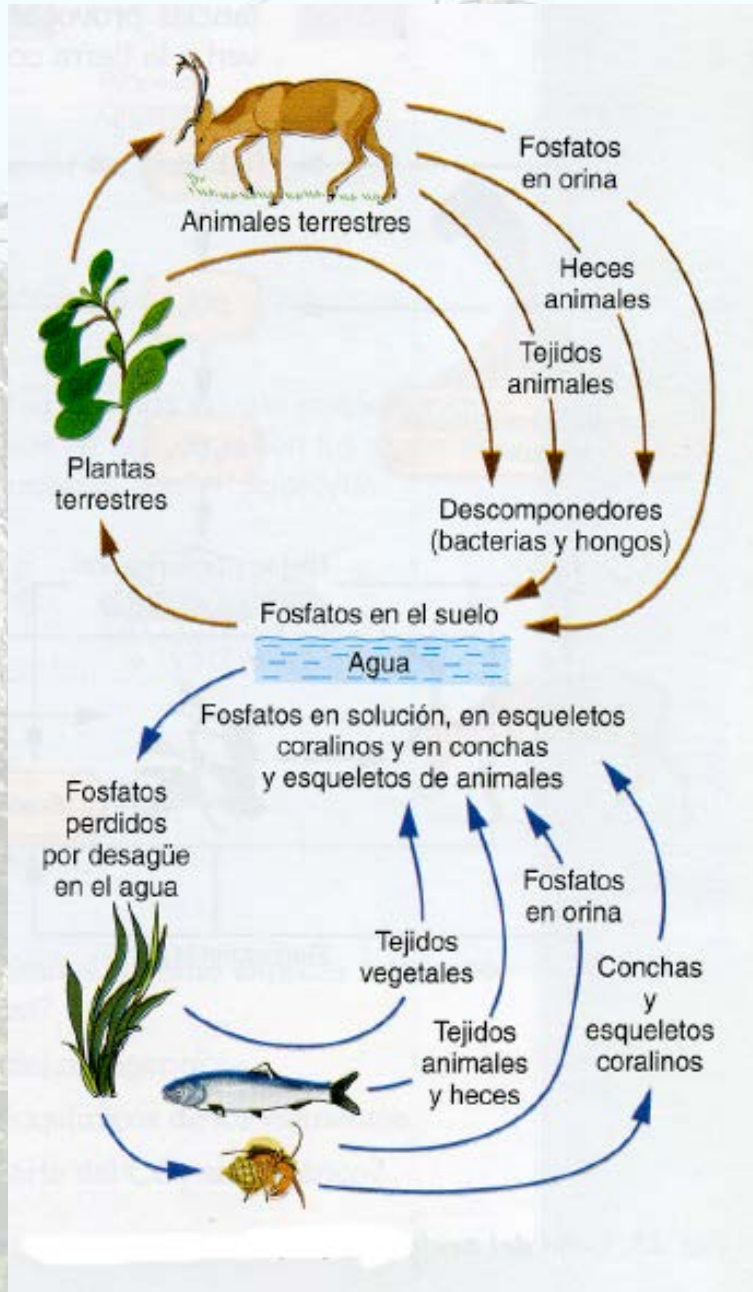
nitrato  $\rightarrow$  nitrito  $\rightarrow$  óxido nítrico  $\rightarrow$  óxido nitroso  $\rightarrow$  nitrógeno molecular

Desde el punto de vista agrícola, es necesario impedir la desnitrificación, p.ej. labrando el terreno para airearlo e impedir la descomposición anaerobia.





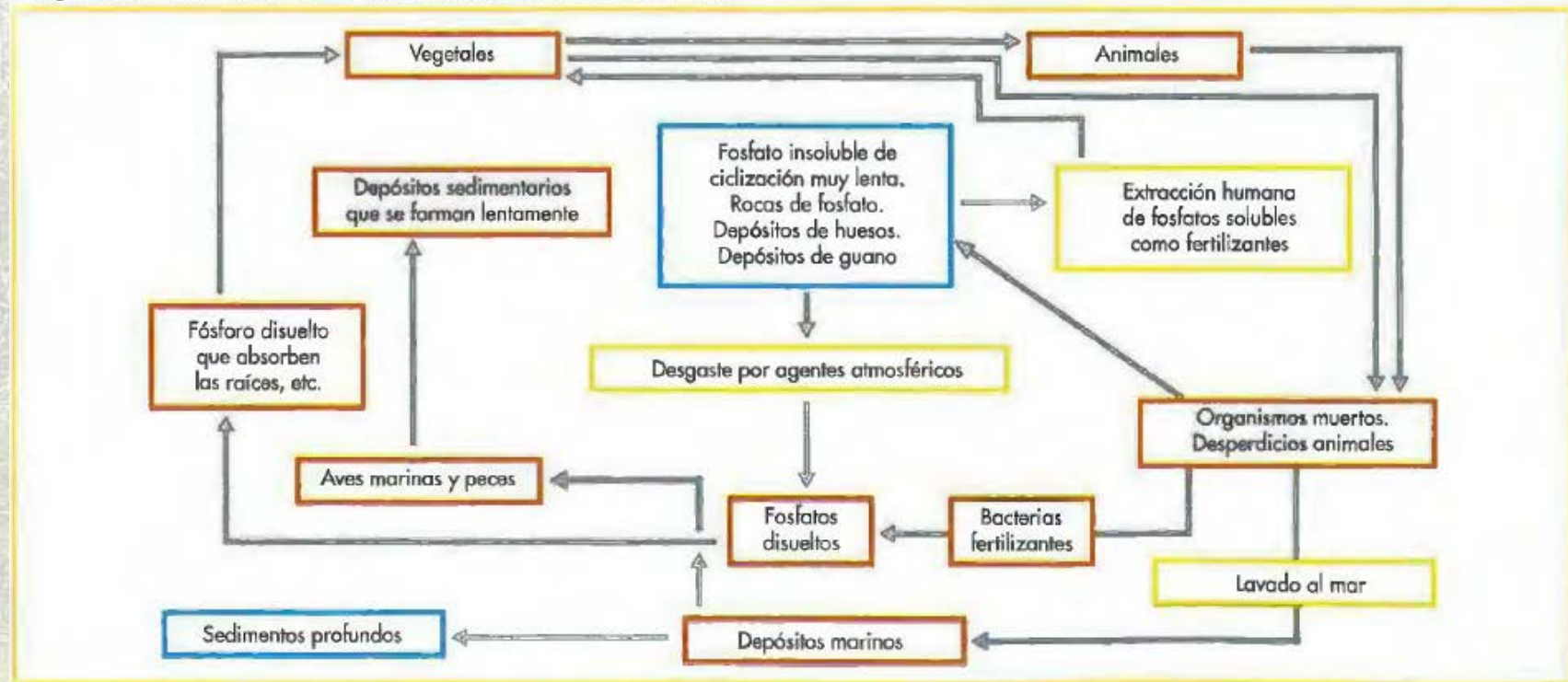
# El Ciclo del Fósforo



La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero su importancia es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN y muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y la respiración celular están combinadas con el fósforo.

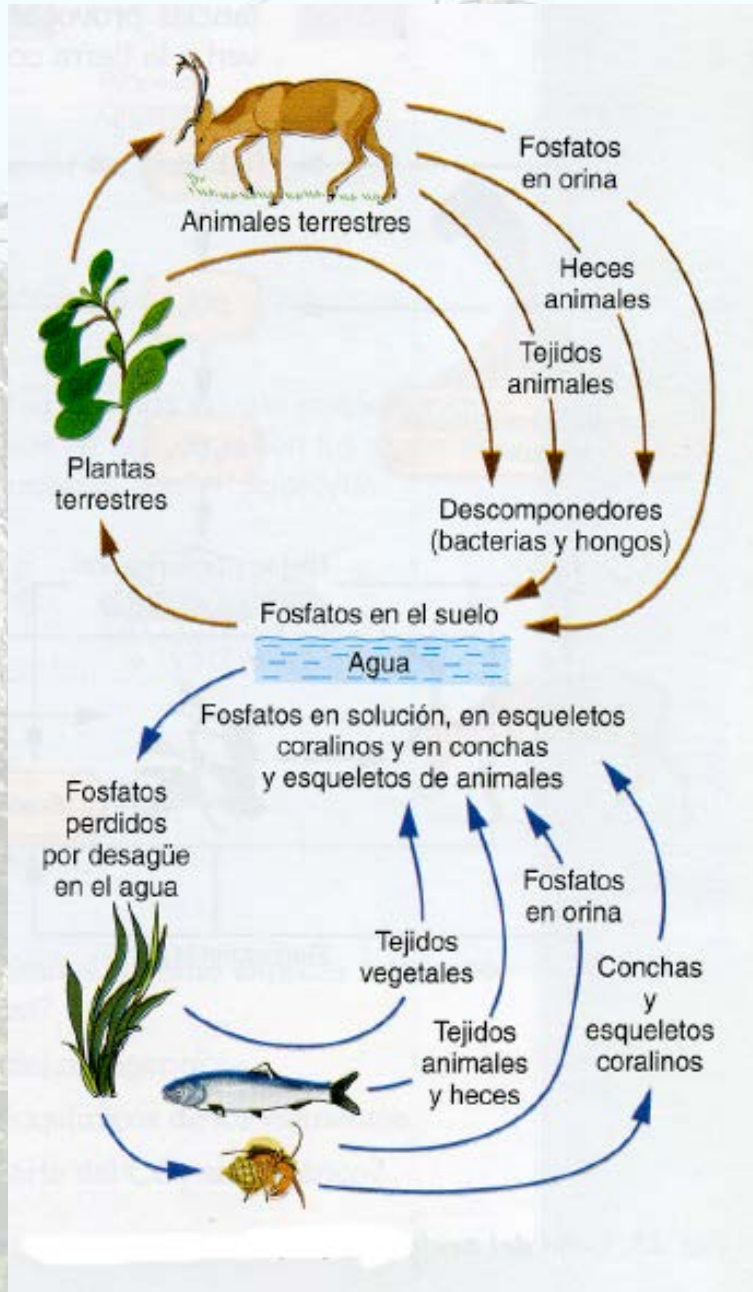
Puesto que su reserva en la Tierra es pequeña comparada con otros elementos, **es a menudo el elemento más limitante de la producción de biomasa en los ecosistemas.**

## Esquema del ciclo del fósforo en la naturaleza





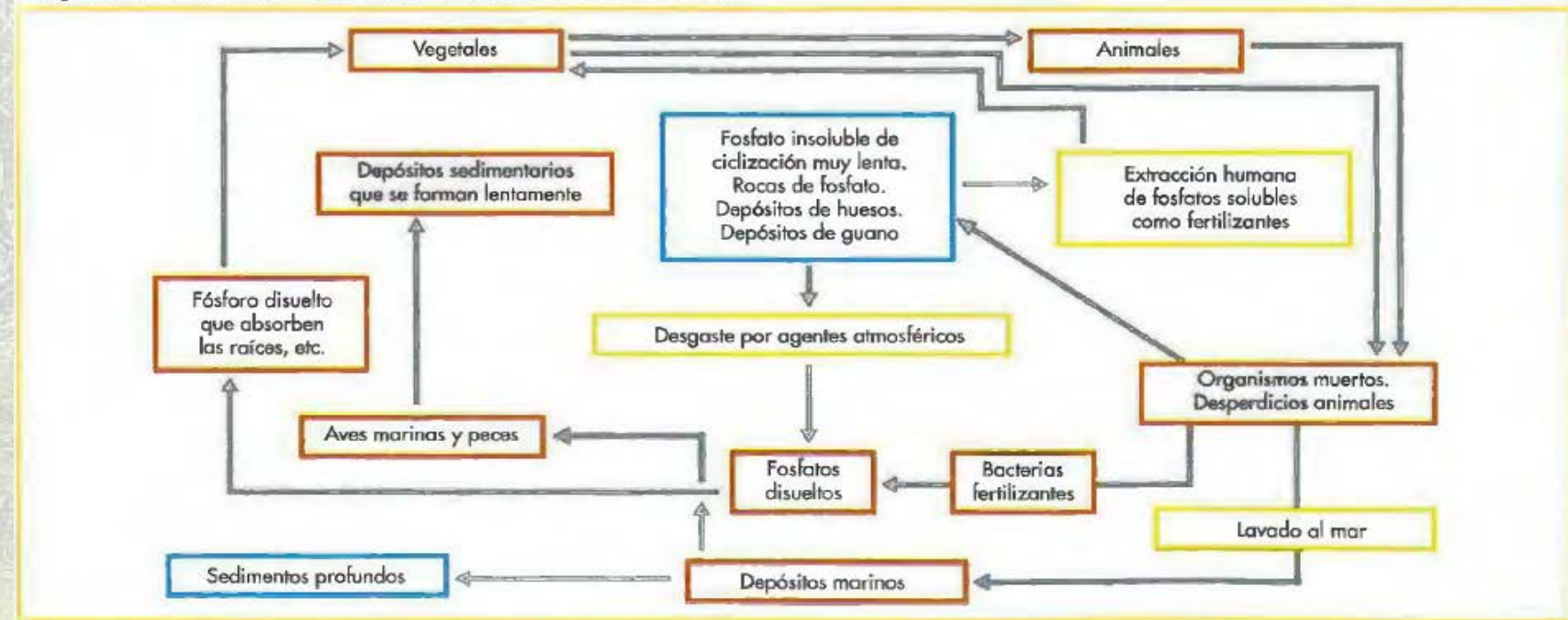
# El Ciclo del Fósforo



La principal reserva de fósforo son la **rocas sedimentarias fosfatadas (fosfatos)**, que lo liberan al ser erosionadas o meteorizadas. Estos fosfatos son incorporados por los productores y de ellos a los **consumidores**, cuyos desechos al morir vuelven a ser transformados en fosfatos inorgánicos por bacterias.

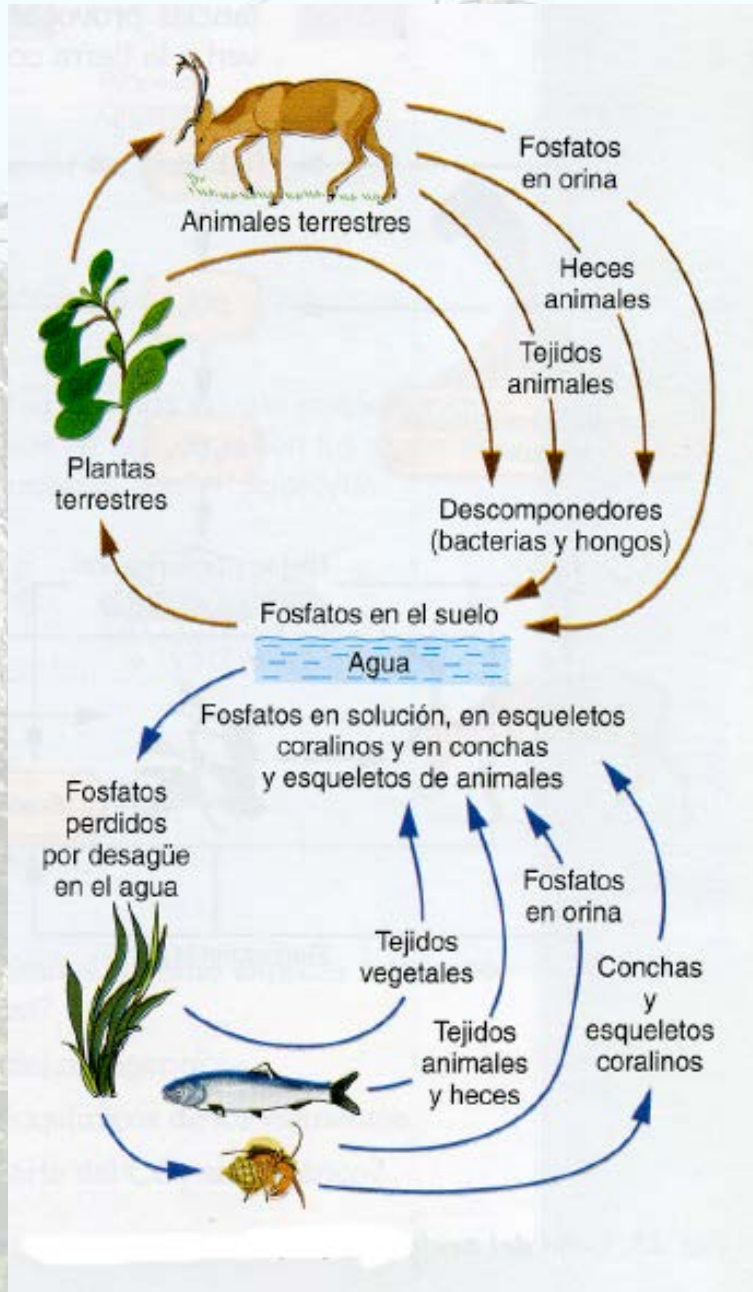
El fósforo no forma compuestos volátiles que puedan pasar a la atmósfera. Gran parte de los fosfatos son llevados por la **escorrentía al mar**, y sólo vuelve a tierra a través del guano (excrementos de aves marinas) y el pescado, y de procesos geológicos muy lentos (levantamiento geológico de los sedimentos hacia tierra firme).

## Esquema del ciclo del fósforo en la naturaleza





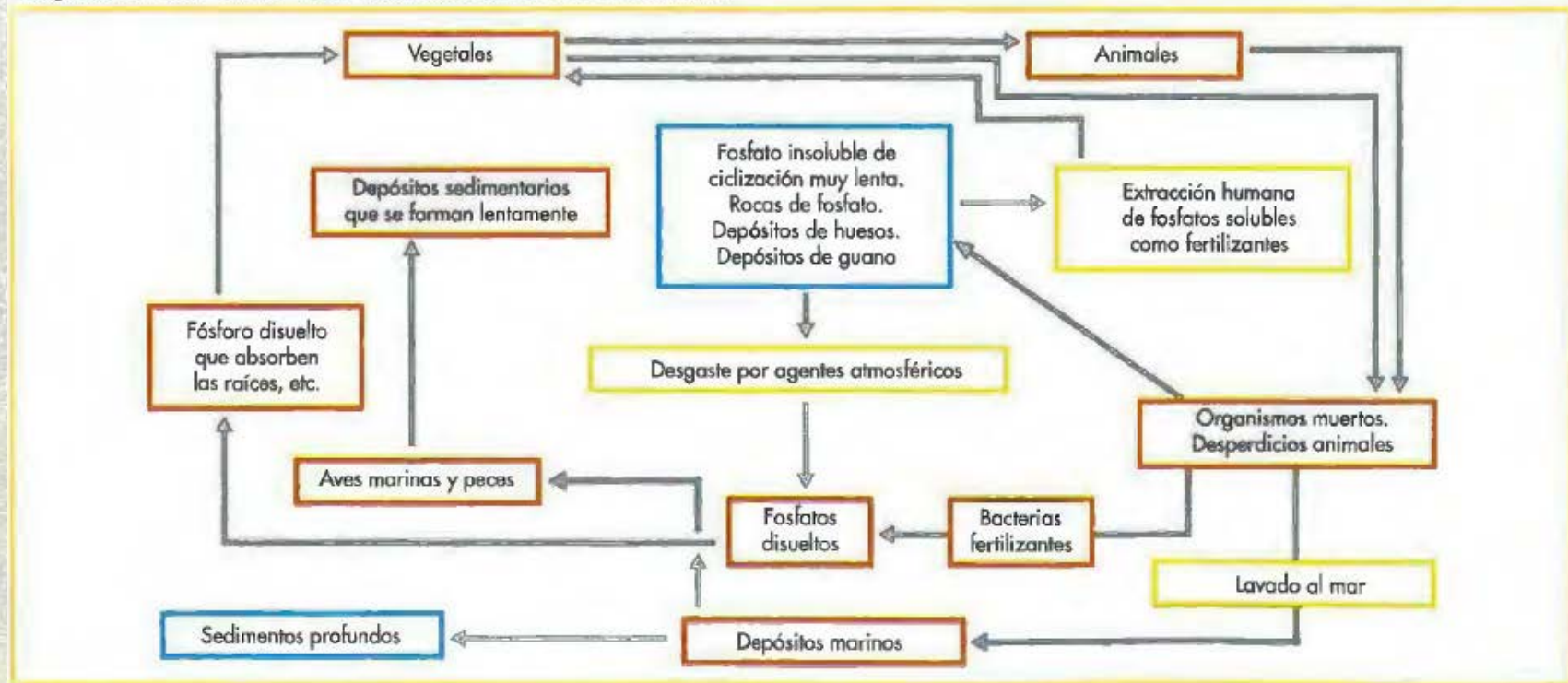
# El Ciclo del Fósforo



La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero su importancia es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN y muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y la respiración celular están combinadas con el fósforo.

Puesto que su reserva en la Tierra es pequeña comparada con otros elementos, **es a menudo el elemento más limitante de la producción de biomasa en los ecosistemas.**

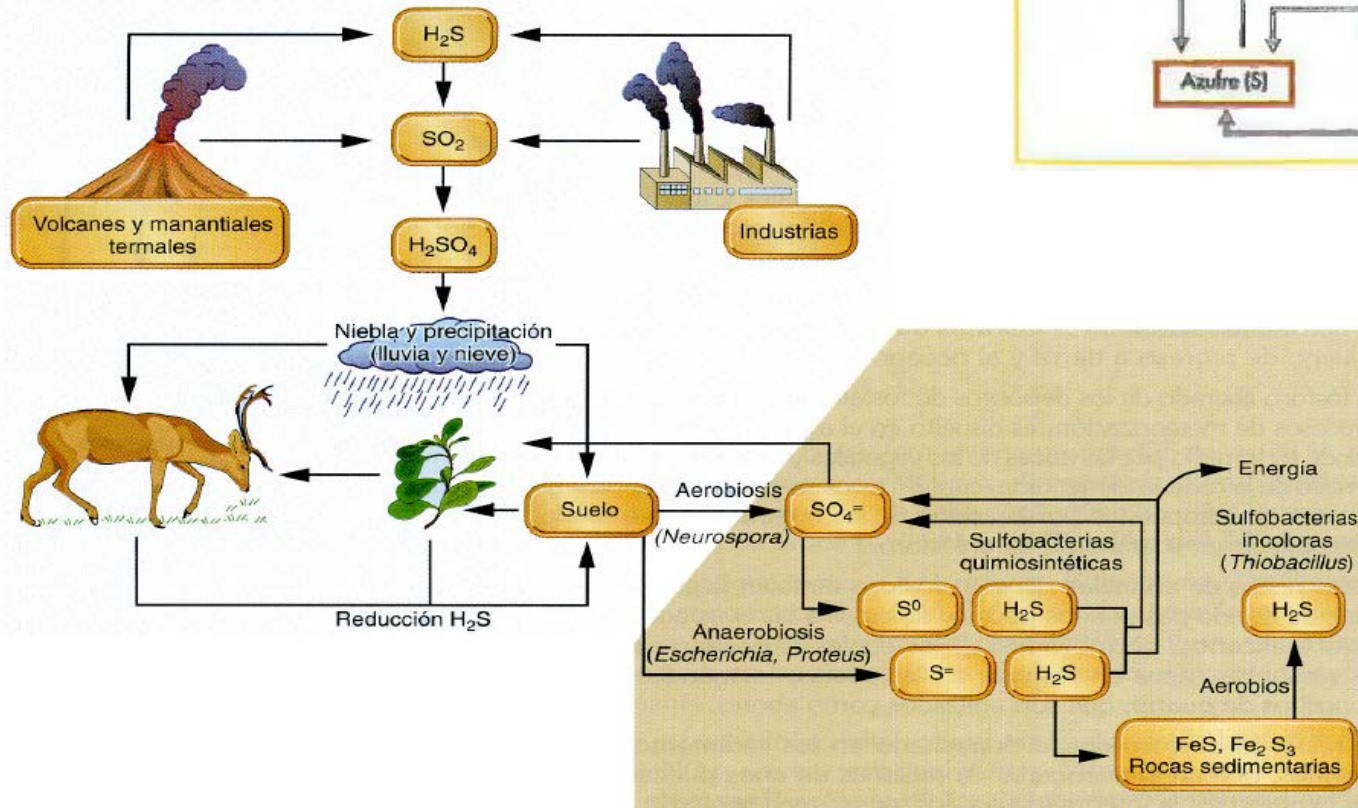
## Esquema del ciclo del fósforo en la naturaleza



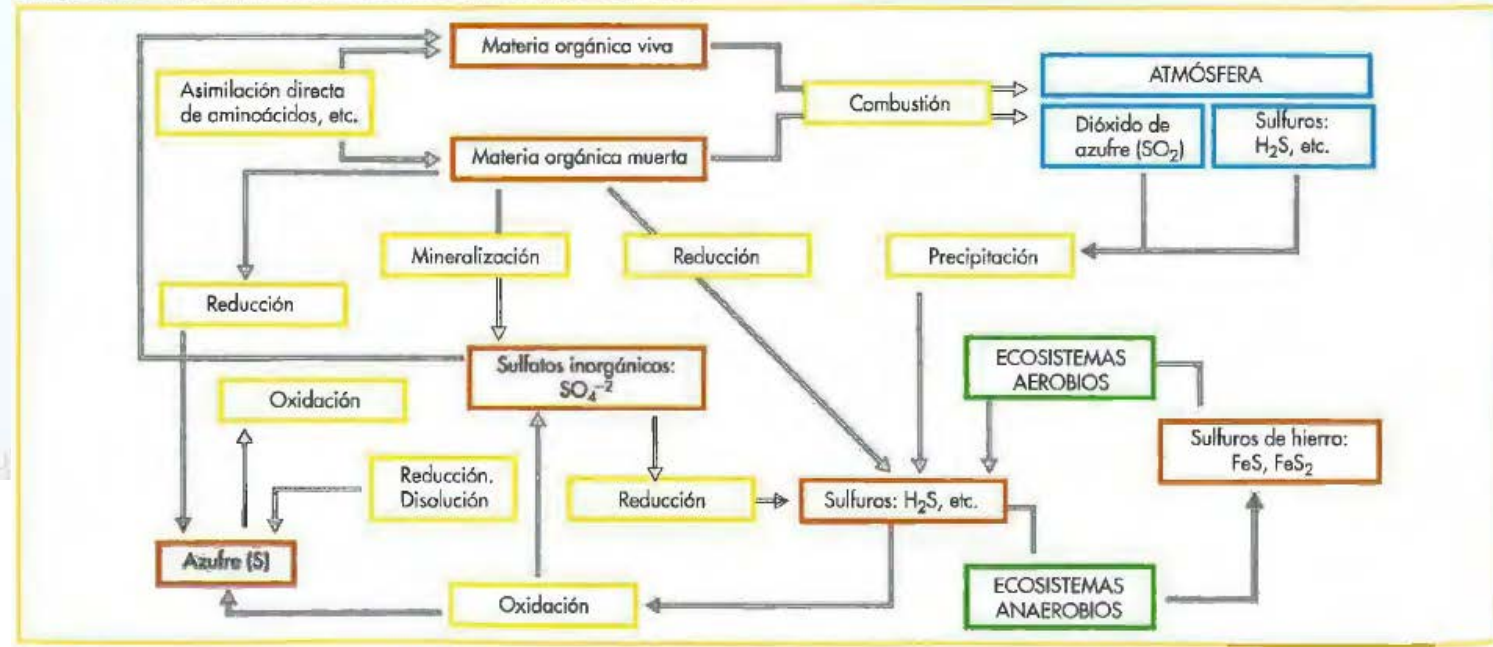


# El Ciclo del Azufre

El azufre es otro compuesto fundamental para los seres vivos. Sólo las plantas, bacterias y hongos son capaces de **incorporarlo directamente en forma de sulfatos**. Los sulfatos en general son abundantes en los suelos, pero **la mayor cantidad de sulfatos está en el mar**. El ciclo de transferencia entre océano y tierra es bastante lento.



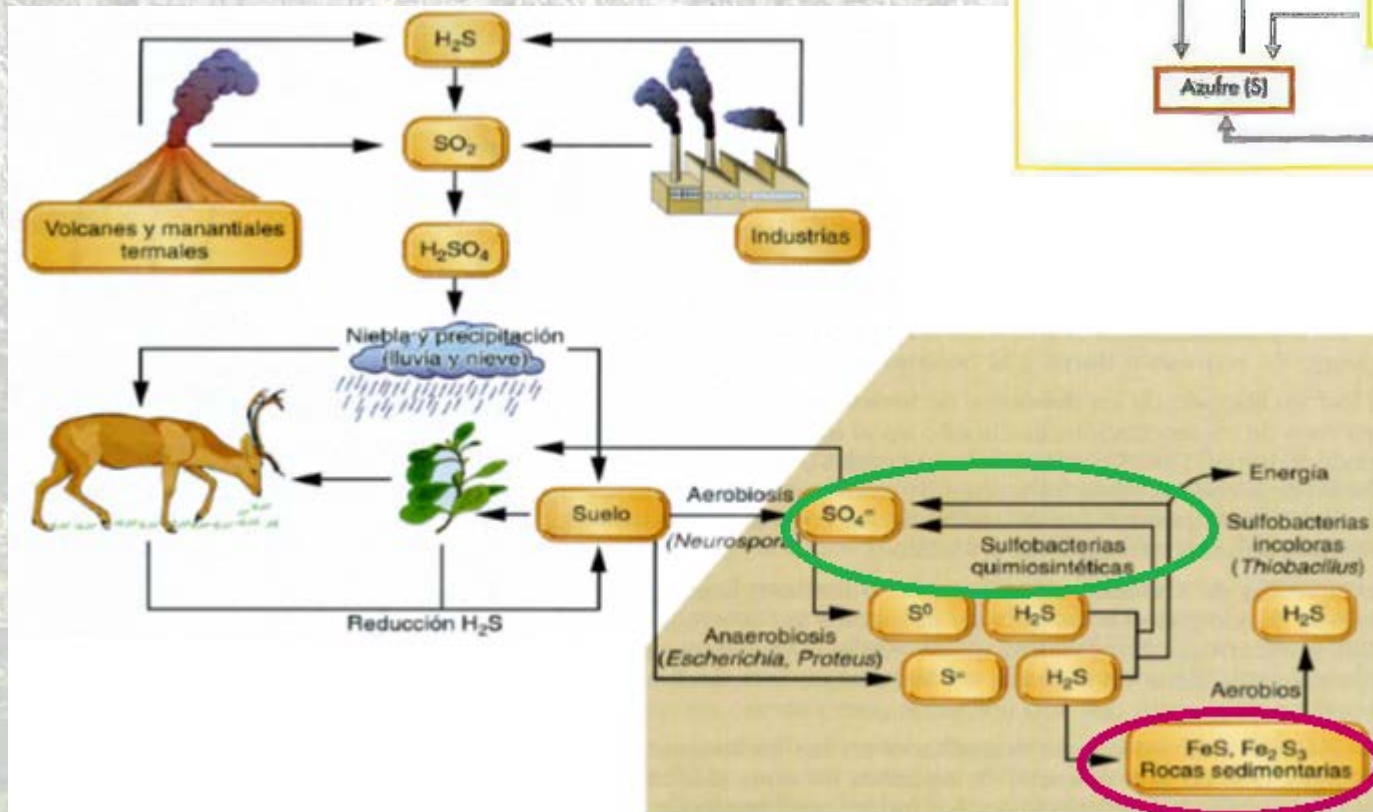
Esquema del ciclo del azufre en la naturaleza



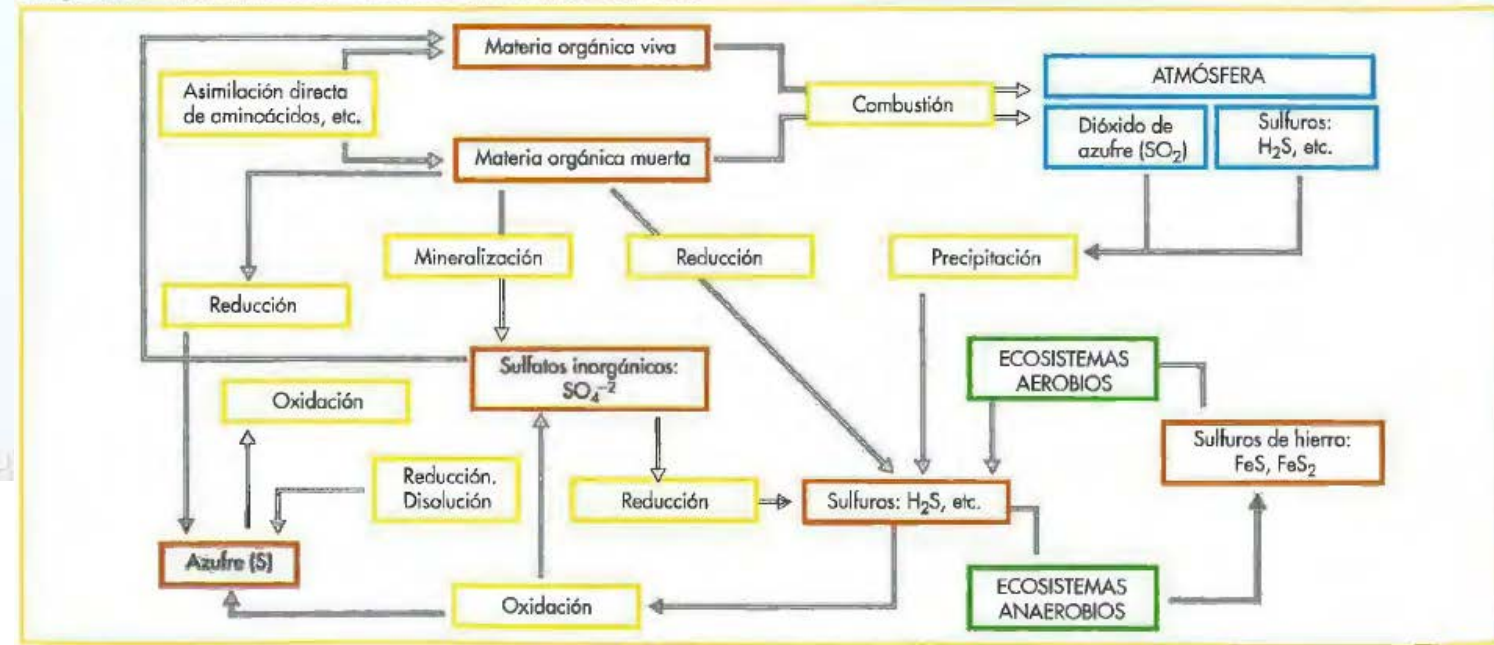


# El Ciclo del Azufre

El azufre es otro compuesto fundamental para los seres vivos. Sólo las plantas, bacterias y hongos son capaces de **incorporarlo directamente en forma de sulfatos**. Los sulfatos en general son abundantes en los suelos, pero **la mayor cantidad de sulfatos está en el mar**. El ciclo de transferencia entre océano y tierra es bastante lento.



Esquema del ciclo del azufre en la naturaleza

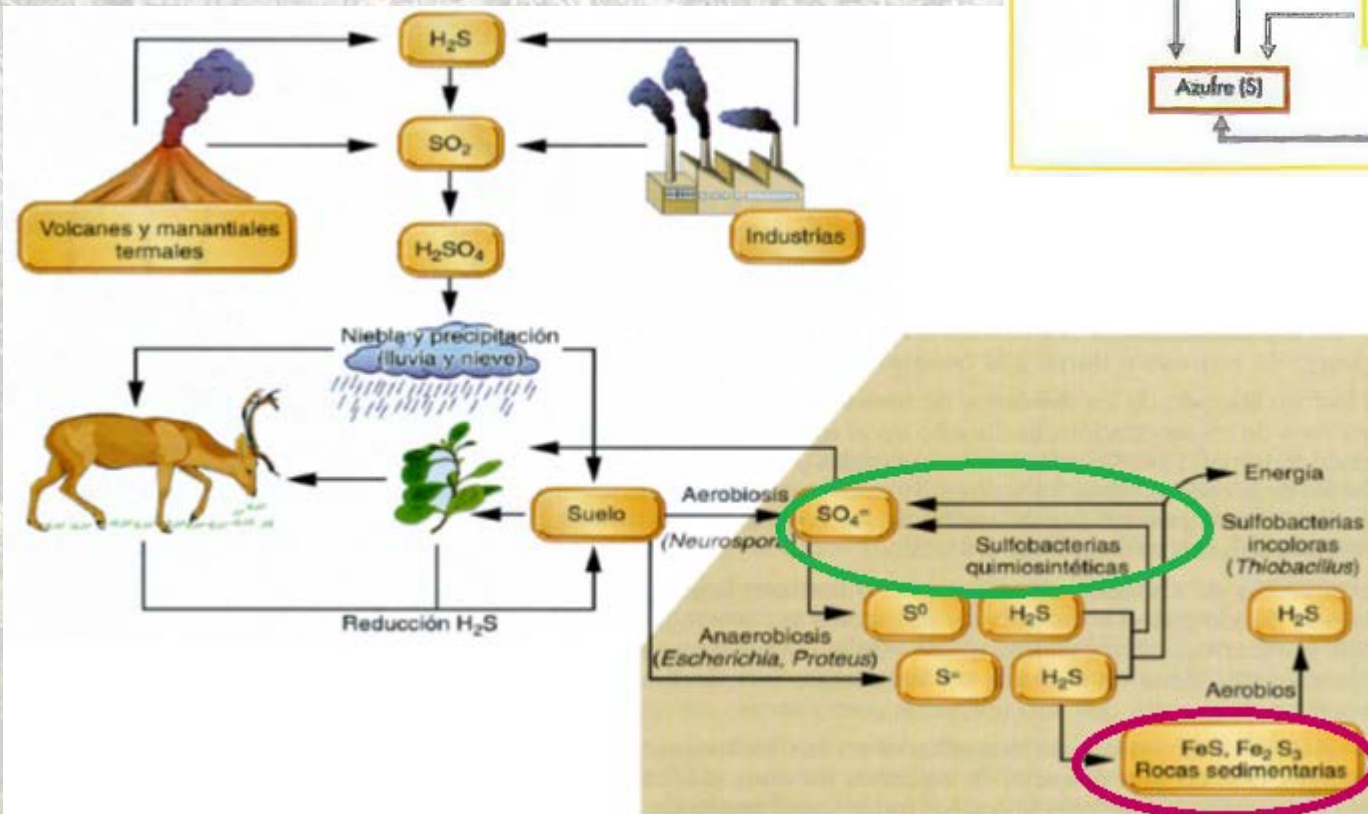


- En ausencia de  $\text{O}_2$  los sulfatos de los restos de organismos son reducidos a  $\text{H}_2\text{S}$  (sulfuro de hidrógeno) por bacterias sulfato-reductoras (anaerobiosis). El  $\text{H}_2\text{S}$  toma dos caminos (ver figura):
  - **Ascendente** hasta lugares oxigenados donde se oxida.
  - **Descendente**, combinándose con hierro y precipitando en forma de piritas.

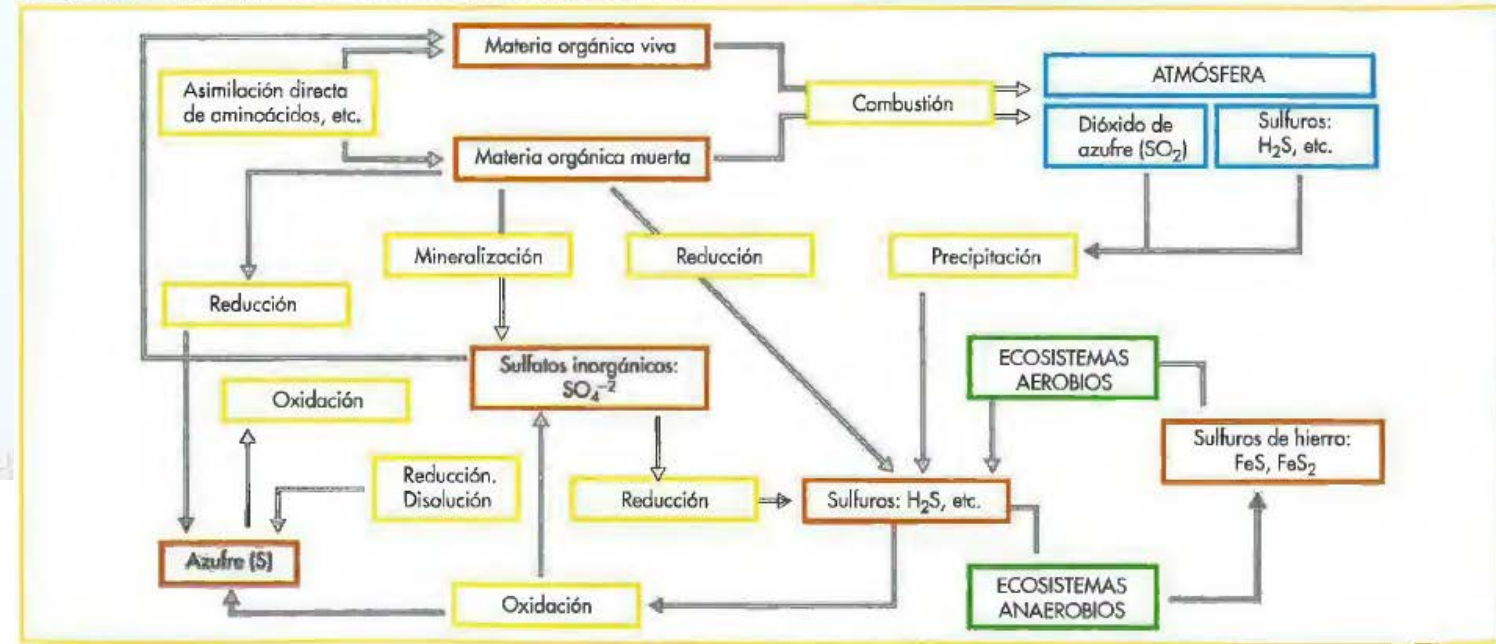


# El Ciclo del Azufre

El azufre es otro compuesto fundamental para los seres vivos. Sólo las plantas, bacterias y hongos son capaces de **incorporarlo directamente en forma de sulfatos**. Los sulfatos en general son abundantes en los suelos, pero **la mayor cantidad de sulfatos está en el mar**. El ciclo de transferencia entre océano y tierra es bastante lento.



Esquema del ciclo del azufre en la naturaleza



- El **paso del sulfuro de hidrógeno del océano a la atmósfera**, es llevado a cabo, de forma mayoritaria, por unas algas denominadas DMS (dimetil sulfuro), las cuales al morir liberan el dimetil sulfuro a la atmósfera, **allí reacciona formando ácido sulfúrico, sobre el que precipita el vapor de agua formando gotas de agua que forman las nubes**. Y así el azufre vuelve a la tierra (también mediante procesos geológicos de vulcanismo y con las emisiones humanas).