

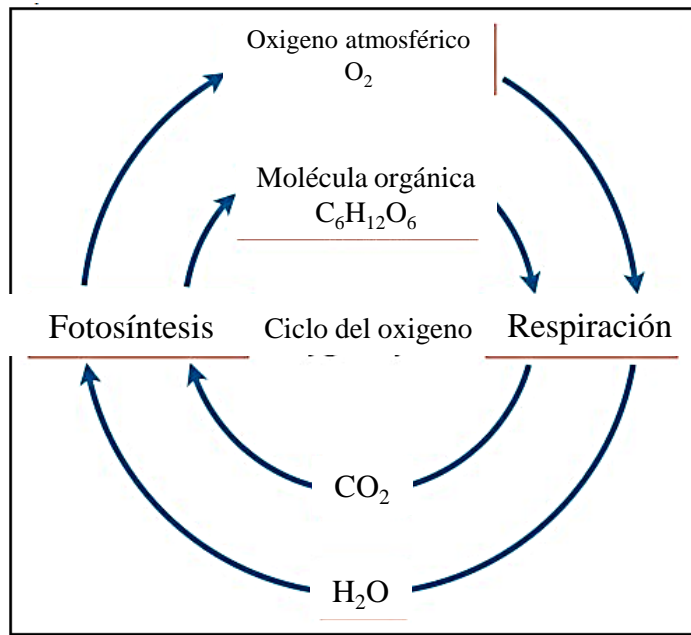
Ciclo del oxígeno

El oxígeno **molecular (O_2) representa el 20% de la atmósfera terrestre**. Este patrimonio es la reserva fundamental utilizable por los organismos vivos, abastece las necesidades de todos los organismos terrestres respiradores y al disolverse en el agua, las necesidades de los organismos acuáticos. En el proceso de la respiración, el oxígeno actúa como aceptor de electrones liberados por los átomos de carbono de los alimentos, produciendo es agua.

El ciclo se completa en la fotosíntesis cuando se captura la energía de la luz para alejar los electrones respecto de los átomos de oxígeno de las moléculas de agua. Los electrones reducen los átomos de carbono (CO_2) a carbohidrato. Al final se produce oxígeno molecular y así el ciclo se completa.

El ciclo del oxígeno está estrechamente vinculado al del carbono, ya que el proceso por el cual el carbono es asimilado por las plantas (fotosíntesis) da lugar a la devolución del oxígeno a la atmósfera, mientras que en el proceso de respiración ocurre el efecto contrario.

Otra parte del ciclo natural del oxígeno con notable interés indirecto para los organismos vivos es su conversión en ozono (O_3). Las moléculas de O_2 , activadas por las radiaciones muy energéticas de onda corta, se rompen en átomos libres de oxígeno (O) que reaccionan con otras moléculas de O_2 , formando ozono. Esta reacción se produce en la estratosfera y es reversible, de forma que el ozono vuelve a convertirse en oxígeno absorbiendo radiaciones ultravioletas.

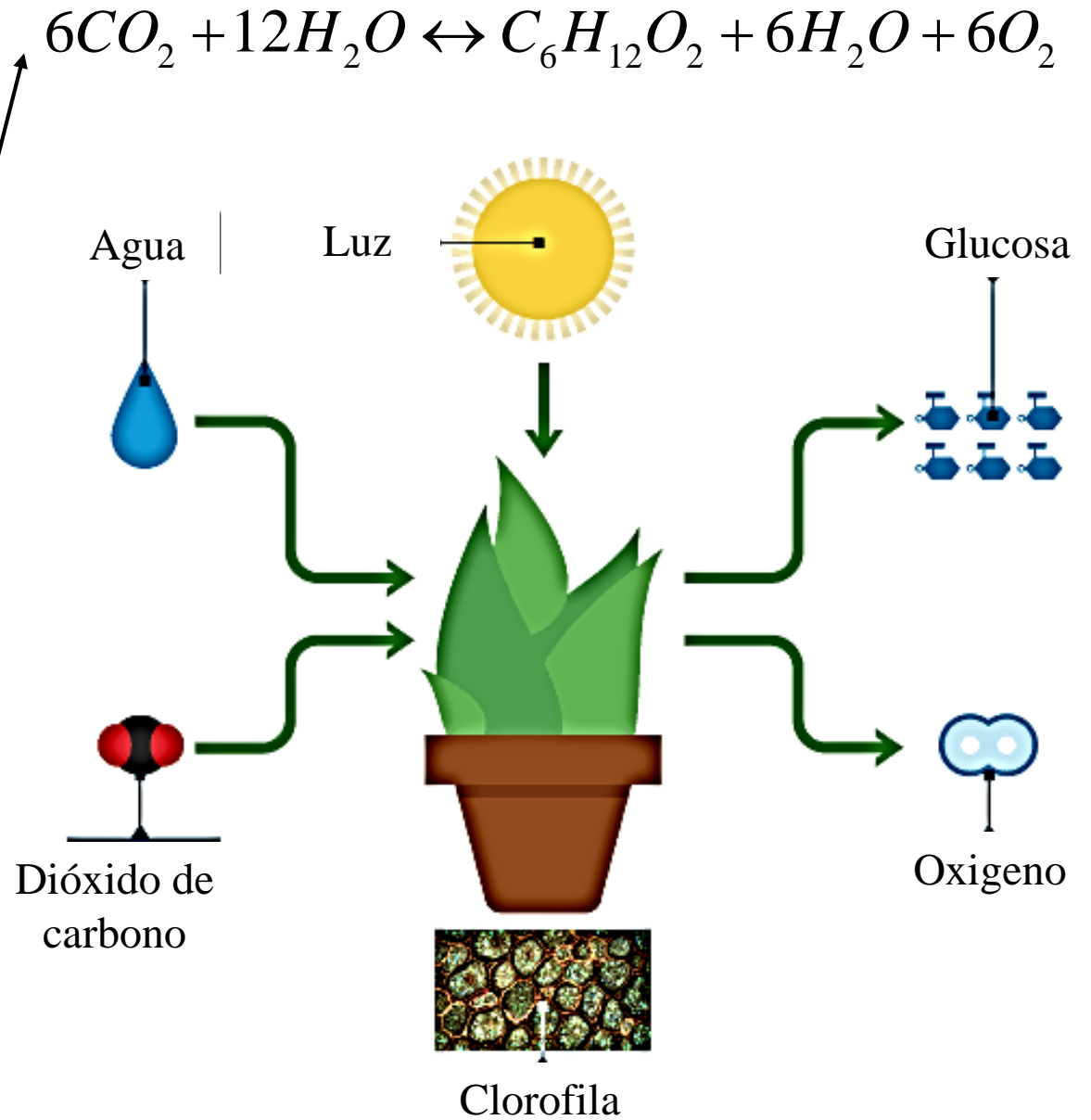


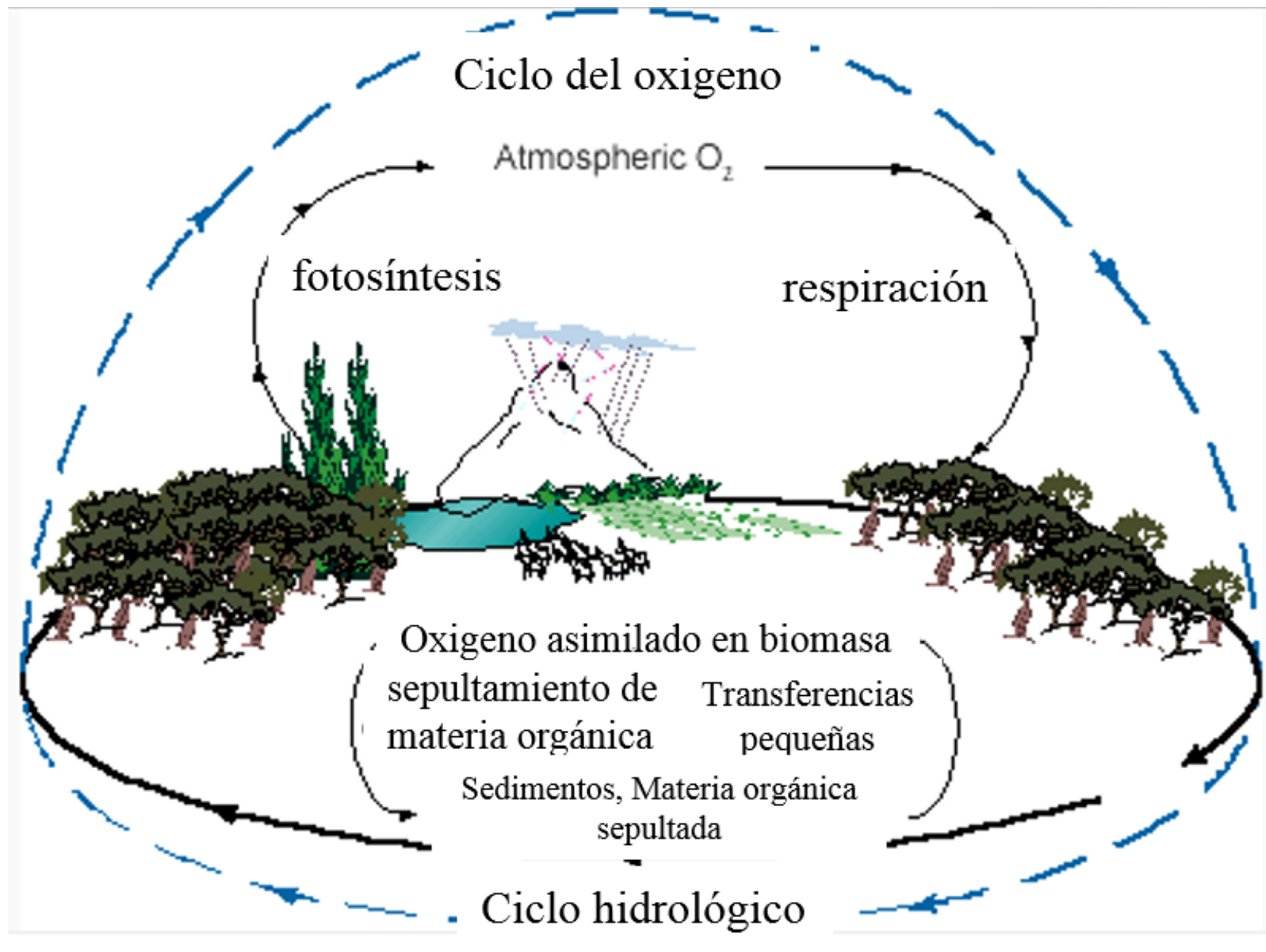
Respiración

La respiración es un proceso en el que la molécula O_2 es inhalada por el cuerpo animal. Luego llevado al espacio alveolar dentro de los pulmones. De allí es tomada por vasos capilares sanguíneos y luego la sangre oxigenada circula por todo el cuerpo del animal. Después de esto la sangre desoxigenada rica en CO_2 se recolecta de todas las partes del cuerpo y se transporta de regreso al espacio alveolar a través de los capilares sanguíneos. Después de esto se exhala en forma de CO_2

Fotosíntesis

El CO_2 es absorbido por los poros abiertos en la superficie de la hoja conocidos como estomas (*singula stoma*) custodiados por las células guarda. El cuerpo de la planta también absorbe muchas otras cosas, como agua y luz solar, para la preparación de sus alimentos, lo que podría expresarse de la siguiente manera:





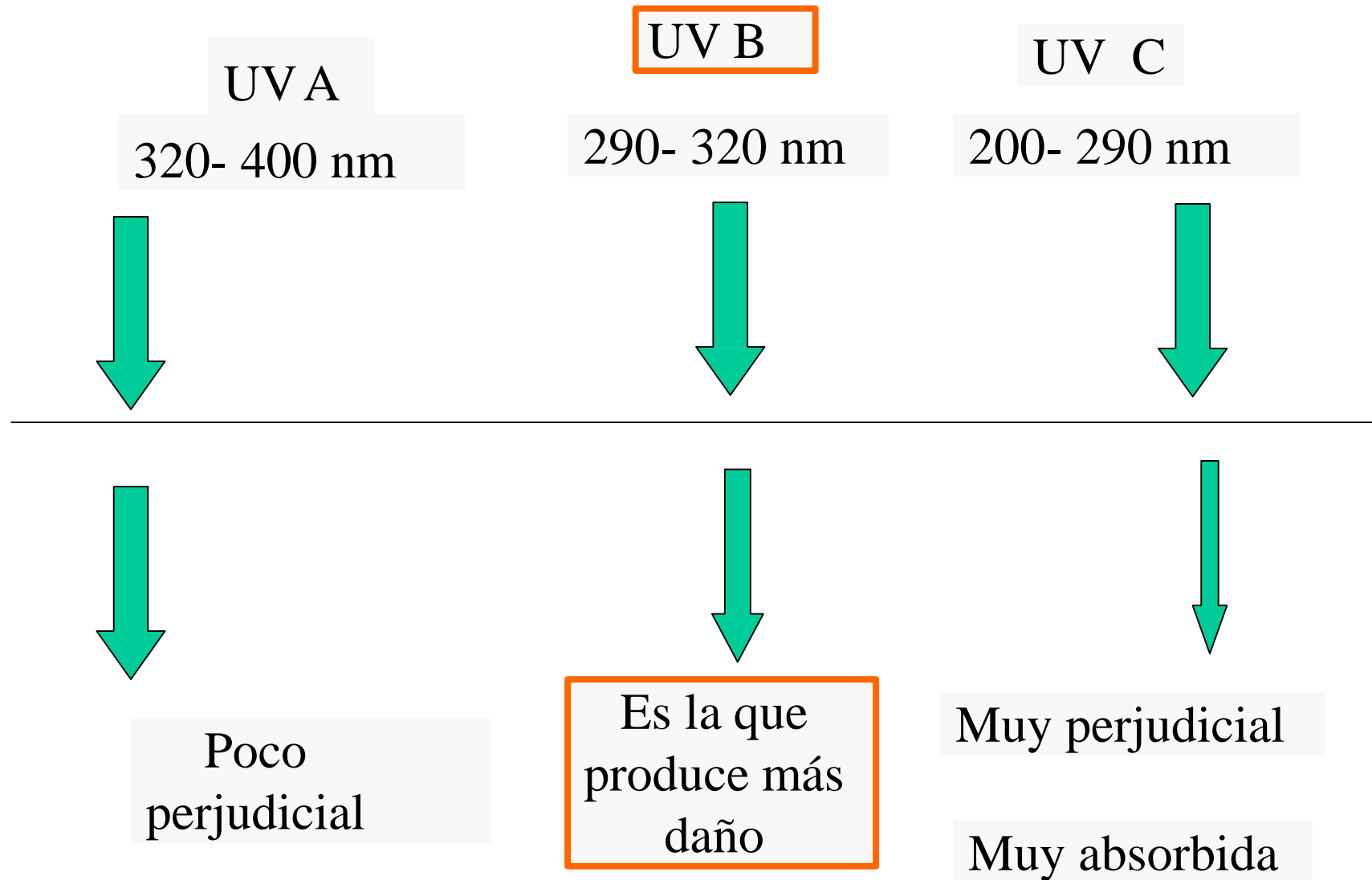
Importancia

- Critico para la respiración aeróbica
 - Históricamente, conduce a la evolución hacia organismos complejos
- Requerido por la combustión
 - Incendios forestales
- Absorbe la radiación UV
- Permite la presencia del ozono (O_3) en la atmosfera
 - Parte del O_2 es separado por la radiación UV en $O+O$, cada átomo de oxígeno reacciona con una molécula de O_2 para formar O_3

Oxígeno

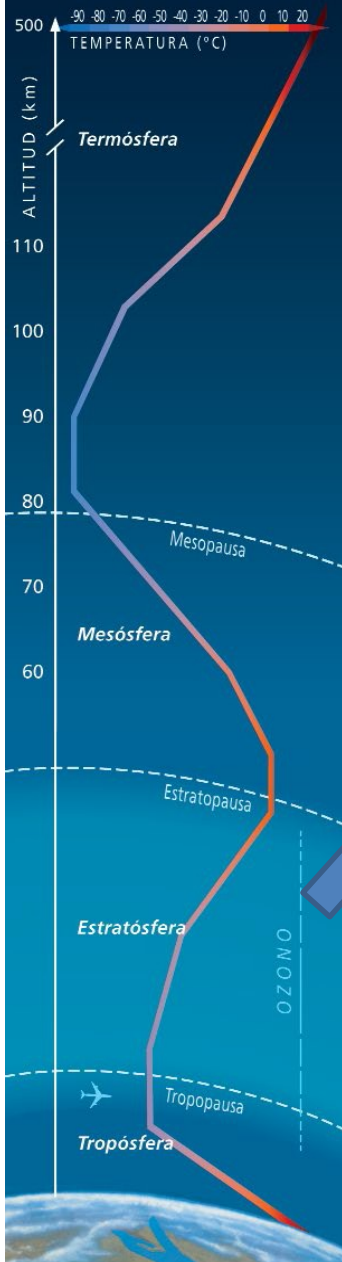
- 1 millón de GtO en la atmosfera (mayormente O₂ molecular)
 - Mucho, mucho mas oxigeno esta contenido en la corteza en forma de minerales óxidos
 - Muy reactivo
- Fuente: consumo fotosintético de CO₂
 - $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía solar (luz solar)} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
 - O₂ es es un subproducto de esta reacción
 - Elimina o remueve el carbono de la atmósfera; si el carbono no se devuelve a la atmósfera, hay una fuente neta de oxígeno

Diferencias en la absorción de luz UV de distintas longitudes de onda



LA ATMÓSFERA

División atmosférica en capas y variación de la temperatura respecto de la altura.

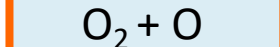
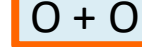
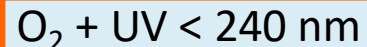


El ozono protege al planeta de la radiación UV

El ozono: O₃

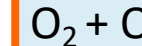
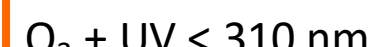
45 km

Estratosfera

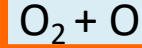
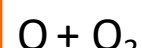


Ozonogénesis

Absorbe parte de la energía



Ozonólisis



>UV

12 km

< UV

Troposfera



Las moléculas de ozono se crean y se destruyen permanentemente. Toda la radiación UV < 290 nm y gran parte de la comprendida entre 290 y 310 nm se absorbe en la alta atmósfera.

No llega a la superficie terrestre

El ciclo del oxígeno es un ciclo gaseoso, es decir está depositado principalmente en la atmósfera



- El oxígeno es imprescindible para que la combustión y otras reacciones químicas y biológicas
- En la biosfera, las aguas son las principales generadoras de oxígeno, ya que las algas reemplazan un 90 % de todo el oxígeno que se usa.
- Las condiciones anóxicas dependen de varios factores, por ejemplo, condiciones de estancamiento, grandes aportes de materia orgánica y fuertes termoclinas. Hay proliferación de bacterias o algas que lo consumen.

[OD] mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	idem
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

El ciclo del oxígeno son las transiciones biogeoquímicas de los átomos de oxígeno entre diferentes estados de oxidación en iones, óxidos y moléculas a través de reacciones redox (reacción de oxidación-reducción) dentro y entre las esferas/reservorios del planeta Tierra.

La palabra oxígeno en la literatura se refiere típicamente al alótropo de oxígeno más común (forma cambiante del elemento), el oxígeno elemental/diatómico (O_2), ya que es un producto o reactivo común de muchas reacciones redox biogeoquímicas dentro del ciclo.

Los procesos del ciclo del oxígeno se consideran biológicos o geológicos y se evalúan como fuente (producción de O_2) o sumidero (consumo de O_2).

Yacimientos: El oxígeno es uno de los elementos más abundantes de la Tierra y representa una gran parte de cada depósito principal.

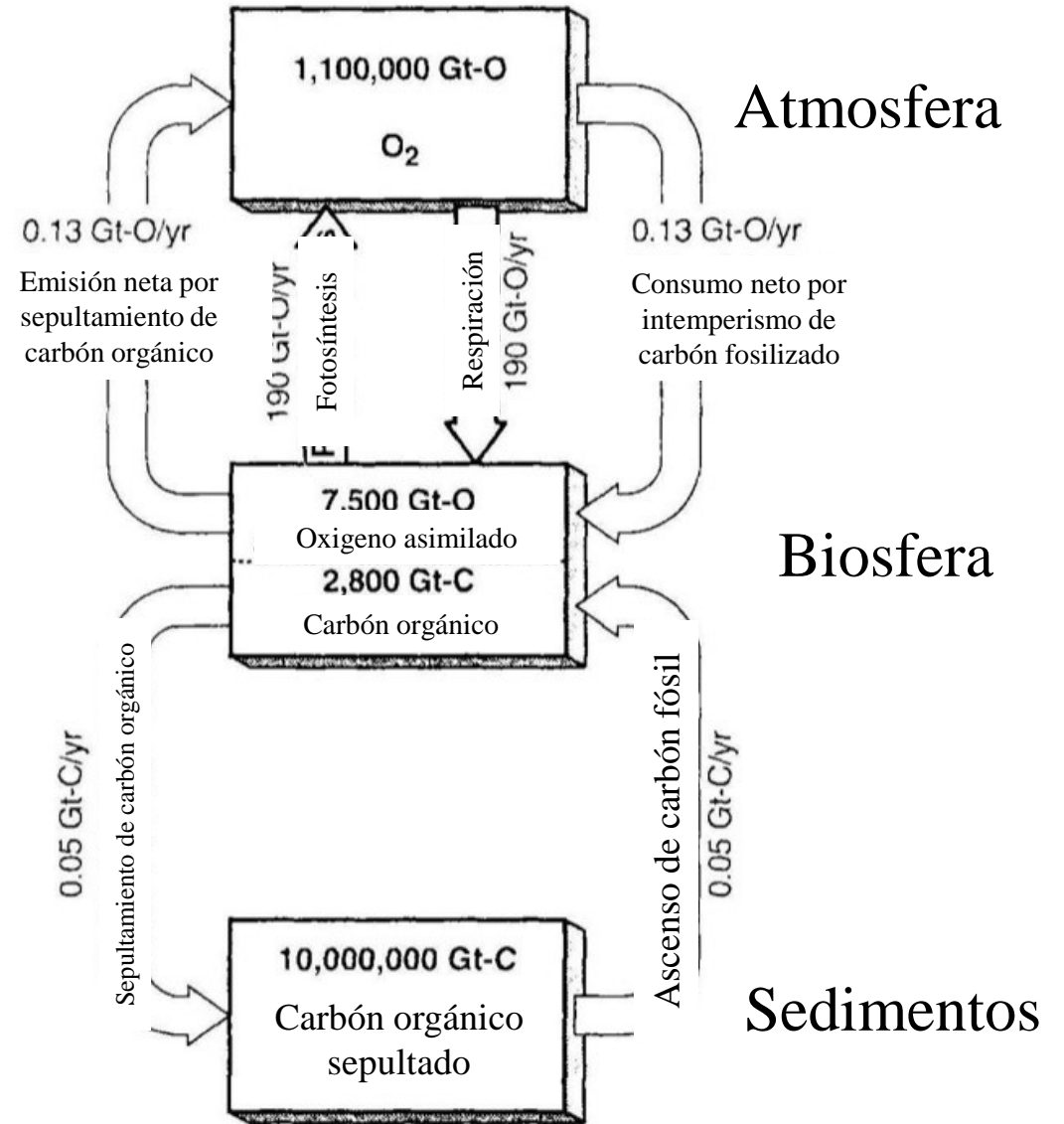
La mayor reserva de oxígeno de la Tierra se encuentra, con mucho, en los minerales de silicato y óxido de la corteza y el manto (99.5% en peso).

La atmósfera, la hidrosfera y la biosfera de la Tierra pesan en conjunto menos del 0.05% de la masa total de la Tierra.

Además del O_2 , hay átomos de oxígeno adicionales en diversas formas repartidas por los depósitos superficiales en las moléculas de biomasa, H_2O , CO_2 , HNO_3 , NO , NO_2 , CO , H_2O_2 , O_3 , SO_2 , H_2SO_4 , MgO , CaO , AlO , SiO_2 y PO_4 .

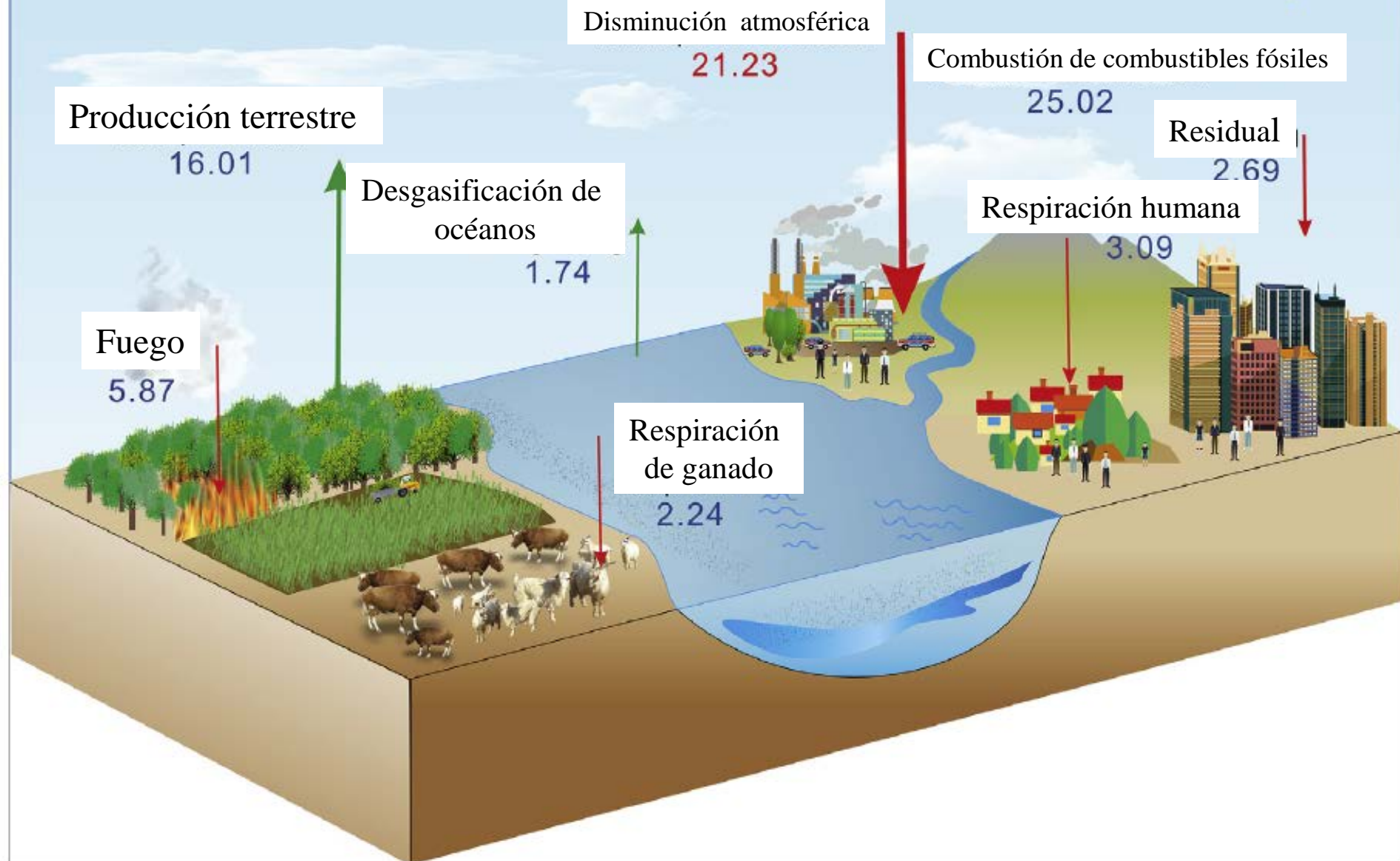
Ciclo del oxígeno

- Link: 0.18 GtCO_2
 - ▣ 0.05 GtC
 - ▣ 0.13 GtO
- Sepultamiento en su mayoría sedimentario en los océanos
- A largo plazo: depositación es is balanceada por el reciclado del carbono sepultado



Disponibilidad total de oxígeno

(Gigatonnes of oxygen per year)
1990–2005



Ambiente:

La atmósfera tiene ~20.9% de oxígeno en volumen, lo que equivale a un total de aproximadamente 34×10^{18} mol de oxígeno.

Otras moléculas que contienen oxígeno en la atmósfera son el ozono (O_3), el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua (H_2O) y los óxidos de azufre y nitrógeno (SO_2 , NO , N_2O , etc.).

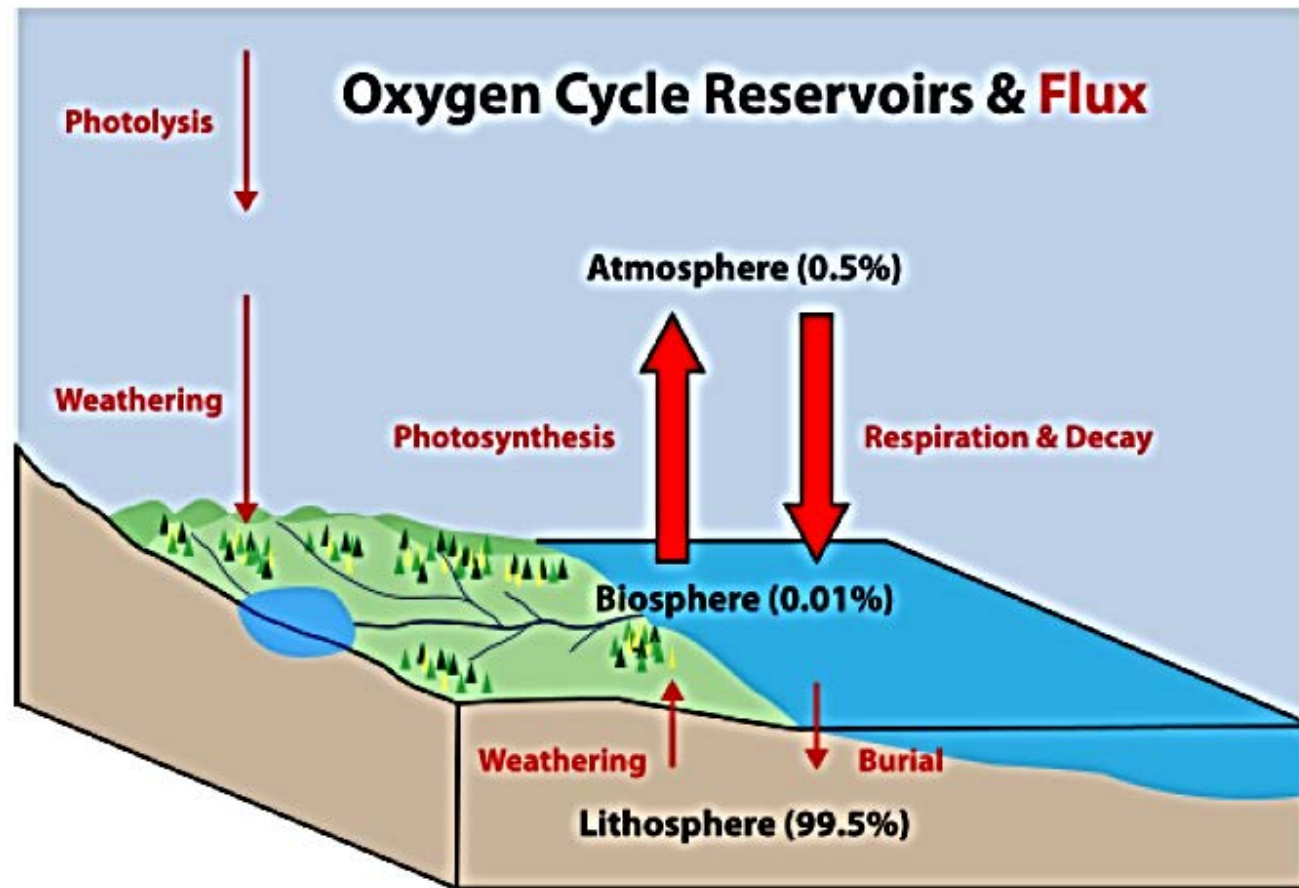
La biosfera:

La biosfera tiene un 22% de oxígeno en volumen presente principalmente como componente de las moléculas orgánicas ($C_xH_xN_xO_x$) y de las moléculas de agua.

La hidrosfera tiene un 33% de oxígeno en volumen presente principalmente como componente de las moléculas de agua, con moléculas disueltas que incluyen oxígeno libre y ácidos carbónicos (H_xCO_3).

Litosfera- tiene un 46.6% de oxígeno en volumen presente principalmente en forma de minerales de sílice (SiO_2) y otros minerales de óxido

El ciclo biogeoquímico del oxígeno ocurre en tres reservorios: **atmósfera (aire)**, **biosfera (la suma global de todos los ecosistemas)** y **corteza terrestre**. Las anomalías en el ciclo del oxígeno dentro de la **hidrosfera (masa combinada de agua en, debajo y sobre la superficie de la Tierra)** pueden resultar en desarrollo de **zonas hipóxicas**. El principal factor promotor del ciclo del oxígeno es la fotosíntesis, que es responsable de la atmósfera de la Tierra moderna y la vida en la tierra (ver el Gran Evento de Oxigenación).



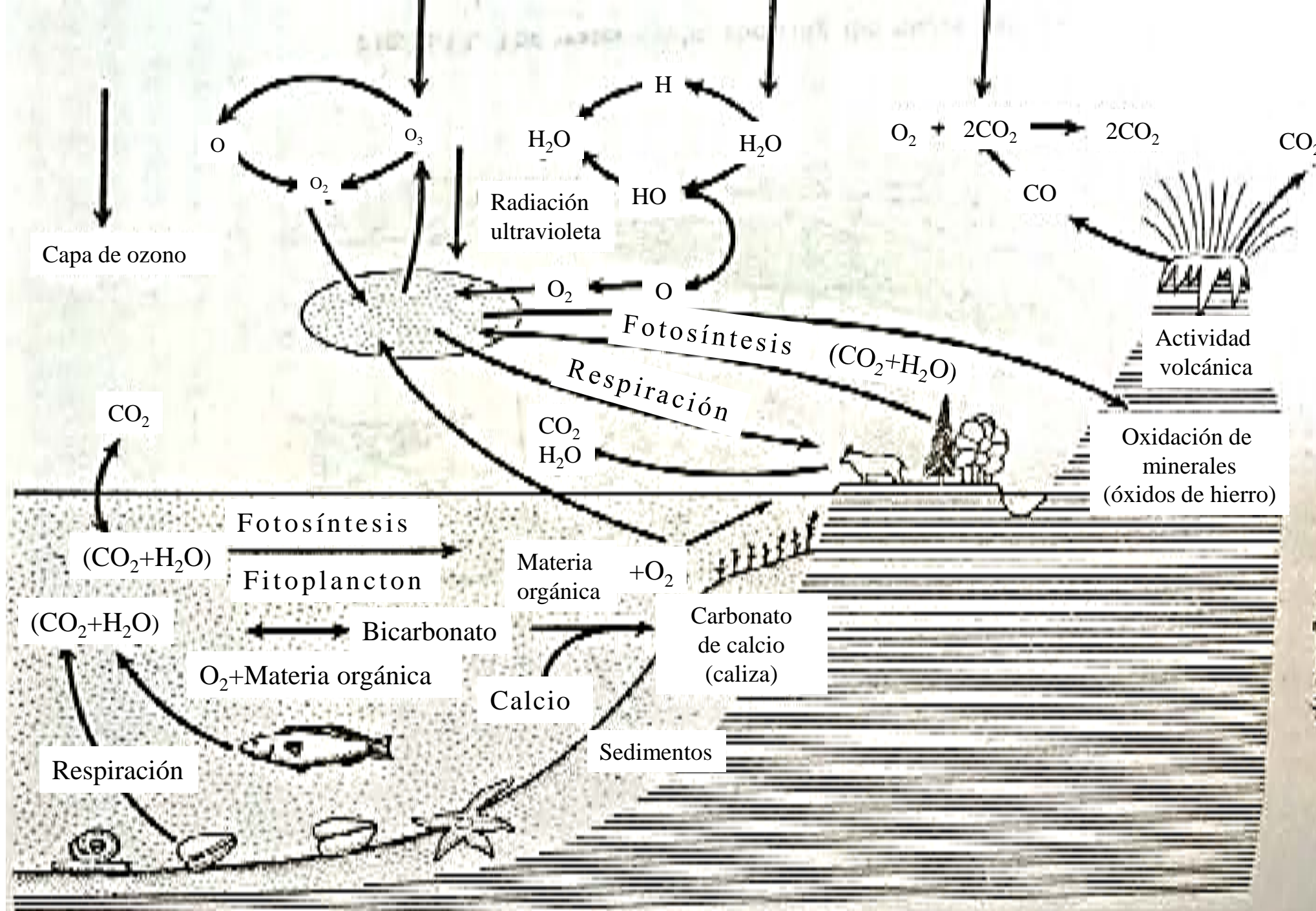
Dinámica de reservorios:

El oxígeno libre (O_2) de la **atmósfera** forma una concentración de equilibrio por intercambio de gases con la **hidrosfera** como gas disuelto en una solución acuosa según la ley de Henry. Según esta ley, **el O_2 se satura en el agua a $450\mu M$ a $0^\circ C$ y a $270\mu M$ a $25^\circ C$, pero otros solutos disueltos en el agua de mar pueden reducir esta concentración de saturación.**

Las **concentraciones de oxígeno en la hidrosfera** pueden verse **influidas localmente** por la **presencia o ausencia de mezcla turbulenta** o por la **producción o consumo local de O_2 por el metabolismo biológico**. La concentración de **oxígeno en el suelo y en las aguas subterráneas** *está determinada por la difusión de gases a través del espacio poroso del suelo en el aire y en el agua de lluvia y también puede estar influenciada localmente por procesos biológicos.*

El **oxígeno circula entre la biosfera y la litosfera en el contexto del ciclo del calcio**, los organismos marinos de la **biosfera crean material de concha de carbonato de calcio ($CaCO_3$) que es rico en oxígeno**. Cuando el **organismo muere**, su caparazón se deposita en el fondo marino poco profundo y se entierra con el tiempo para crear la roca sedimentaria caliza de la litosfera. Los procesos de **meteorización iniciados por los organismos también pueden liberar oxígeno de la litosfera**. Las **plantas y los animales extraen minerales nutritivos de las rocas y liberan oxígeno en el proceso**.

Se han observado fluctuaciones estacionales del nivel de O_2 en las altas latitudes de +/- 15 ppm en el hemisferio norte (medio círculo mundial) y se han atribuido a ciclos estacionales de producción primaria y respiración. **La combustión humana de combustibles fósiles se ha relacionado con una disminución medida de alrededor de 1×10^{15} mol por año en las concentraciones de O_2 en las últimas décadas.**



Impacto humano

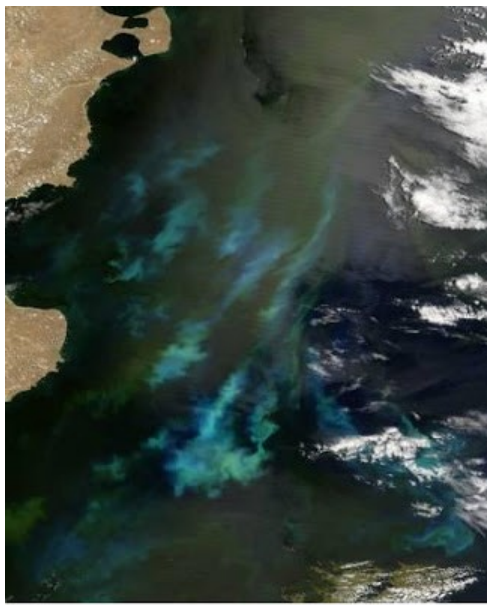
- Es insignificante
- Atmosfera: $t = 5000$ años
 - Si la fotosíntesis se detiene la respiración agotaría el O_2 de la atmosfera en 5000 años
- Combustión de combustibles fósiles
 - Secuestra O_2 a una velocidad de 18 GtO/año
 - Turco estima: que todo el combustible fósil accesible secuestraria cerca de 23000 GtO de la atmosfera

Fuentes y sumideros:

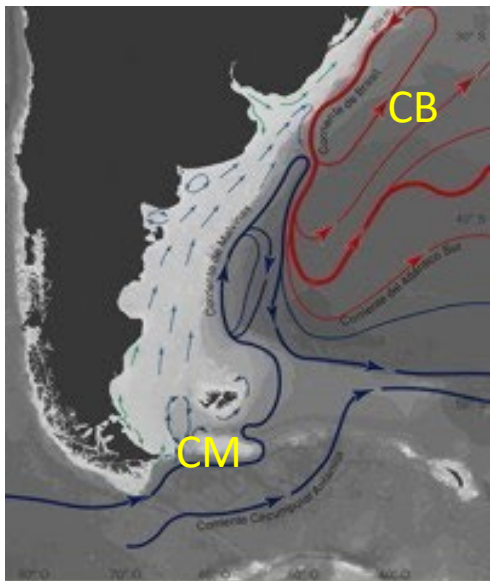
Aunque hay muchas fuentes y sumideros abióticos de O_2 , la presencia de la abundante concentración de oxígeno libre en la atmósfera y el océano de la Tierra moderna se atribuye a la producción de O_2 a partir del proceso biológico de la fotosíntesis oxigénica en combinación con un sumidero biológico conocido como la bomba biológica y un proceso geológico de sepultamiento de carbono asociado a las placas tectónicas.

La biología es el principal impulsor del flujo de O_2 en la Tierra moderna, y se cree que la evolución de la fotosíntesis oxigénica por parte de las bacterias, parte de **El Gran Evento de Oxigenación**, es directamente responsable de las condiciones que permiten el desarrollo y la existencia de todo el metabolismo del **complejo eucariota**.

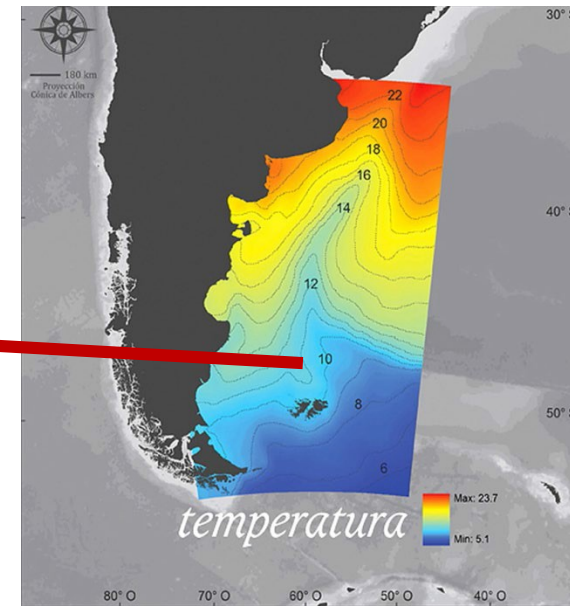
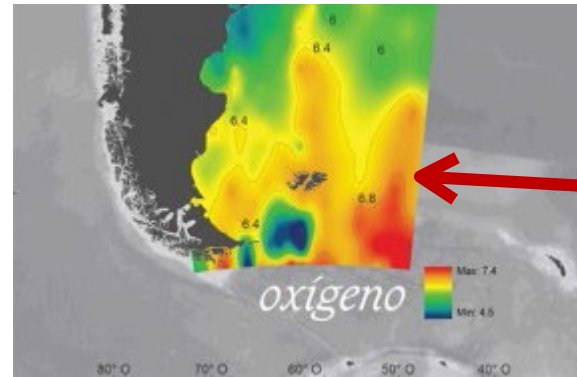
La principal fuente de oxígeno libre atmosférico es la fotosíntesis, que produce azúcares y oxígeno libre a partir de dióxido de carbono y agua:



Los bosques marinos aportan oxígeno



- El oxígeno disuelto en el mar se origina en la interfase agua- atmósfera y en la actividad fotosintética .
- Su concentración depende de la presión parcial del gas, la temperatura y la salinidad del agua.



- Al comparar de distribución de oxígeno disuelto con el mapa de temperatura, se identifica una clara relación : zonas de alta concentración de oxígeno (amarillos y naranjas) coinciden con las aguas frías de la corriente de Malvinas (CM) y las áreas de concentración más baja (en azul), con las aguas cálidas de la corriente de Brasil (CB).

3. Ciclo del S

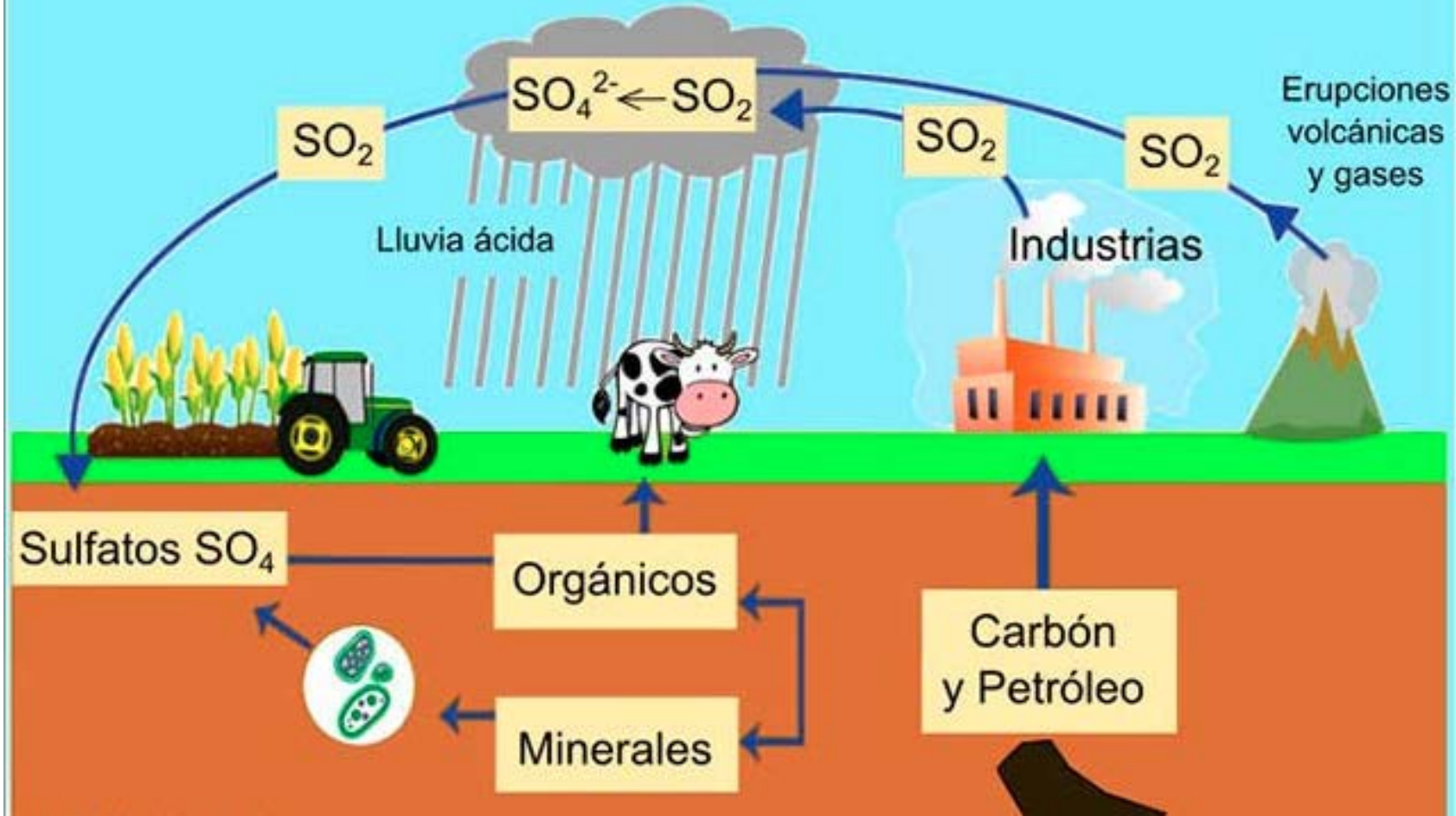
El S es un constituyente esencial de ciertos aminoácidos

El ciclo del S es clave en el patrón general de producción y decomposition

Cuando se forman sulfuros de hierro en sedimentos, el fósforo se convierte de una forma insoluble a una soluble, y por lo tanto entra a la reserva disponible para los organismos vivos.

El S se encuentran en la litosfera, atmósfera y océanos.

Ciclo del azufre



CICLO DEL AZUFRE

El azufre es muy importante como nutriente para las plantas y los animales, siendo un componente vital de los aminoácidos y otros compuestos bioquímicos. Los seres vivos satisfacen sus necesidades nutricionales de azufre, por la asimilación desde el medio ambiente.

Asimismo, es fundamental como ingrediente en la formación de **clorofila**, construcción de **proteínas, enzimas y vitaminas**. También, usos comerciales en **pólvora, fósforos, insecticidas y producción de combustibles fósiles**.

Por el ciclo del azufre, este es transportado en la naturaleza por aire, suelo, agua y en conjunto con seres vivos. **Consiste en la mineralización del azufre orgánico a sulfuro, su oxidación a sulfato y su reducción a sulfuro.**

Las plantas realizan sus funciones por medio del azufre en forma de sulfato, los consumidores primarios o herbívoros lo incorporan en su organismo, para luego estos al ser consumidos por los animales carnívoros adquieren el azufre en sus tejidos, estos al morir por las bacterias que convierten los restos en sulfato por la descomposición pasan al suelo y nuevamente sean absorbidos por las plantas iniciando el ciclo una vez más.

Finalmente, el impacto del ser humano sobre el ciclo del azufre va; desde la quema de combustibles fósiles que liberan gases de sulfuro de hidrógeno a la atmósfera, y generando la lluvia ácida por el dióxido de azufre; que se convierte en ácido sulfúrico afectando los diferentes ecosistemas acuáticos.

CICLO DEL AZUFRE

- Reservorio: La mayor parte del azufre se encuentra en los minerales y rocas sedimentarias oceánicas. En la atmósfera, tanto por factores naturales como humanos.
- Rocas y los sedimentos en los que se encuentra inmovilizado, como yeso ($\text{CaSO}_4+2\text{H}_2\text{O}$) y pirita (FeS_2). Sin embargo, los mares y océanos contienen una cantidad mayor de sulfato inorgánico disponible para la actividad biológica.
- Las principales transformaciones biológicas transcurren entre dos estados de oxidación: el sulfato y el sulfuro de hidrógeno.

¿Cuáles son las Etapas Ciclo del Azufre?

Este ciclo implica el movimiento del azufre por atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera y antroposfera. En este recorrido, este elemento pasa por 5 etapas químicas muy importantes como son:

Mineralización, proceso en el que se transforma el azufre orgánico a inorgánico, también como sulfuro de hidrógeno, elemental y minerales a base de sulfuro.

Oxidación del sulfuro de hidrógeno, elemental y otros minerales, para formar el dióxido de azufre en el ambiente.

Reducción de sulfato a sulfuro, para ser asimilado por los organismos.

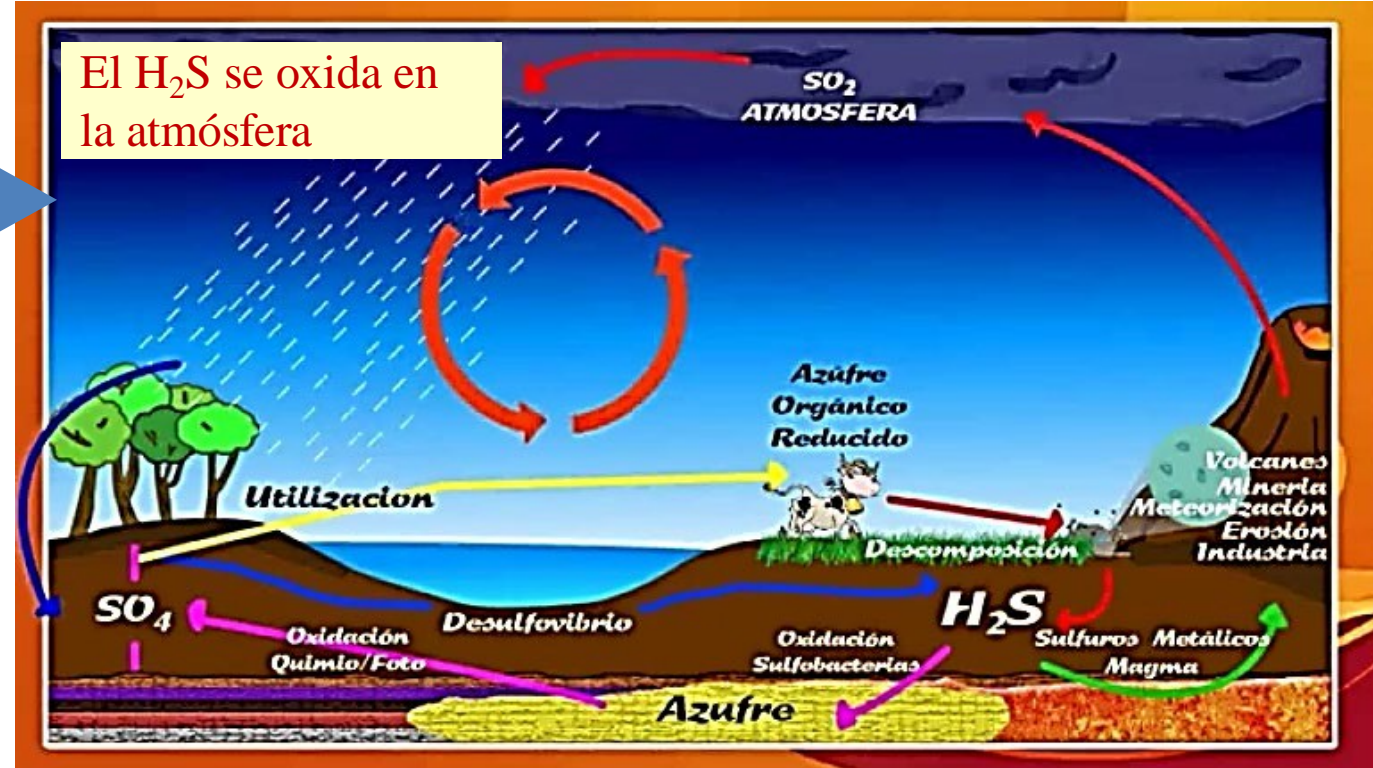
Inmovilización microbiana

Incorporación orgánica de azufre al suelo, por deposición atmosférica, abonos de origen animal, residuos de las plantas, fertilizantes y por desgaste de las rocas.

Posee una fase sedimentaria donde el azufre se encuentra en depósitos orgánicos e inorgánicos y una fase gaseosa donde circula a escala global

Entra a la atmósfera de distintas formas:

Consumo combustibles,
Erupciones volcánicas,
Interfase océano/tierra
(sulfuro de dimetilo
DMS), Gases de
descomposición (H_2S)



El azufre de los depósitos sedimentarios, se libera por erosión, intemperismo y descomposición.

En ecosistemas terrestres se transporta como solución salina.

Los ciclos del azufre (y del nitrógeno) pueden producir lluvia ácida (ácido sulfúrico) al reaccionar con el vapor de agua de la atmósfera

El ciclo del azufre

El azufre es un elemento esencial para las moléculas de los seres vivos. Como parte del aminoácido lisina, participa en la formación de las proteínas. Como se muestra en la Figura, el azufre circula entre los océanos, la tierra y la atmósfera. El azufre atmosférico se encuentra en forma de dióxido de azufre (SO_2), que entra en la atmósfera de tres maneras:

Primero, a partir de la descomposición de moléculas orgánicas.

En tierra, el azufre se deposita de **cuatro formas principales: precipitaciones**, caída directa de la atmósfera, meteorización de rocas y fumarolas geotérmicas. El azufre atmosférico se encuentra en forma de dióxido de azufre (SO_2), y cuando la lluvia cae en la atmósfera, el azufre se disuelve en forma de ácido sulfúrico débil (H_2SO_4). El azufre también puede caer directamente de la atmósfera en un proceso **llamado precipitación**. Además, a medida que las rocas que contienen azufre se **intemperizan**, el azufre se libera en el suelo. Estas rocas se originan en los sedimentos oceánicos que se transportan a la tierra por el levantamiento geológico de los sedimentos oceánicos. **Los ecosistemas terrestres** pueden aprovechar estos sulfatos del suelo (SO_4^{2-}), que entran en la red alimentaria al ser tomado el azufre por las raíces de las plantas. Cuando estas plantas **se descomponen y mueren**, el azufre se libera de nuevo a la atmósfera como gas sulfuro de hidrógeno (H_2S).

El Azufre es un bioelemento que forma parte de *proteínas y heteropolisacáridos*. ***Este bioelemento se encuentra en la Hidrosfera en forma de sulfato SO_4^{2-} y en la litosfera en los minerales de sulfato y en los del sulfuro.*** Numerosas procariontes, algas, hongos y plantas pueden transformar el sulfato por reducción, lo que permite que el azufre se incorpore a moléculas orgánicas como los aminoácidos.

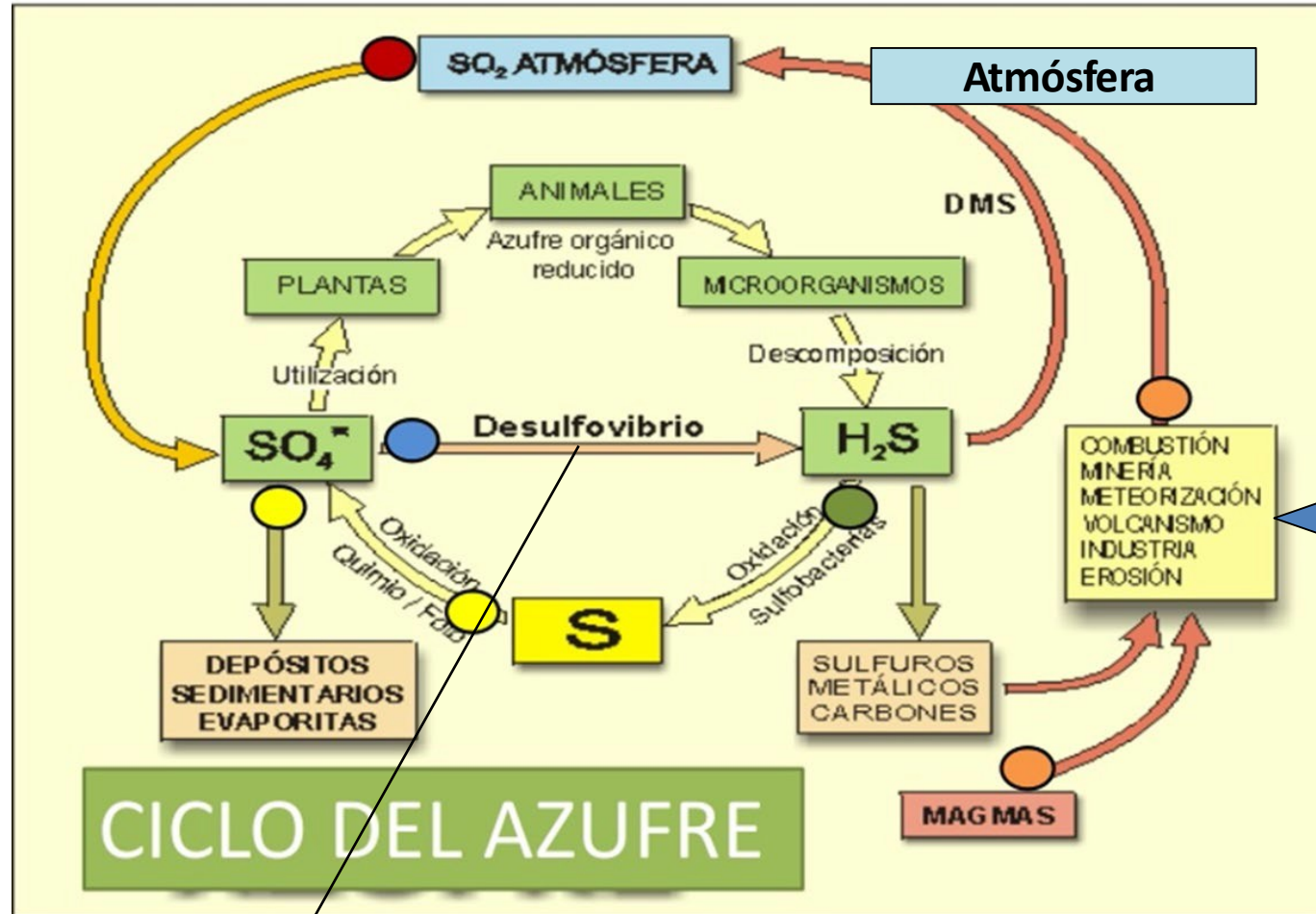
Algunos grupos de bacterias (*Desulfovibrio*) devuelven el sulfuro al ambiente ya que lo utilizan como aceptor de electrones obteniendo energía para sus procesos metabólicos y producen H_2S , que se libera a la Atmósfera. Esto se realiza en condiciones anaerobias como las que existen en las aguas pantanosas que son ricas en materia orgánica en descomposición y sulfatos. Otras bacterias como *Tiobacillus* recuperan el H_2S , debido a que son capaces de transformar el ácido sulfhídrico (H_2S) en azufre elemental y después en sulfatos.

Gran parte del azufre que llega a la atmósfera proviene de las erupciones volcánicas, de las industrias, vehículos, etc. Una vez en la atmósfera, llega a la tierra con las lluvias en forma de sulfatos y sulfitos. Su combinación con vapor de agua produce el ácido sulfúrico. Cuando el azufre llega al suelo, los vegetales lo incorporan a través de las raíces en forma de sulfatos solubles. Parte del azufre presente en los organismos vivos queda en los suelos cuando éstos mueren. La descomposición de la materia orgánica produce ácido sulfhídrico (H_2S), de mal olor, devolviendo azufre a la atmósfera.

El azufre está presente dentro de todos los organismos en pequeñas cantidades, principalmente en los aminoácidos (sustancias que dan lugar a la formación de proteínas).

Es esencial para que tanto vegetales como animales. Las mayores reservas de azufre están en el agua del mar y en rocas sedimentarias. Desde el mar pasa a la atmósfera por los vientos y el oleaje.

La excreción y muerte de los organismos (materia orgánica) depositan el azufre en el suelo o fondo de lagos/océanos. Las bacterias lo transforman en ácido sulfhídrico (H_2S) y en sulfatos.



Fuentes principales:
Actividades antropogénicas

Recuperado de: <http://www.lenntech.com/images/ciclo-4.gif>

El rol de las bacterias

La especie *Desulfovibrio piger* es una bacteria reductora de sulfato. Su nombre de género *Desulfovibrio* describe una célula vibrante "de azufre", la parte vibrante (vibrio) de su nombre proviene de la capacidad de estas células para moverse "azotando" sus flagelos, que son pequeños apéndices similares a pelos, de un lado a otro muy rápidamente. El nombre de la especie "piger" proviene de la palabra latina "perezoso", porque la especie solo vive en un número limitado de sustratos o superficies en el cuerpo

El azufre ingresa al océano a través de la escorrentía terrestre, de precipitaciones atmosféricas y de las actividades humanas que han desempeñado un papel importante en la alteración del equilibrio del ciclo global del azufre. La combustión masiva de grandes cantidades de combustibles fósiles, especialmente carbón, libera grandes cantidades de gas *sulfuro de hidrógeno* H_2S a la atmósfera. Al precipitar la lluvia a través de este gas, se produce el fenómeno conocido como *lluvia ácida*, que daña el medio ambiente natural al reducir el pH de lagos y suelos, aniquilando así a gran número de especies de plantas y animales que residen en esos ecosistemas.

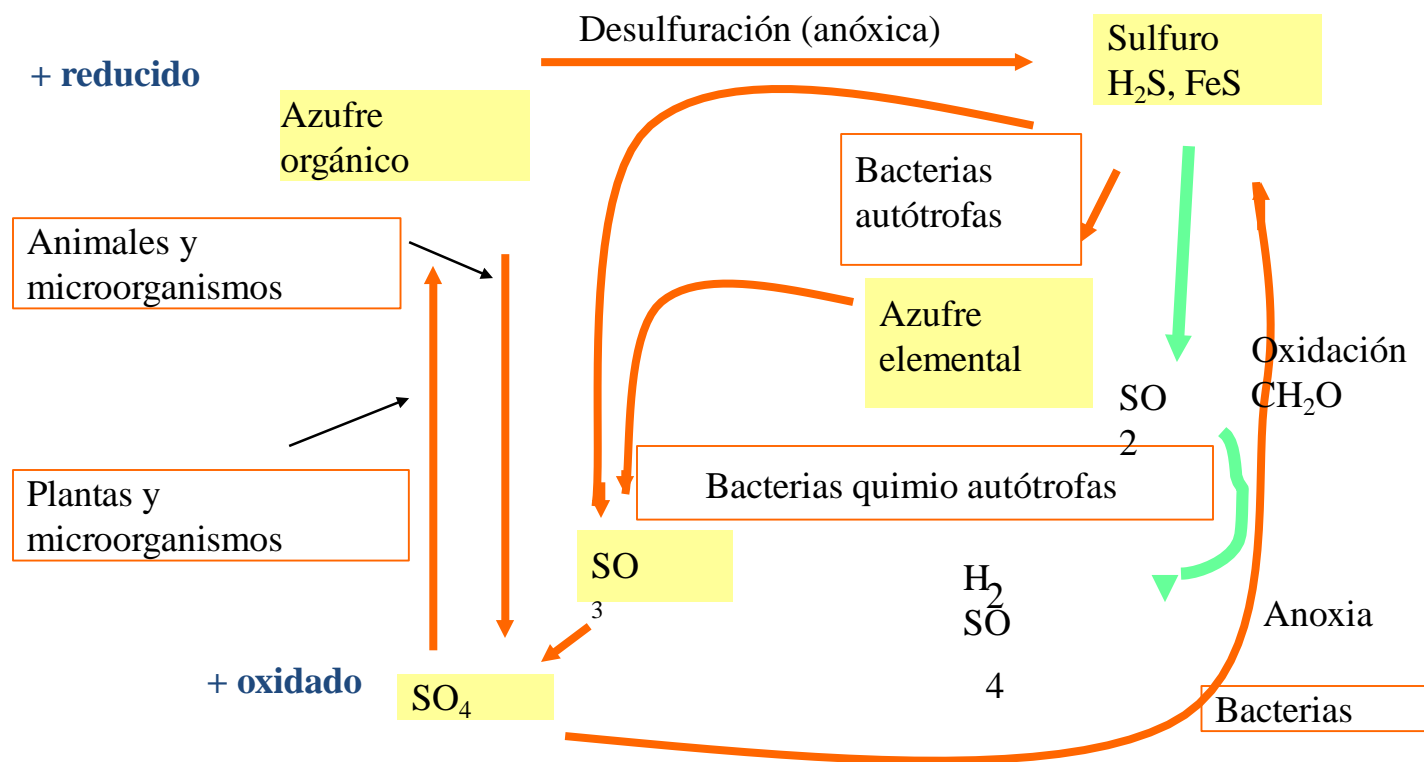
La lluvia ácida es la lluvia corrosiva causada por la lluvia que cae al suelo a través del gas de *dióxido de azufre* SO_2 , convirtiéndolo en *ácido sulfúrico débil* H_2SO_4 , que daña los ecosistemas acuáticos. La lluvia ácida también afecta el medio ambiente creado por el hombre a través de la degradación química de los edificios. Por ejemplo, muchos monumentos de mármol, son afectados por daños significativos debido a la lluvia ácida con el paso del tiempo. Estos ejemplos muestran los efectos de gran alcance de las actividades humanas en nuestro medio ambiente y los desafíos que quedan para nuestro futuro.

Las bacterias sulfurosas funcionan como un equipo de transmisión dentro del ciclo del S en suelos, agua dulce y pantanos.



El proceso realizado por microbios en zonas anaerobias profundas de suelo y sedimentos produce un movimiento ascendente del sulfuro de hidrógeno gaseoso (H_2S) en los ecosistemas terrestres y los pantanos.

Ciclo del azufre



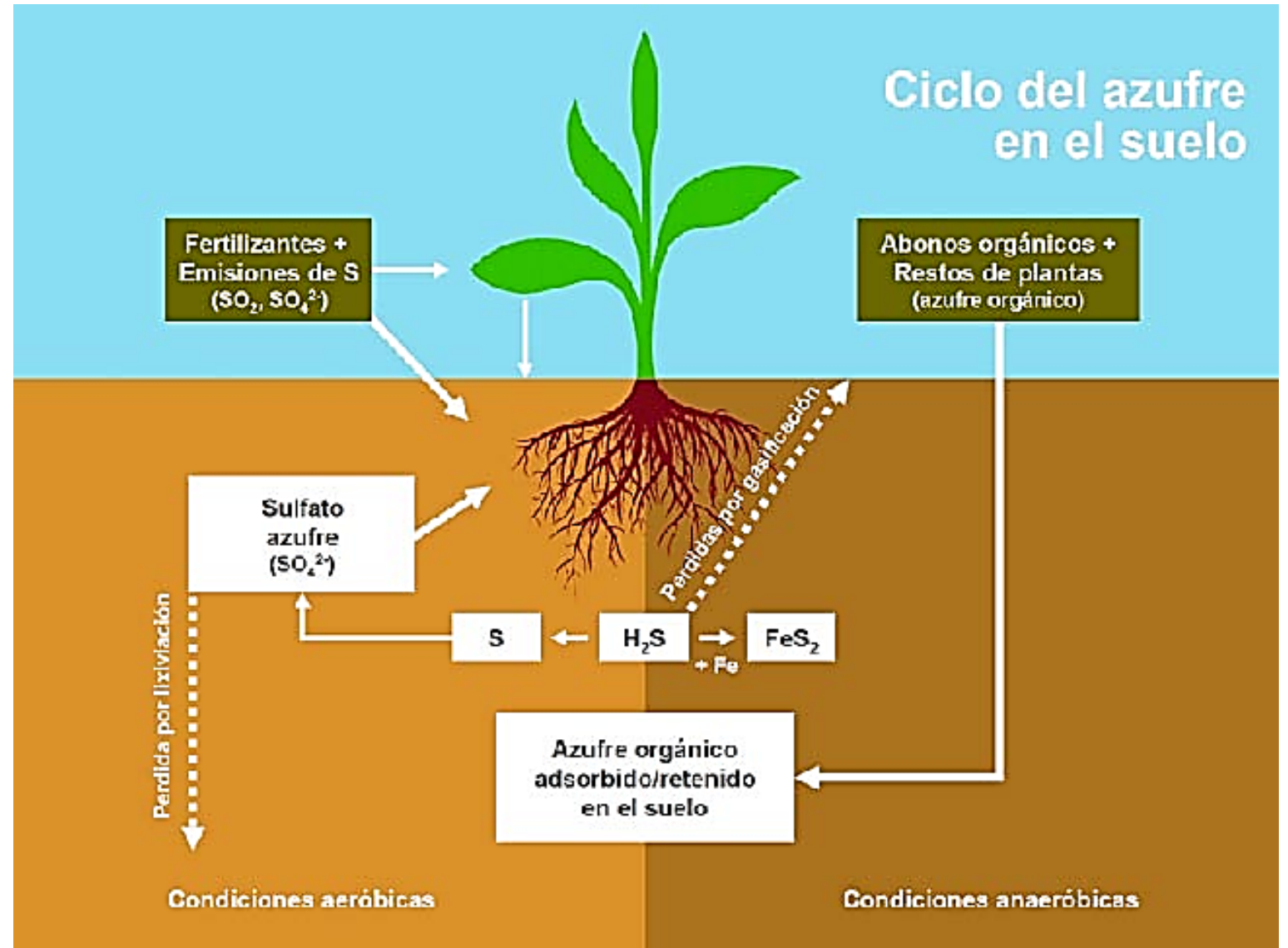
Ciclo del Azufre

El Azufre es un constituyente esencial de ciertos aminoácidos. El ciclo del Azufre es clave en el patrón general de producción y descomposición.

La descomposición de proteínas también conduce a la producción de sulfuro de hidrógeno, una vez en la atmósfera, esta fase gaseosa se transforma en otros productos.

Al formarse sulfuros de hierro en sedimentos, el azufre se convierte de una forma insoluble a una soluble, y por lo tanto entra a la reserva disponible para los organismos vivos.

El Azufre se encuentran en la litosfera, atmósfera y océanos.



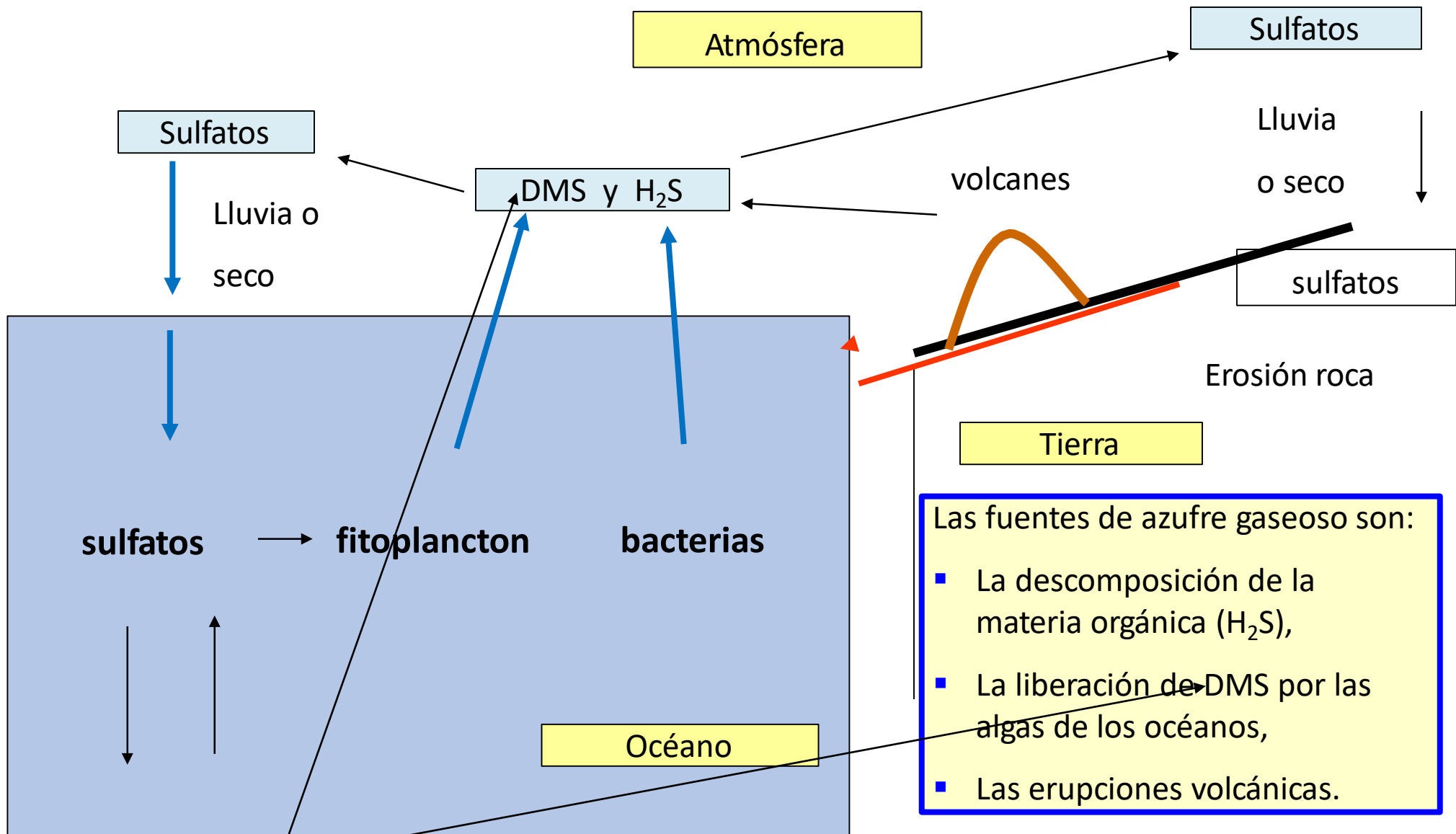
El dimetilsulfuro (**DMS**) desempeña un papel importante en el ciclo de azufre atmosférico global. Contribuye significativamente en la reducción del azufre biogénico transferido desde el océano a la atmósfera, teniendo una influencia sobre el sistema climático (Lovelock et ál., 1972).

El **DMS** es producido a partir del compuesto dimetilsulfoniopropionato (**DMSP**) por división enzimática de poblaciones algales, contribuyendo de ésta forma a su producción (Andreae, 1990; Belviso et ál., 1990; Bratbak et ál., 1995;).

Dependiendo de las condiciones ambientales en la columna de agua el **DMSP** es convertido a **DMS** o a otros compuestos sulfatados (Andreae yCrutzen, 1997).

Los registros de concentraciones y flujos de **DMS** en México son prácticamente nulos, en la “zona caliente” del Pacífico Mexicano Tropical (**PMT**) se realizaron dos campañas en verano, la primera se llevó a cabo en julio de 2001 en el área sur del PMT; el segundo crucero fue situado en la zona norte en agosto de 2004.

Los resultados obtenidos por Benítez-Macías (2005) de concentraciones promedio de **DMS** y **DMSP** total (**DMSPt**) en la zona sur a 10 m de profundidad fueron de 5.7 y 48.3 nM (nM = nano Moles/L) respectivamente, a 30 m de profundidad el **DMSPt** fue de 24.2 nM. En la zona norte la concentración promedio de **DMS** a 10 y 40 m de profundidad fueron 9.9 y 12.6 nM, mientras que las concentraciones de **DMSPt** fueron 67.5 y 65.9 respectivamente. Este trabajo contribuyó a establecer el primer inventario de **DMS** en el Pacífico Mexicano (Benítez-Macías, 2005).



- Las fuentes de azufre gaseoso son:
- La descomposición de la materia orgánica (H₂S),
 - La liberación de DMS por las algas de los océanos,
 - Las erupciones volcánicas.

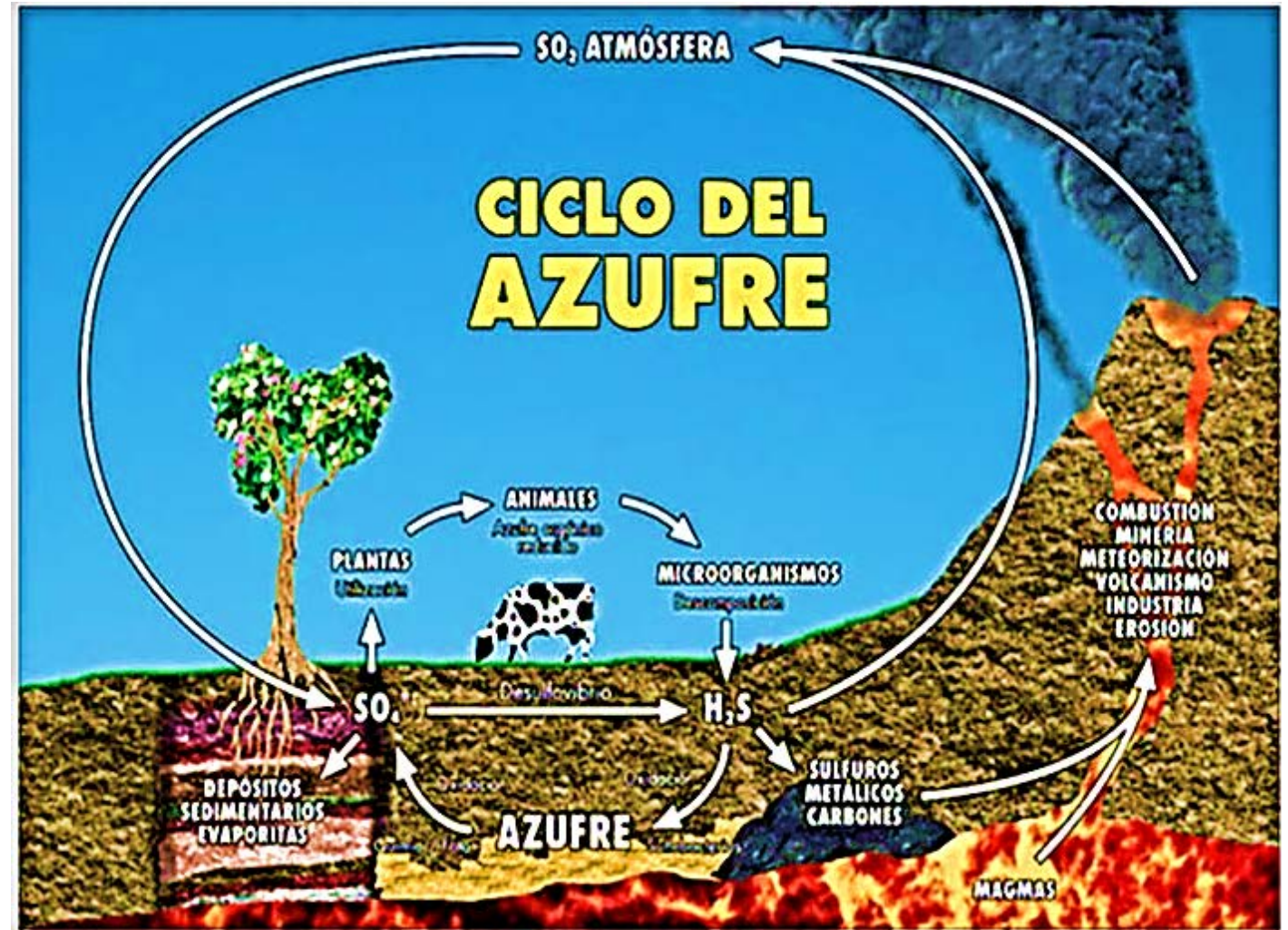
El dimetilsulfuro (**DMS**) desempeña un papel importante en el ciclo de azufre atmosférico global. Contribuye significativamente en la reducción del azufre biogénico transferido desde el océano a la atmósfera, teniendo una influencia sobre el sistema climático (Lovelock et ál., 1972).

¿Cuáles es el Flujo Ciclo del Azufre?

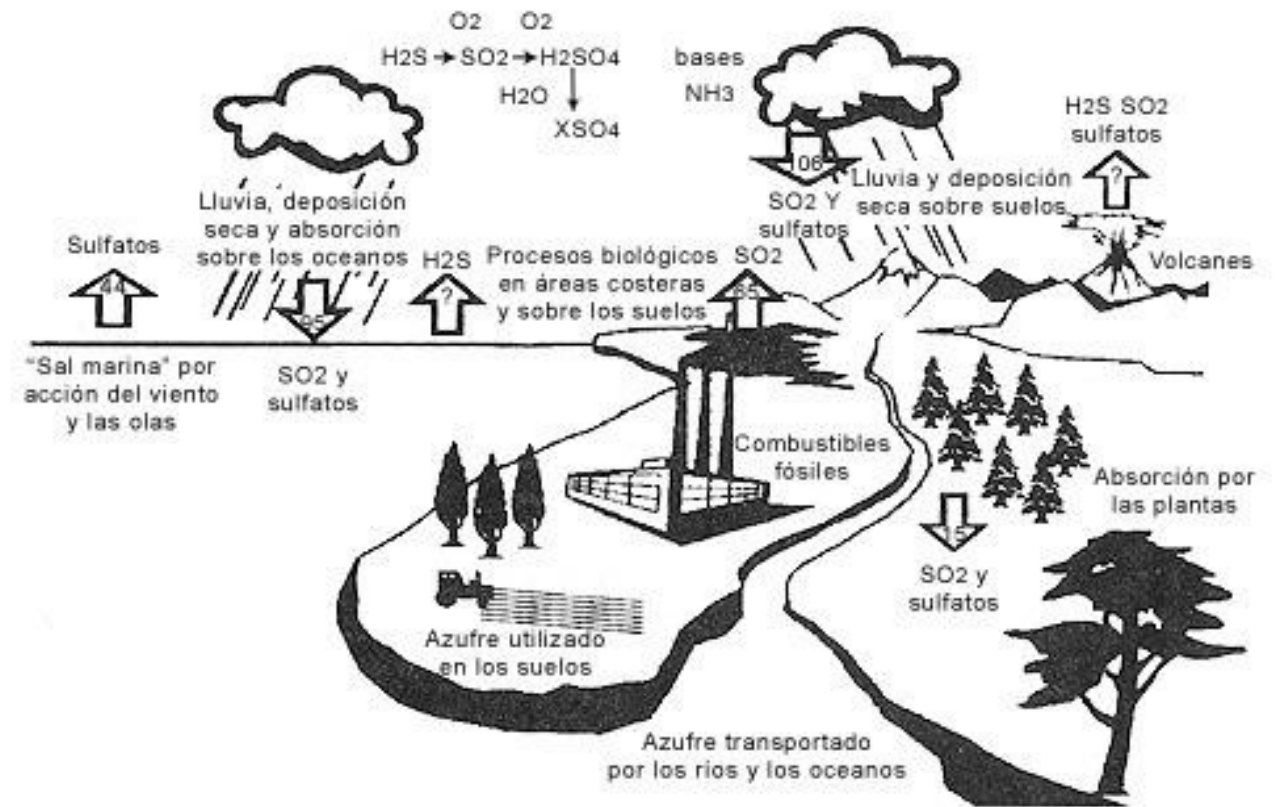
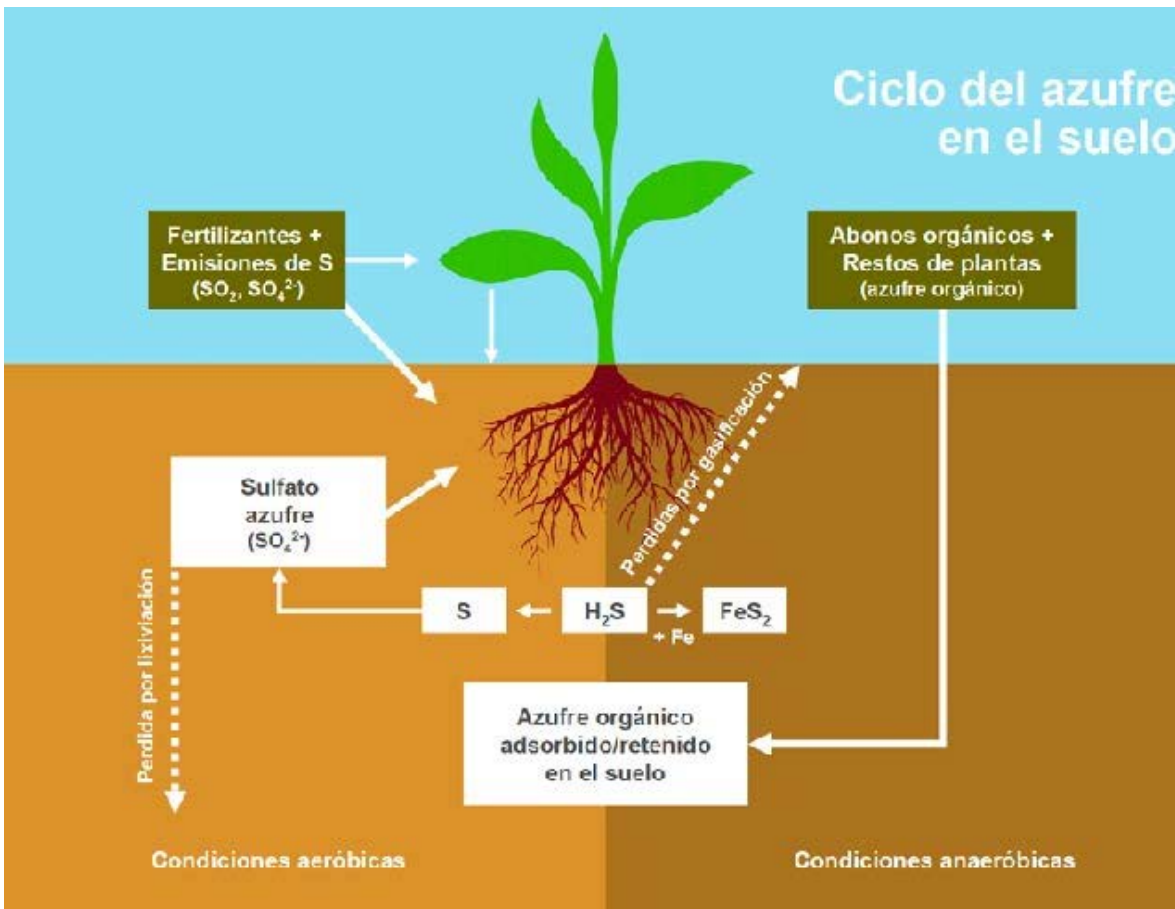
Formado por compuestos; azufre atmosférico, orgánico, inorgánico, reducido y sulfatos que son absorbidos por las plantas, los animales lo consumen y finalmente se mueve en toda la cadena alimenticia.

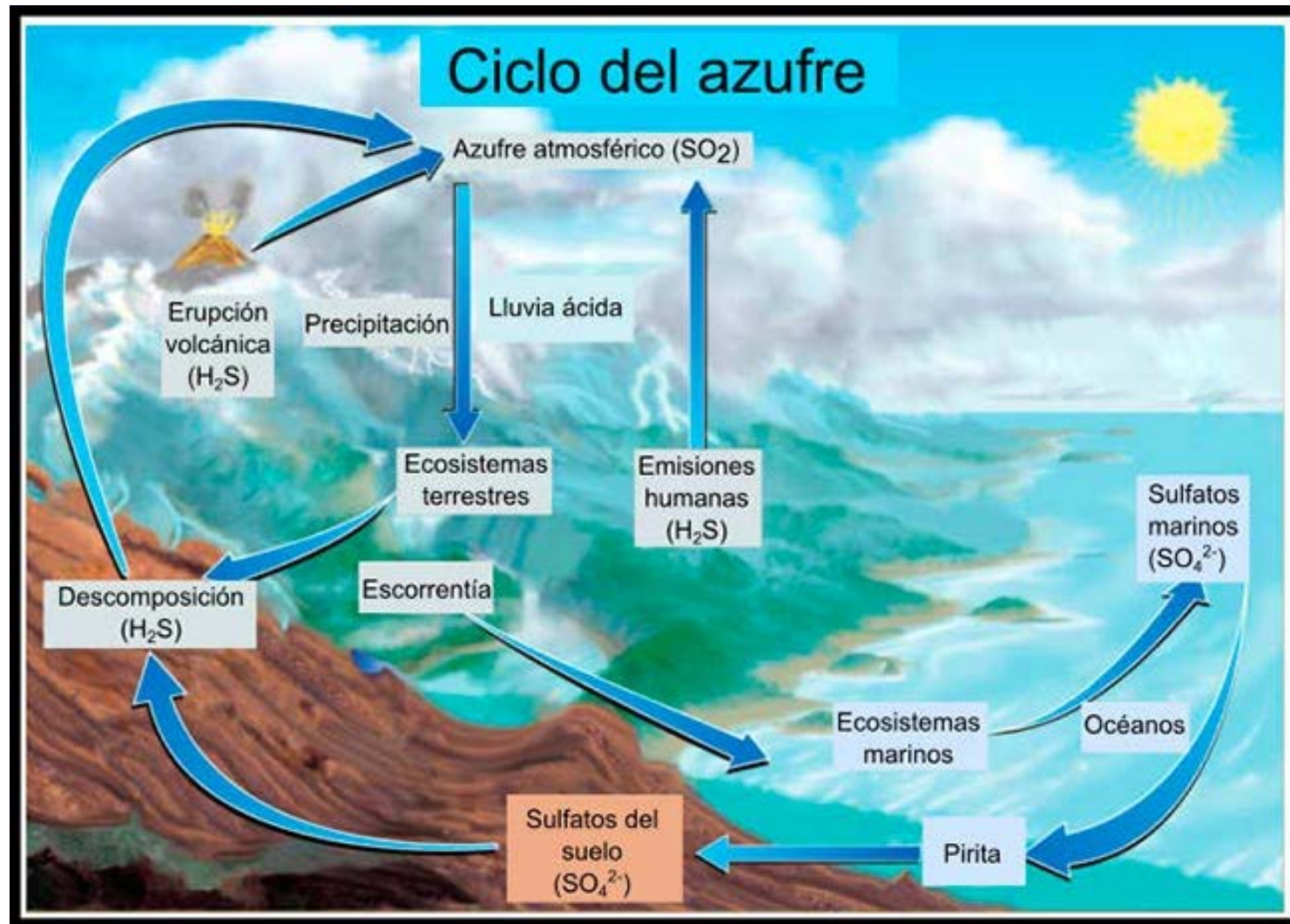
Incorporado al suelo; por deposición atmosférica, abonos de origen animal, residuos de las plantas, fertilizantes y por desgaste de las rocas.

Eliminado del suelo; por las plantas al absorber los sulfatos por sus raíces, los cultivos, volatilización de compuestos reducidos, filtración, escorrentía, erosión, los volcanes, gases de la descomposición orgánica,



Gran parte del azufre que llega a la atmósfera proviene de las erupciones volcánicas, de las industrias, vehículos, etc. Una vez en la atmósfera, llega a la tierra con las lluvias en forma de sulfatos y sulfitos. Su combinación con vapor de agua produce el ácido sulfúrico. Cuando el azufre llega al suelo, los vegetales lo incorporan a través de las raíces en forma de sulfatos solubles. Parte del azufre presente en los organismos vivos queda en los suelos cuando éstos mueren. La descomposición de la materia orgánica produce ácido sulfhídrico, de mal olor, devolviendo azufre a la atmósfera.





El dióxido de azufre de la atmósfera queda a disposición de los ecosistemas terrestres y marinos cuando se disuelve en las precipitaciones en forma de ácido sulfúrico débil o cuando cae directamente a la Tierra en forma de lluvia. La meteorización de las rocas también pone los sulfatos a disposición de los ecosistemas terrestres. La descomposición de los organismos vivos devuelve los sulfatos al océano, al suelo y a la atmósfera. (crédito: modificación del trabajo de John M. Evans y Howard Perlman, USGS)

El azufre entra en el océano a través de la escorrentía de la tierra, de la lluvia atmosférica y de las actividades humanas han desempeñado un papel importante en la alteración del equilibrio del ciclo global del azufre.

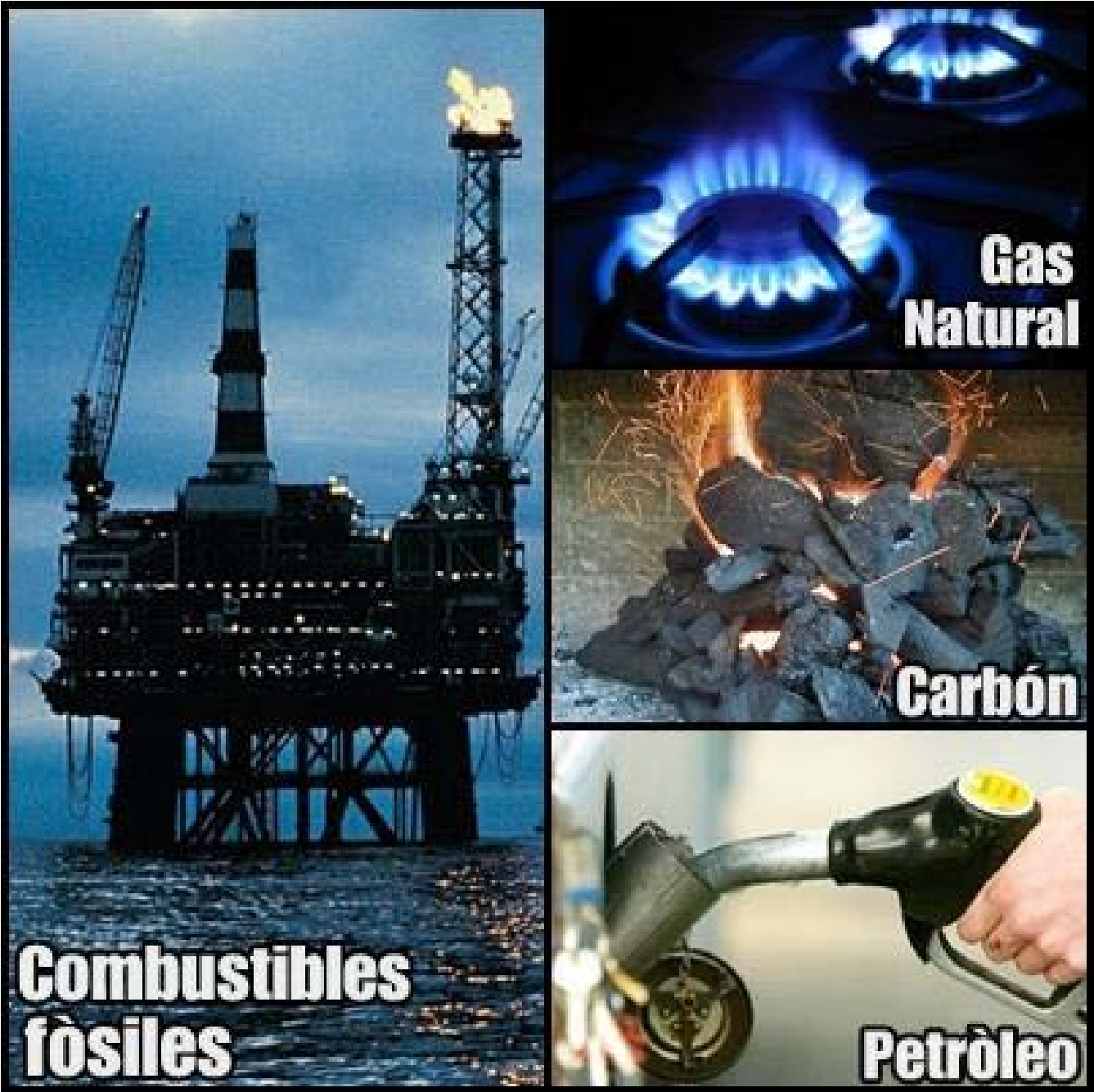
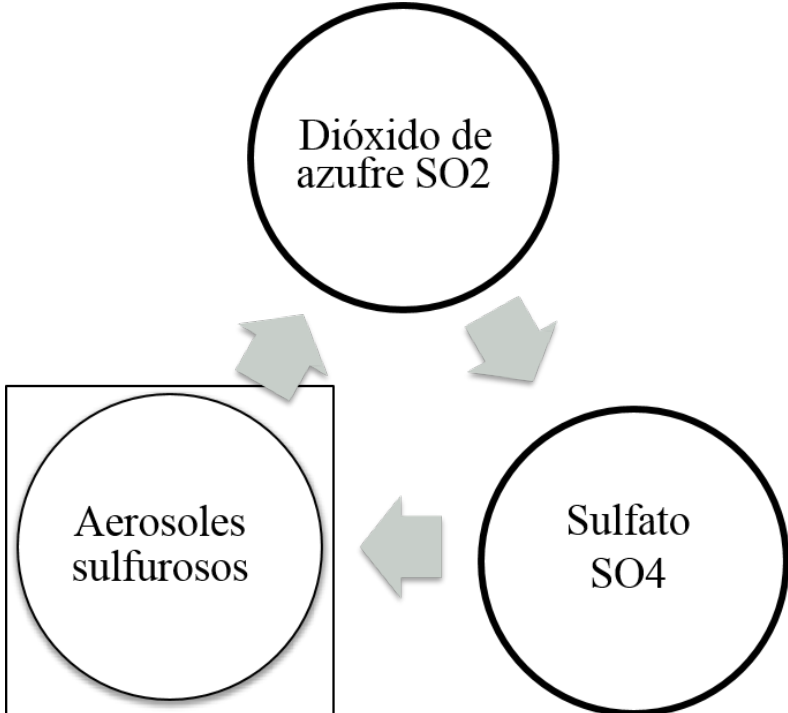
La quema de grandes cantidades de combustibles fósiles, especialmente del carbón, libera a la atmósfera grandes cantidades de gas sulfhídrico. Cuando la lluvia cae por este gas, crea el fenómeno conocido como lluvia ácida, que daña el entorno natural al bajar el pH de los lagos, matando así a muchas de las plantas y animales residentes.

La lluvia ácida es una lluvia corrosiva causada por el agua de lluvia que cae al suelo a través del gas de dióxido de azufre, convirtiéndola en ácido sulfúrico débil, que causa daños a los ecosistemas acuáticos. La lluvia ácida también afecta al entorno creado por el hombre a través de la degradación química de los edificios. Por ejemplo, muchos monumentos de mármol, como el Lincoln Memorial de Washington, DC, han sufrido importantes daños por la lluvia ácida a lo largo de los años.

Estos ejemplos muestran los amplios efectos de las actividades humanas en nuestro medio ambiente y los retos que quedan para nuestro futuro.

Los óxidos gaseosos de azufre son tóxicos en un grado variable, el uso de combustibles fósiles ha aumentado considerablemente la concentración de estos óxidos volátiles en la atmósfera.

Los efectos llegan hasta el punto de afectar, de manera adversa, componentes bióticos importantes y procesos de los ecosistemas



Las emisiones por combustión de carbón y escapes automotrices constituyen fuentes importantes de SO_2 y SO_4 y junto con otros son una fuente importante de expresiones venenosas de nitrógeno.

El dióxido de azufre es nocivo para la fotosíntesis, destruye la vegetación. Tanto los óxidos de azufre como los nítricos interaccionan con vapor de agua para producir gotitas de ácido sulfúrico y ácido nítrico diluido que caen a la Tierra en forma de lluvia ácida



Ciclo del Azufre

La mayor parte del azufre de la tierra está atrapado en rocas y sales o enterrado en las profundidades del océano en sedimentos oceánicos. El azufre también se puede encontrar en la atmósfera. Entra en la atmósfera a través de fuentes tanto naturales como antropogénicas. Naturales, por ejemplo, erupciones volcánicas u organismos en descomposición.

Cuando el azufre ingresa a la atmósfera a través de la actividad antropogénica, es una consecuencia de los procesos industriales.

Todas estas partículas volverán a asentarse en la tierra, o reaccionarán con la lluvia y volverán a caer sobre la tierra como deposición ácida.

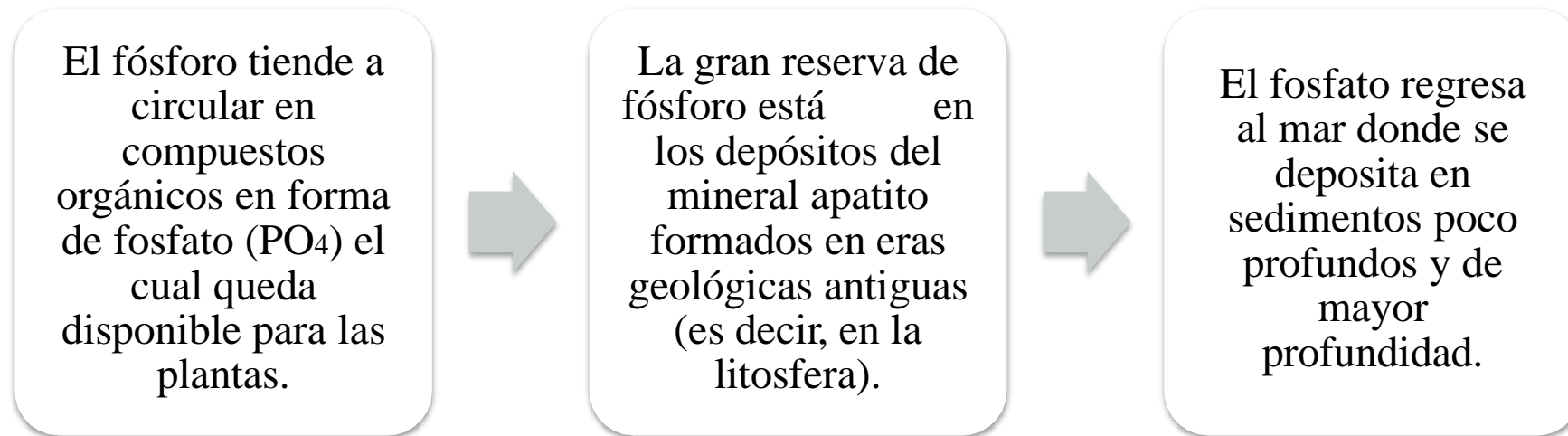
Las partículas luego serán absorbidas por las plantas y se liberarán nuevamente a la atmósfera, de modo que el ciclo del azufre comenzará de nuevo.

Las plantas absorben azufre cuando se disuelve en agua. Los animales consumen estas plantas, por lo que absorben suficiente azufre para mantener su salud.

El azufre es un nutriente importante para los organismos, siendo un ingrediente clave de ciertos aminoácidos, proteínas y otros bioquímicos.

Las plantas satisfacen sus necesidades nutricionales de azufre al recolectar compuestos minerales simples del medio ambiente.

2. Ciclo del fósforo



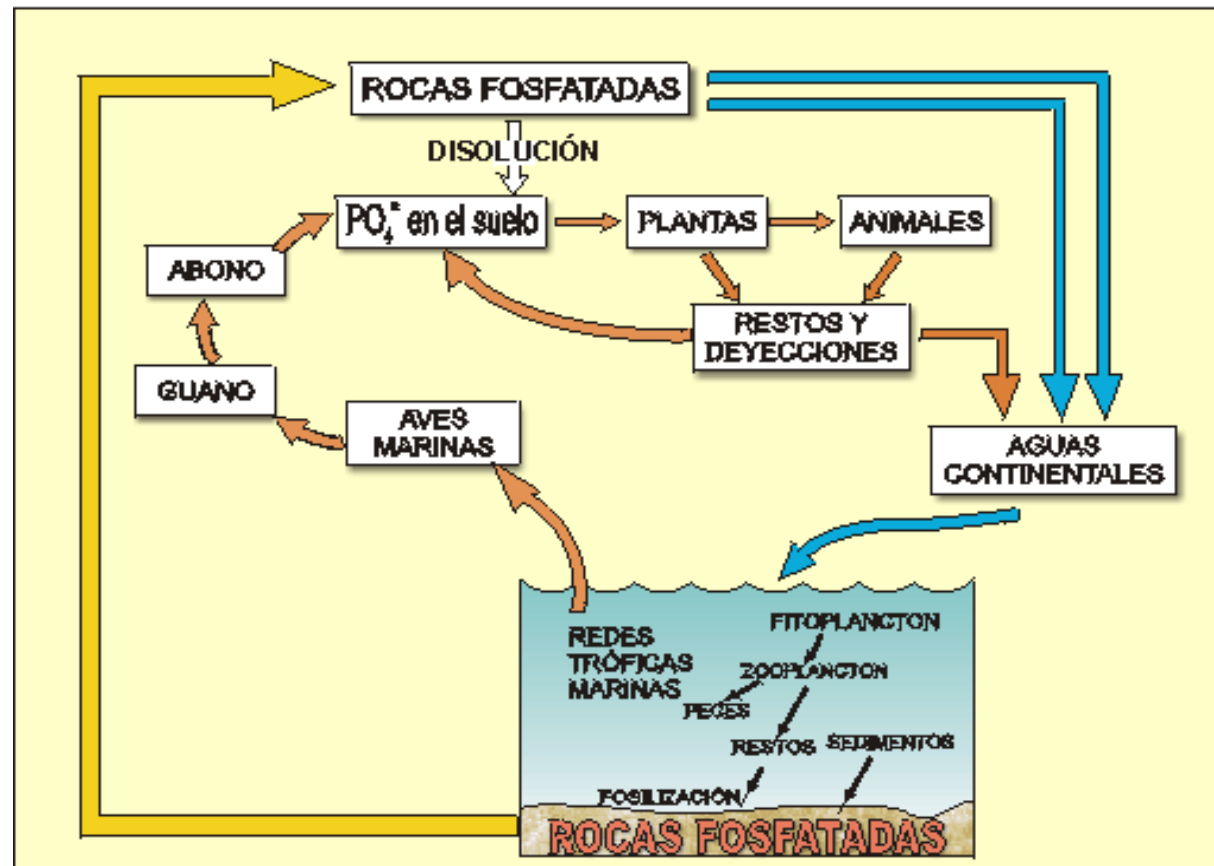
La mayor reserva de fósforo está en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas. El fósforo se encuentra en forma de fosfatos (sales) de calcio, hierro, aluminio y manganeso.

La lluvia disuelve los fosfatos presentes en los suelos y los pone a disposición de los vegetales. El lavado de los suelos y el arrastre de los organismos vivos fertilizan los océanos y mares. Parte del fósforo incorporado a los peces es extraído por aves acuáticas que lo llevan a la tierra por medio de la defecación (guano). Otra parte del fósforo contenido en organismos acuáticos va al fondo de las rocas marinas cuando éstos mueren. Las bacterias fosfatizantes que están en los suelos transforman el fósforo presente en cadáveres y excrementos en fosfatos disueltos, que son absorbidos por las raíces de los vegetales.

CICLO DEL FÓSFORO

La proporción de fósforo en la materia viva es bastante pequeña, sin embargo, es vital por el papel que desempeña. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN. Se encuentra presente en los huesos y piezas dentarias. En la fotosíntesis y en la respiración celular, muchas sustancias intermedias están combinadas con el fósforo, tal el caso del trifosfato de adenosina (ATP) que almacena energía. El fósforo es el principal factor limitante del crecimiento para los ecosistemas, porque su ciclo está muy relacionado con su movimiento entre los continentes y los océanos.

CICLO DEL FÓSFORO



El ciclo del fósforo

El fósforo es un nutriente esencial para los procesos vivos. Es un componente principal de los ácidos nucleicos y fosfolípidos y, como fosfato de calcio, constituye los componentes de sostén de nuestros huesos. El fósforo es a menudo el nutriente limitante (necesario para el crecimiento) en los ecosistemas acuáticos, particularmente de agua dulce.

El fósforo se encuentra en la naturaleza como ion fosfato (PO_4^{3-}). Además de la escorrentía de fosfato como resultado de la actividad humana, la escorrentía natural de la superficie ocurre cuando se lixivia por intemperismo de rocas que contienen fosfato, originalmente formadas en el océano, liberando fosfatos a ríos, lagos y océano. Los sedimentos oceánicos que contienen fosfato se forman principalmente a partir de los cuerpos de los organismos oceánicos y de sus excreciones. Sin embargo, la ceniza volcánica, los aerosoles y el polvo mineral también pueden ser fuentes importantes de fosfato. Este sedimento luego se mueve a la tierra durante el tiempo geológico por el levantamiento de la superficie de la Tierra. (La siguiente figura).

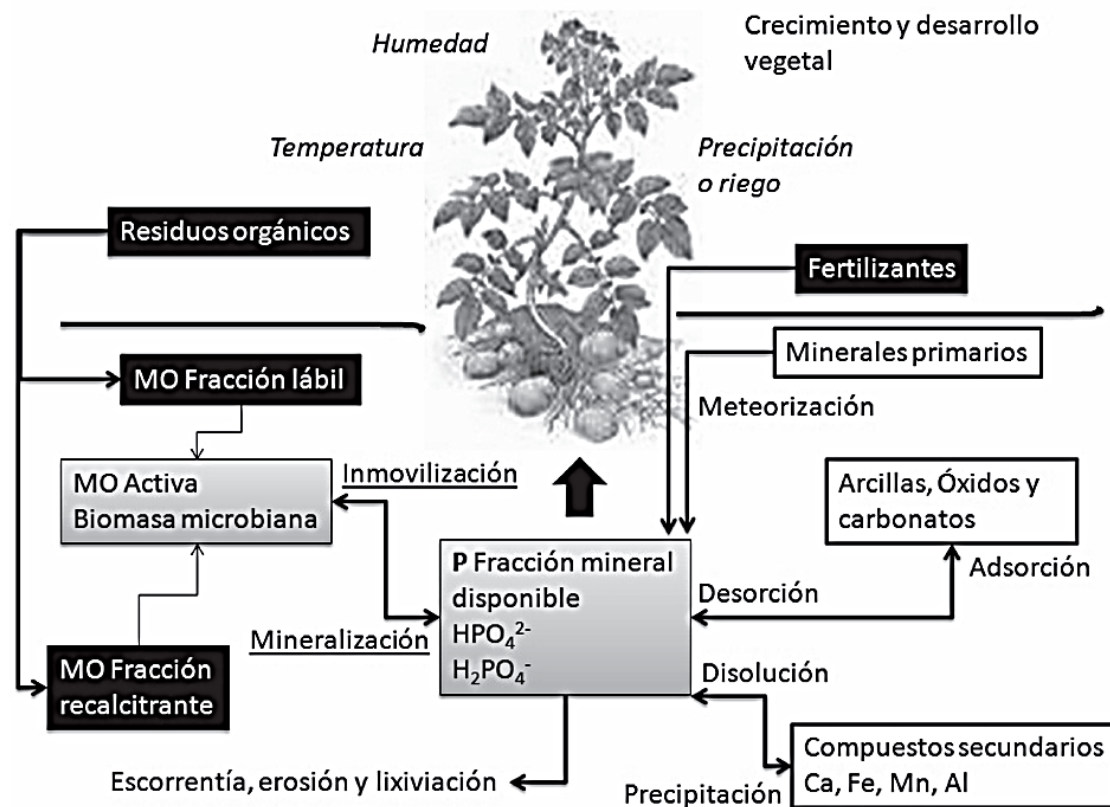
En la naturaleza, el fósforo existe como ion fosfato (PO_4^{3-}). La meteorización de las rocas y la actividad volcánica liberan fosfato en el suelo, el agua y el aire, donde se pone a disposición de las redes alimentarias terrestres.

El fosfato entra en los océanos a través de la escorrentía superficial, el flujo de las aguas subterráneas y el flujo de los ríos. El fosfato disuelto en el agua del océano entra en las redes alimentarias marinas.

Parte del fosfato de las redes alimentarias marinas cae al fondo del océano, donde forma sedimentos. (crédito: modificado del trabajo de John M. Evans y Howard Perlman, USGS)



La lluvia disuelve los fosfatos presentes en los suelos y quedan a disposición de la flora. La lixiviación de los suelos y transporte de los organismos vivos fertilizan los océanos. Parte del fósforo consumido por los peces es extraído por aves acuáticas que lo llevan al continente por medio de la defecación (guano). Otra parte del fósforo contenido en organismos acuáticos va al fondo del océano cuando estos mueren, para después convertirse en rocas sedimentarias marinas. Las bacterias fosfatizantes que están en los suelos transforman el fósforo presente en cadáveres y excrementos en fosfatos disueltos, que son absorbidos por las raíces de los vegetales.

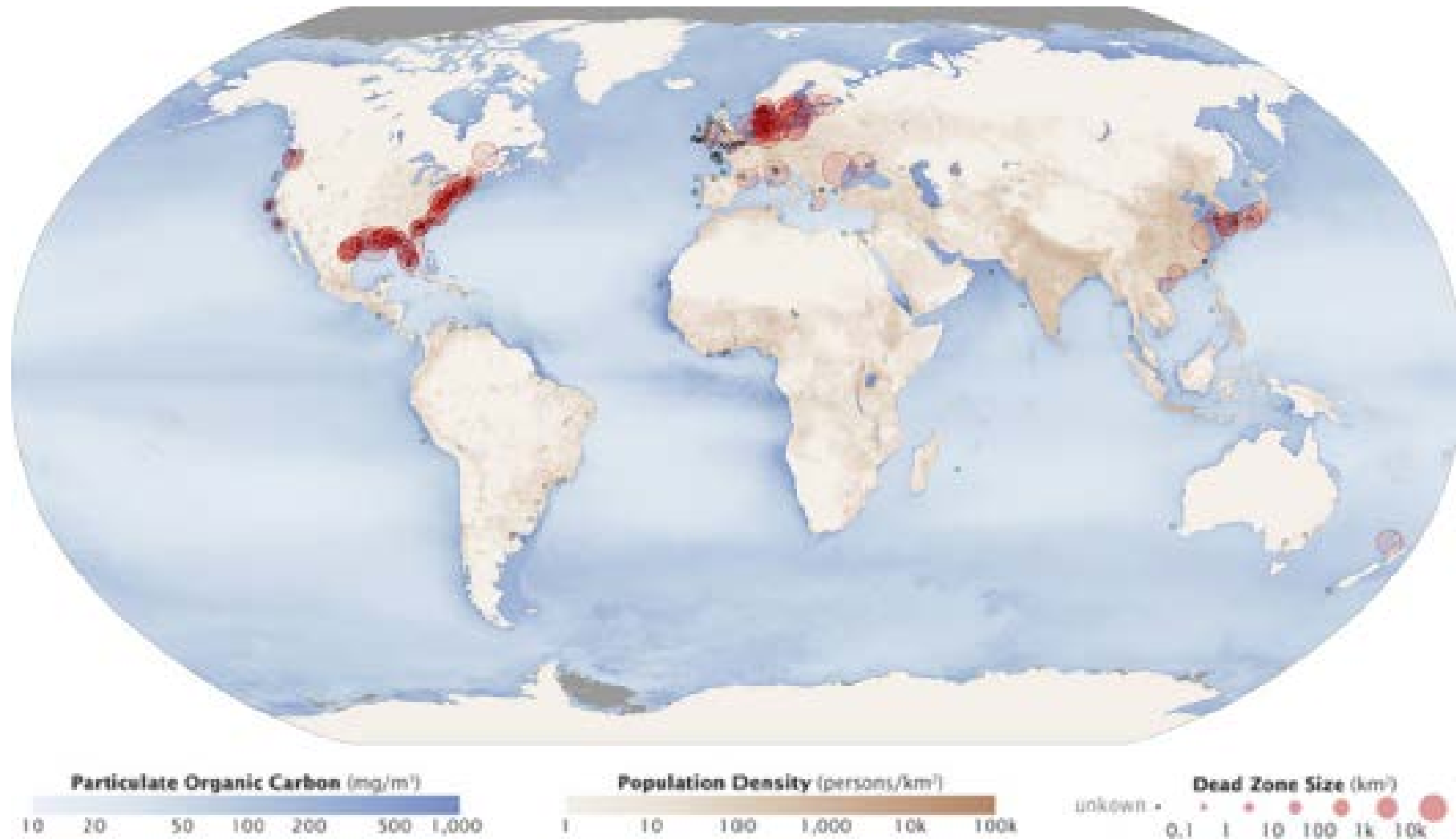


Relaciones entre el ciclo del fósforo y los reservorios orgánicos y minerales. Cuadros negros son entradas al sistema, los grises las fracciones disponibles, sin color las fracciones minerales; sin recuadro procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad de fósforo (MO: Materia orgánica).

El fósforo también se intercambia recíprocamente entre el fosfato disuelto en el océano y los organismos marinos. El movimiento del fosfato desde el océano a la tierra y a través del suelo es extremadamente lento, y el ión fosfato promedio tiene un tiempo de residencia oceánica entre 20.000 y 100.000 años.

El exceso de fósforo y nitrógeno que entra en estos ecosistemas a través de la escorrentía de los fertilizantes y de las aguas residuales provoca un crecimiento excesivo de las algas. La posterior muerte y descomposición de estos organismos elimina el oxígeno disuelto, lo que provoca la muerte de organismos acuáticos como los mariscos y peces. Este proceso es el responsable de las zonas muertas en los lagos y en la desembocadura de muchos ríos importantes y de la muerte masiva de peces, que suele producirse durante los meses de verano (*ver la figura en la siguiente diapositiva*).

Una zona muerta es un área de los lagos y océanos cercana a la desembocadura de los ríos en la que grandes zonas quedan periódicamente desprovistas de su flora y fauna normales. Estas zonas están causadas por la eutrofización, junto con otros factores como los vertidos de petróleo, los productos químicos tóxicos y otras actividades humanas. El número de zonas muertas ha aumentado durante varios años, y en 2008 había más de 400 de estas zonas. Una de las peores zonas muertas se encuentra frente a la costa de Estados Unidos en el Golfo de México: la escorrentía de fertilizantes de la cuenca del río Misisipi creó una zona muerta de más de 8.463 millas cuadradas. La escorrentía de fosfatos y nitratos procedentes de los fertilizantes también afecta negativamente a varios ecosistemas de lagos y bahías, como la de Chesapeake, en el este de Estados Unidos



Las zonas muertas se producen cuando el fósforo y el nitrógeno de los fertilizantes provocan un crecimiento excesivo de microorganismos, lo que agota el oxígeno y aniquila la fauna. En todo el mundo, se encuentran grandes zonas muertas en áreas costeras de alta densidad de población. (crédito: Observatorio de la Tierra de la NASA)

CICLO DEL CALCIO

El calcio está presente principalmente en forma de roca, minerales o calcio estructural incorporado en las redes de cristales minerales, en partículas del suelo y no está fácilmente disponible. El calcio también se puede agregar como fertilizante, cal o subproductos. El agua puede transportar calcio al suelo a través de la intemperie y la disolución natural.

Con el calcio se produce fertilizante de calcio (Subproducto de origen orgánico o fabricado)

Se aplica fertilizante de calcio. (puede ocurrir intemperismo y disolución)

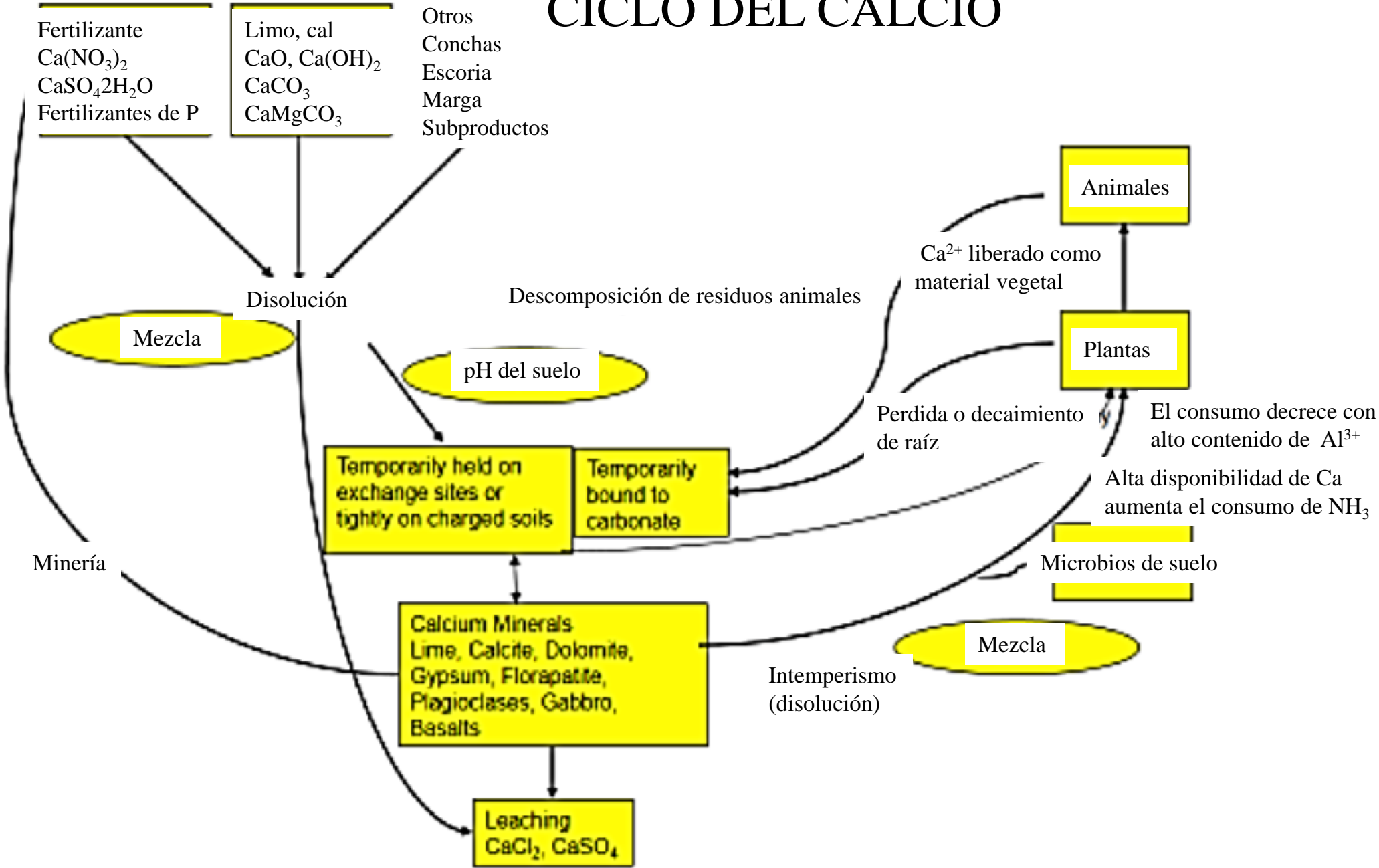
Retenido temporalmente en CEC o ligado como mineral del suelo. (CEC: Complejo de intercambio catiónico)

Se produce la absorción de las plantas (el calcio es un nutriente esencial para los cultivos, asegura la formación y división celular adecuadas, algunos de los muchos beneficios del calcio)

Las plantas se descomponen o se digieren (los animales digieren otras plantas)

El calcio se recicla en forma mineral.

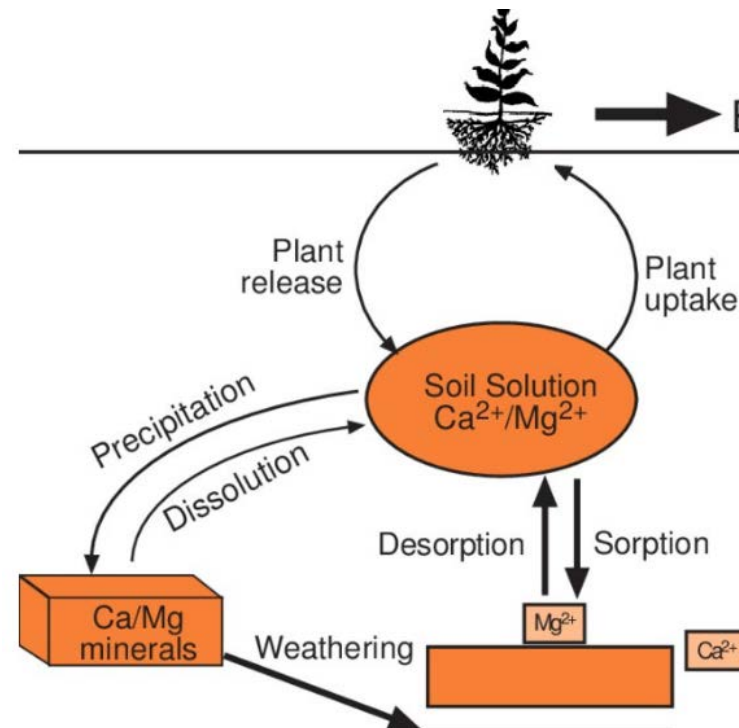
CICLO DEL CALCIO



En el reino vegetal, el calcio se conoce como un macronutriente secundario debido a la cantidad que necesita una planta en relación con el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

El calcio se une al magnesio y al azufre en esta clase de nutrientes secundarios.

En las plantas, el calcio es necesario para la rigidez celular, así como para la mitosis normal y la función de la membrana. El calcio tiene algunas funciones similares en microorganismos y mamíferos, además de desempeñar un papel importante en la estructura ósea y desarrollo de caparzones y cascara de huevo.



El calcio es un macronutriente para las plantas, ayuda a la absorción del magnesio, almacenamiento de fosfatos, fundamental en la fotosíntesis y traslado de azúcar en los sistemas. Asimismo, en los animales para el mantenimiento de sus huesos y dientes; metabolización de alimentos, permeabilidad de la membrana celular y coagulación sanguínea.

Por otro lado, la alteración del ciclo del calcio repercute en el cuerpo humano, ya que el mismo activa la contracción, relajación muscular, insuficiencia cardíaca, cáncer de colon, tetania, hipertensión arterial y deformaciones. Finalmente, el impacto del ser humano sobre el ciclo del Calcio; se ve afectado con el problema de la contaminación ambiental en los diferentes cuerpos de agua, ríos, arroyos y mares. Asimismo, la modificación de los ecosistemas y los principales recursos naturales.

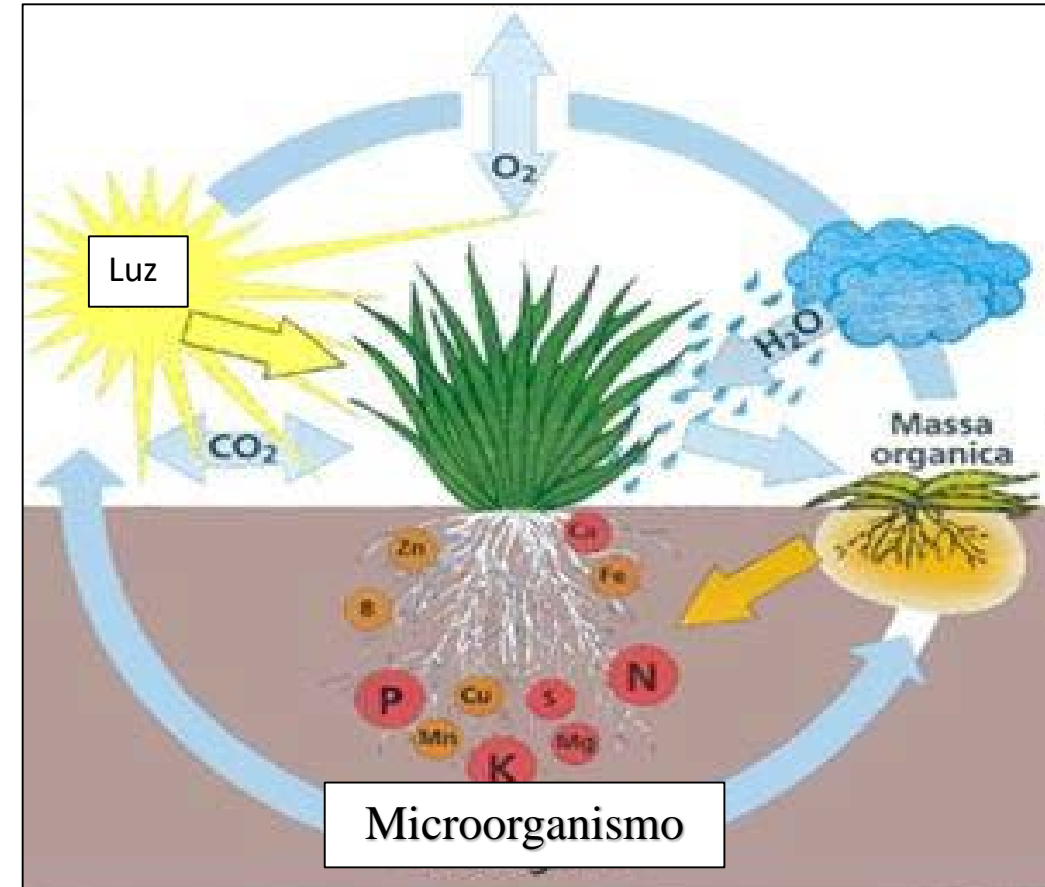
El ciclo del calcio es un ciclo sedimentario y su función básica es que el calcio es un elemento que circula entre los organismos vivos y el medio y también es un mineral de la litosfera carbonatada que emergen desde las profundidades marinas por levantamientos geológicos. El ciclo del calcio se relaciona con el ciclo del carbono y fósforo ya que hay rocas que contienen restos fosforizados de animales marinos que tienen calcio. Los agentes atmosféricos descomponen a las rocas llevando el calcio al suelo a ríos o mar y así es de vuelta es absorbido por las plantas y los animales. El calcio es componente químico forma de depósitos de cuevas, que se incorpora en la agua dulce y después consumido por algas unicelulares, que al morir liberan calcio a los ríos. El calcio es un ciclo sedimentario no gaseoso sin participación en la atmósfera.

CICLO DEL CALCIO

Un método para almacenar el ciclo de calcio es la circulación del calcio entre los organismos vivos y el medio. El calcio es un mineral que se encuentra en la litosfera formando grandes depósitos de origen sedimentario, que emergieron de fondos marinos por levantamientos geológicos. En su mayoría, estas rocas, contienen restos fosilizados de animales marinos con caparazones ricos en calcio; en mineralogía se le conocen como roca caliza.

La lluvia y los agentes atmosféricos descomponen las rocas calizas, arrastrando los iones de calcio y otros elementos a suelos, ríos y océanos. En este recorrido, el calcio es absorbido por las plantas y animales, en cualquier punto del ciclo, ya sea por la cadena alimenticia o por absorción del agua.

Luego este es adsorbido por la biosfera que al morir, los descomponedores liberan el calcio, este vuelve al suelo, los ríos hacen que este llegue al fondo de los océanos y finalmente en largos periodos, emerge en formas de rocas sedimentarias carbonatadas.



Dependencia de la biosfera/Impacto antropogénico

El calcio, el sodio, el magnesio y el potasio (junto con el fósforo y el azufre) con frecuencia se agregan a la lista de macronutrientes, debido a que se requiere en grandes cantidades en comparación con otras vitaminas y minerales.

Los seres humanos dependen de estos macronutrientes para el crecimiento y dependen de las plantas que utilizan estos minerales para la alimentación, el crecimiento y la reproducción.

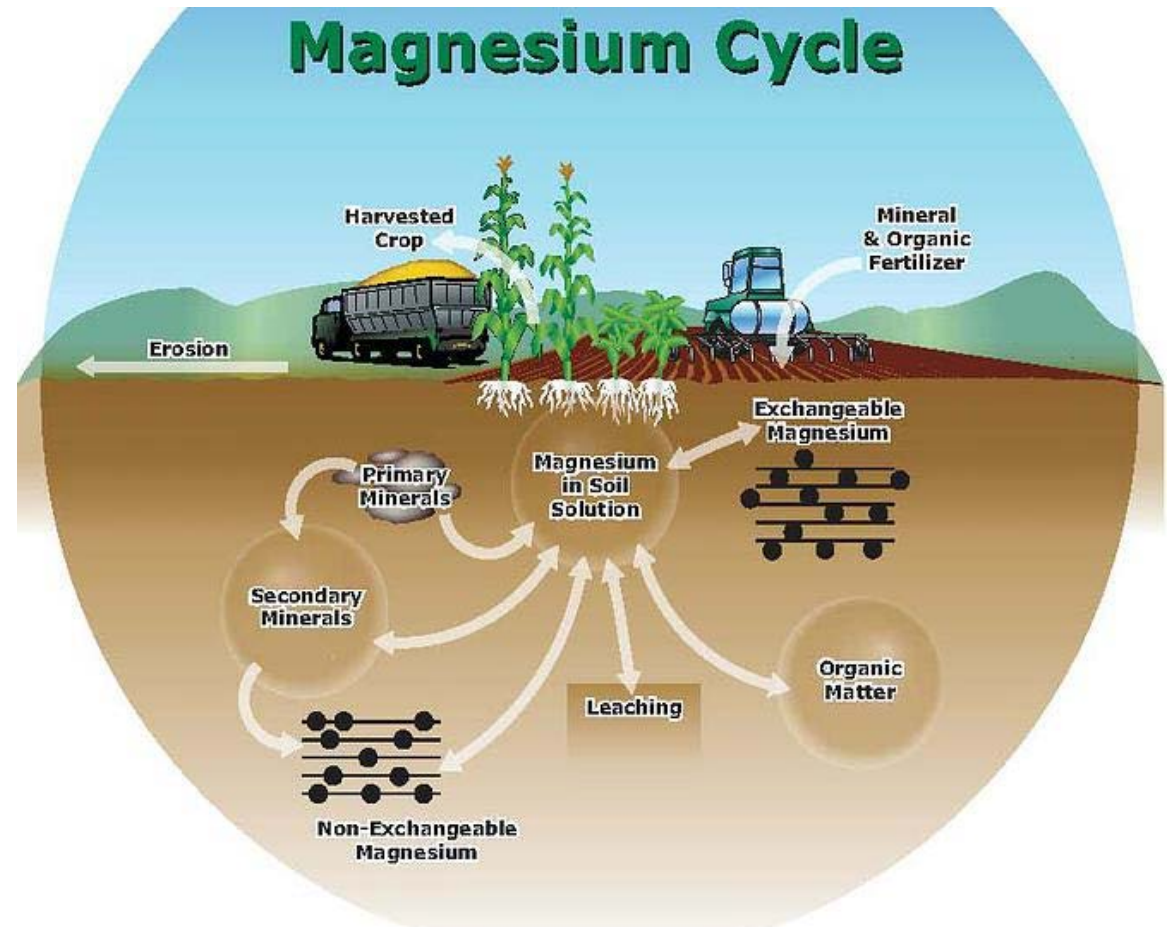
Al utilizar en agricultura estos elementos como fertilizantes y otros usos, los humanos agotan este recurso no renovable con el tiempo.

Es importante reponer las cantidades de minerales, o el suelo se volverá estéril para el crecimiento de nuevas plantas.

El magnesio se encuentra en altas concentraciones en rocas carbonatadas (caliza, dolomía) y mármol.

Con el avance en el tiempo de la meteorización de las partículas de roca, las partículas de magnesio se liberan lentamente en el suelo.

Las plantas absorben los nutrientes del suelo, incluido el magnesio. Una vez que las plantas se descomponen, las partículas de magnesio se liberan en forma no gaseosa.



CICLO DEL MAGNESIO

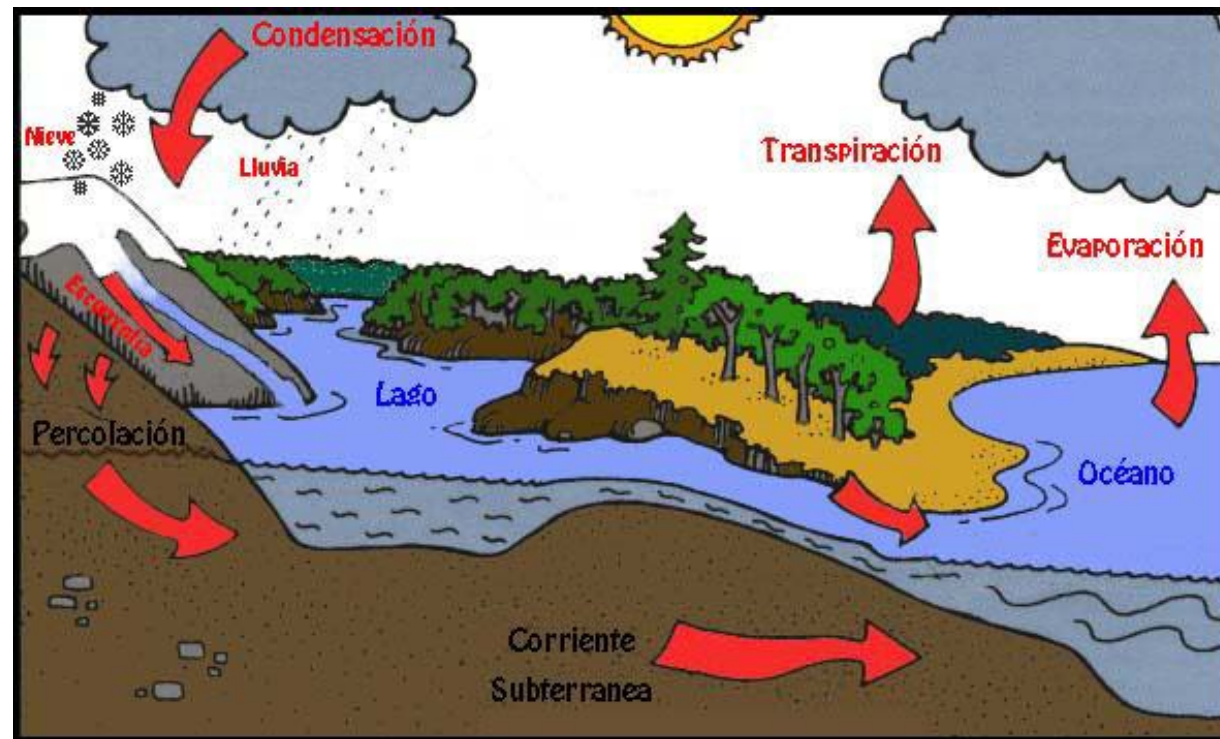
El Mg en las plantas se encuentra en contenidos menores al de Ca (0.15-0.75% de Materia seca). Este nutriente forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis. Cumple un rol en la síntesis de aceites y proteínas y la actividad de enzimática del metabolismo energético. Es más común la deficiencia de Mg que la de Ca, aun a niveles de pH apropiados. El síntoma de deficiencia más característico se ve como clorosis internara en las hojas viejas, al ser un elemento móvil en la planta a diferencia del calcio. Es muy común la deficiencia de Mg en suelos arenosos o suelos de baja CIC.

FORMAS DE MAGNESIO EN EL SUELO

- Magnesio contenido en minerales (primarios y secundarios)
- Magnesio intercambiable: representa la fracción sorbida al complejo de cambio arcillo húmico
- Magnesio en solución: se encuentra en pequeñas cantidades pero hay una rápida reposición a partir de la fase de cambio.

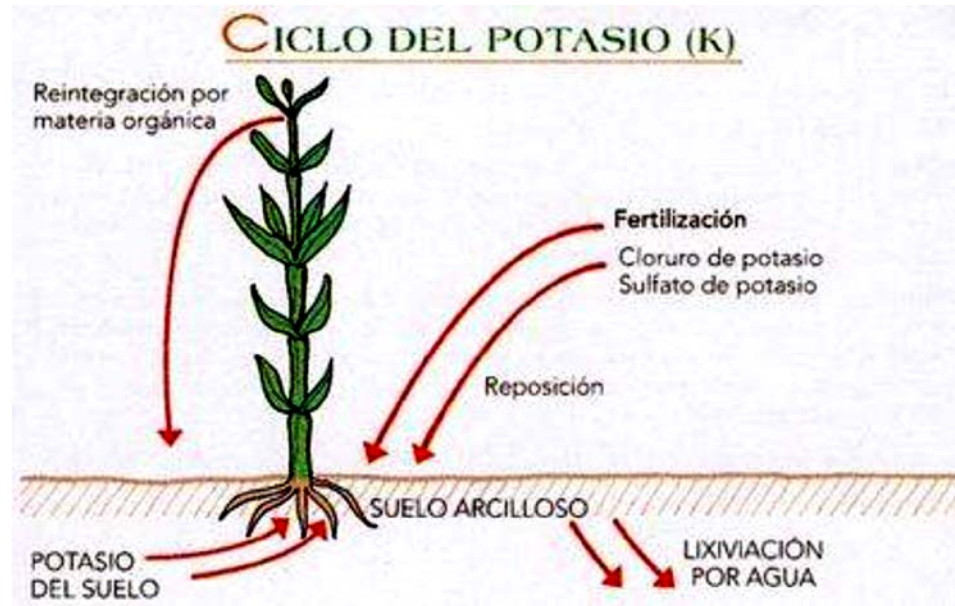
CICLO DEL SODIO

El sodio es el sexto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, es por esto y por la solubilidad de sus sales, que casi siempre está presente en la mayoría de las aguas naturales. su cantidad puede variar desde muy poco hasta valores apreciables. Altas concentraciones de sodio de sodio se encuentran en las salmueras y en las aguas duras que han sido ablandadas con el proceso de intercambio ciclo sodio. la relación entre sodio y los catones totales es de importancia en la agricultura y en la patología humana. La permeabilidad de los suelos, es afectada negativamente cuando se riega con agua de alta relación de sodio. A las personas que tienen una alta presión arterial, se les recomienda ingerir agua. el sodio esta presente en grandes cantidades en el océano en forma iónica.



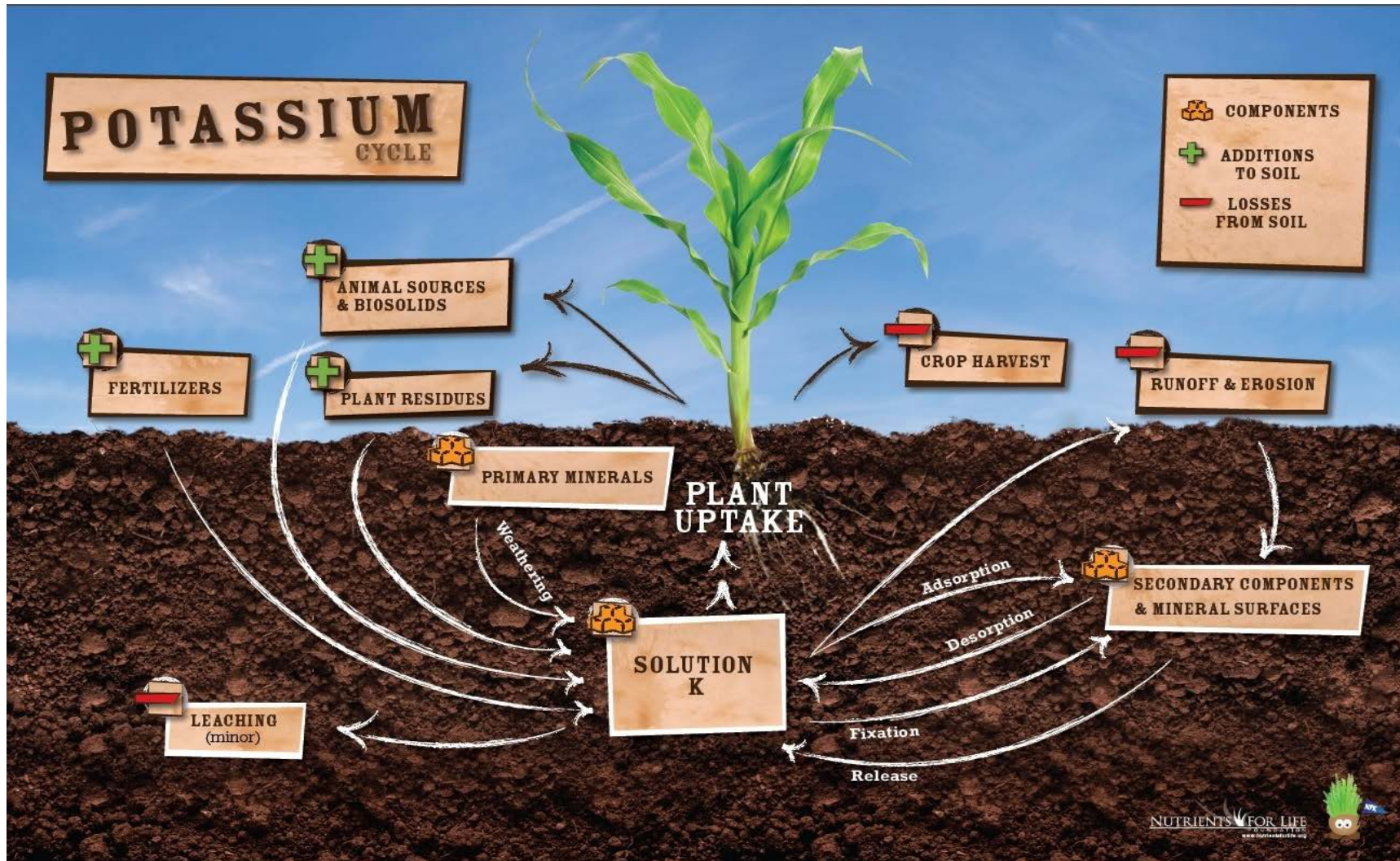
CICLO DEL POTASIO

El potasio (K) es un elemento esencial para las plantas, los animales y los humanos por que intervienen en los procesos de la fotosíntesis, en procesos químicos dentro de las células y contribuye en mantener el agua en las células. es por esto que el potasio, junto con el nitrógeno y el fósforo son elementos esenciales para los seres vivos.



El potasio se encuentra en forma natural en el suelo, especialmente en los suelos ricos en arcillas, que contienen hasta un 3% en los suelos pantanosos, mientras que los pobres en arcilla el contenido de potasio es menor y puede ser deficitario, originando problemas en los cultivos. Los compuestos de potasio del suelo son lixiviados con facilidad en las zonas de altas precipitaciones y, en consecuencia, deben ser restituidos a los campos por fertilización añadiendo cloruro de potasio o sulfato de potasio. ciertos cultivos (alfalfa, zanahorias, pepinos y coles) son muy exigentes en potasio y no prosperan en suelos pobres de dicho elemento

El potasio es un elemento de las plantas los animales y seres vivos por que hacen parte del proceso de la fotosíntesis es por eso que todos los ciclos junto al potasio son esenciales para los seres vivos. En la agricultura moderna se aplica compuestos de potasio a los suelos para aumentar las plantas y productos y también depende de cuánto se aplica, debiendo ser controlado al aplicar en exceso el cultivo puede verse afectado.



El potasio se forma en estructuras cristalinas, como mica y feldespato.

Entonces se convierte en K intercambiable y entra al suelo en forma de iones.

Así las plantas absorben al potasio, que es un nutriente esencial para las plantas y se requiere en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción adecuada de las plantas.

Cuando los humanos cosechan a las plantas, el potasio no se repone.

Cuando las plantas se descomponen, se agrega fertilizante al suelo y los animales pueden incluso volver a agregar potasio al ciclo.

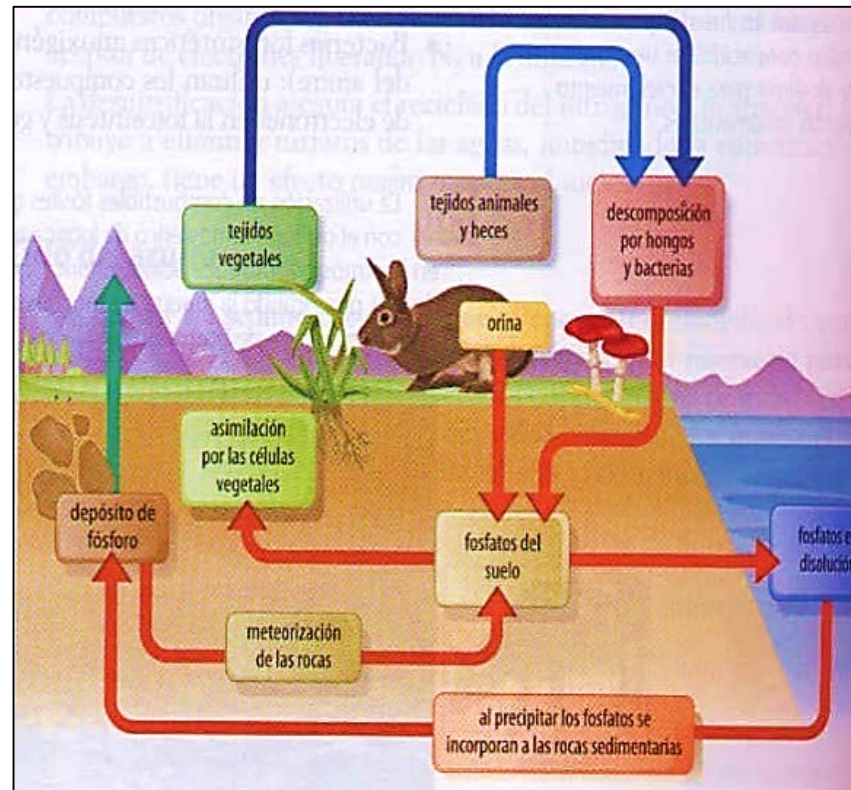
El potasio se conoce por ayudar y mejorar la resistencia a la sequía.

La síntesis de proteínas y almidón en las plantas también requiere potasio. El potasio es esencial en casi todos los pasos de la síntesis de proteínas. En la síntesis de almidón, el potasio activa la enzima responsable del proceso.

Activación de enzimas: el potasio tiene un papel importante en la activación de muchas enzimas relacionadas con el crecimiento en las plantas.

El Hierro (Fe) se encuentra en la Litosfera en dos estados, el férrico Fe^{3+} y ferroso Fe^{2+} . Este bioelemento es utilizado por distintos seres vivos para formar las cadenas de citocromos y asociado a proteínas de transporte, como la Hemoglobina. Ciertas bacterias anaerobias (Arqueobacterias) que viven en ambientes pantanosos, pobres en oxígeno, reducen el hierro férrico Fe^{3+} a ferroso Fe^{2+} que es asimilado por otros seres vivos ya que es más soluble. En ambientes con oxígeno el catión ferroso pasa de forma espontánea a férrico. Estas reacciones son importantes tanto para los compuestos orgánicos que contienen hierro como para los compuestos inorgánicos de dicho elemento.

Prácticamente todos los microorganismos con la excepción de determinados lactobacilos necesitan hierro, que es utilizado como cofactor por muchas enzimas metabólicas y proteínas reguladoras debido a su capacidad de existir en dos estados. En ambientes con oxígeno el catión ferroso pasa de forma espontánea a férrico



Otros ciclos biogeoquímicos

Más allá de su participación en los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre, los *procariotas* también participan en otros ciclos biogeoquímicos. Algunos de estos también se basan en reacciones OxiRed. En ejemplos de los ciclos de *hierro (Fe)*, *manganeso (Mn)* y *chromo (Cr)*, las bacterias *litotrofas* (*Un litotrofo es un microorganismo que utiliza sustratos inorgánicos como fuente de donantes de electrones para impulsar la adquisición de energía, utilizando carbono orgánico o dióxido de carbono como fuente de carbono para la construcción de materiales celulares*) y *arqueas* oxidan compuestos inorgánicos, mientras que las bacterias anaerobias y las arqueas utilizan los productos oxidados como aceptores terminales de electrones, regenerando la forma reducida.

Lithotroph significa devorador (*troph*) de rocas (*lithos*) y los representantes se encuentran tanto en los dominios bacterianos como en los arqueas. Actualmente no se conocen organismos multicelulares que sean capaces de utilizar compuestos inorgánicos como fuente de energía, aunque pueden ganar energía a partir de simbiosis con litotrofos.

Varios otros elementos experimentan ciclos químicos que no involucran química redox. Ejemplos de estos son los ciclos de fósforo (P), calcio (Ca) y sílice (Si). Los ciclos de estos elementos son particularmente importantes en los océanos porque grandes cantidades de estos elementos se incorporan en los exoesqueletos de los organismos marinos.

Estos ciclos biogeoquímicos no se basan exclusivamente en la química de OxiRed; Las fluctuaciones en la solubilidad de compuestos que contienen calcio, fósforo y sílice también son aspectos críticos. El crecimiento excesivo de comunidades microbianas que ocurren naturalmente está típicamente limitado por la disponibilidad de nitrógeno (como se mencionó anteriormente), fósforo y hierro. Las actividades humanas que introducen cantidades excesivas de hierro, nitrógeno o fósforo (generalmente de los detergentes) pueden conducir a *eutrofización*.

El reciclado de materia inorgánica entre organismos vivos y su entorno o ambiente *no vivo*, se llama *ciclo biogeoquímico*. Es importante tener en cuenta que los *microbios juegan un papel importante en estos ciclos*, lo cual a continuación se aborda con algunos ejemplos.

En el ciclo del carbono, los *heterótrofos* degradan moléculas orgánicas reducidas para producir dióxido de carbono CO₂, mientras que los *autótrofos* fijan el CO₂ para producir compuestos orgánicos. *Los metanógenos* suelen formar metano mediante el uso de CO como aceptor final de electrones durante la respiración anaeróbica; *Los metanotrofos* oxidan el metano, utilizándolo como su fuente de carbono.

En el ciclo del nitrógeno, las bacterias fijadoras de nitrógeno y las arqueas (*los diazotrofos*) convierten el nitrógeno atmosférico en amoníaco, que se incorpora inmediatamente a las reacciones biosintéticas celulares. En la reacción inversa, *amonificación*, los desechos que contienen N son oxidados por *heterótrofos*, liberando amoníaco. Luego, el amoníaco puede oxidarse a nitrito y nitrato (*nitrificación*) por bacterias *litotróficas y archaea*.

Los nitratos son una fuente biodisponible de nitrógeno biosintético para diversas formas de vida, incluidas las plantas. Finalmente, las *bacterias anaeróbicas* y las *arqueas* convierten el nitrato de nuevo en gas nitrógeno N₂ a través de la respiración anaeróbica o desnitrificación. Por lo tanto, el nitrato se reduce, ya sea en reacciones de *asimilación* o en reacciones de *desasimilación*.

En el ciclo del azufre, algunas de las bacterias *fototróficas* anoxigénicas, así como ciertas bacterias *litotróficas* y *arqueas*, utilizan sulfuro de hidrógeno (H₂S) como donador de electrones, produciendo azufre elemental y después sulfato. Así como el nitrato, el sulfato es una fuente de azufre biodisponible y puede reducirse mediante ciertas reacciones biosintéticas de *asimilación* (*asimilatorias*). Alternativamente, las *bacterias reductoras* de sulfato y las *arqueas* pueden usar sulfato como aceptor final de electrones en la respiración anaeróbica, una reacción de *desasimilación* (*desasimilatoria*), convirtiéndolo de nuevo en sulfuro de hidrógeno **H₂S**.

Las actividades humanas que introducen cantidades excesivas naturalmente limitadas en nutrientes (como hierro, nitrógeno o fósforo) a los sistemas acuáticos que pueden conducir a la *eutrofización*.

Los *xenobióticos* son compuestos orgánicos sintéticos que frecuentemente son contaminantes ambientales. La *biorremediación microbiana de xenobióticos* puede implicar el uso de *microbios nativos o no nativos* para degradar los contaminantes, y puede realizarse *in-situ* o *ex-situ* en biorreactores. En algunos casos, los microbios han sido diseñados para degradar el contaminante, sin embargo, con mayor frecuencia, los microbios han desarrollado la capacidad de degradar el *xenobiótico* como resultado de la exposición prolongada a un contaminante.