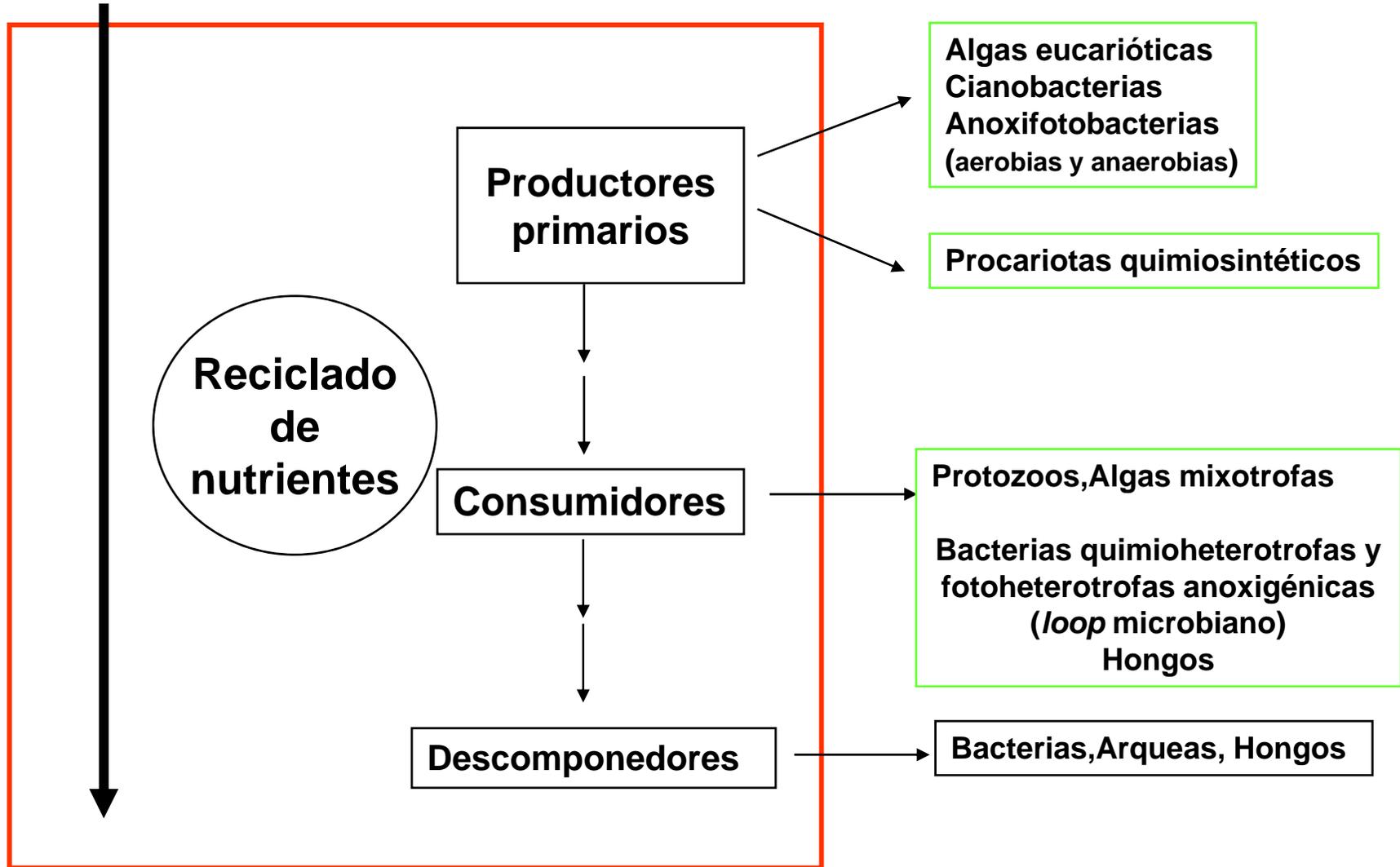
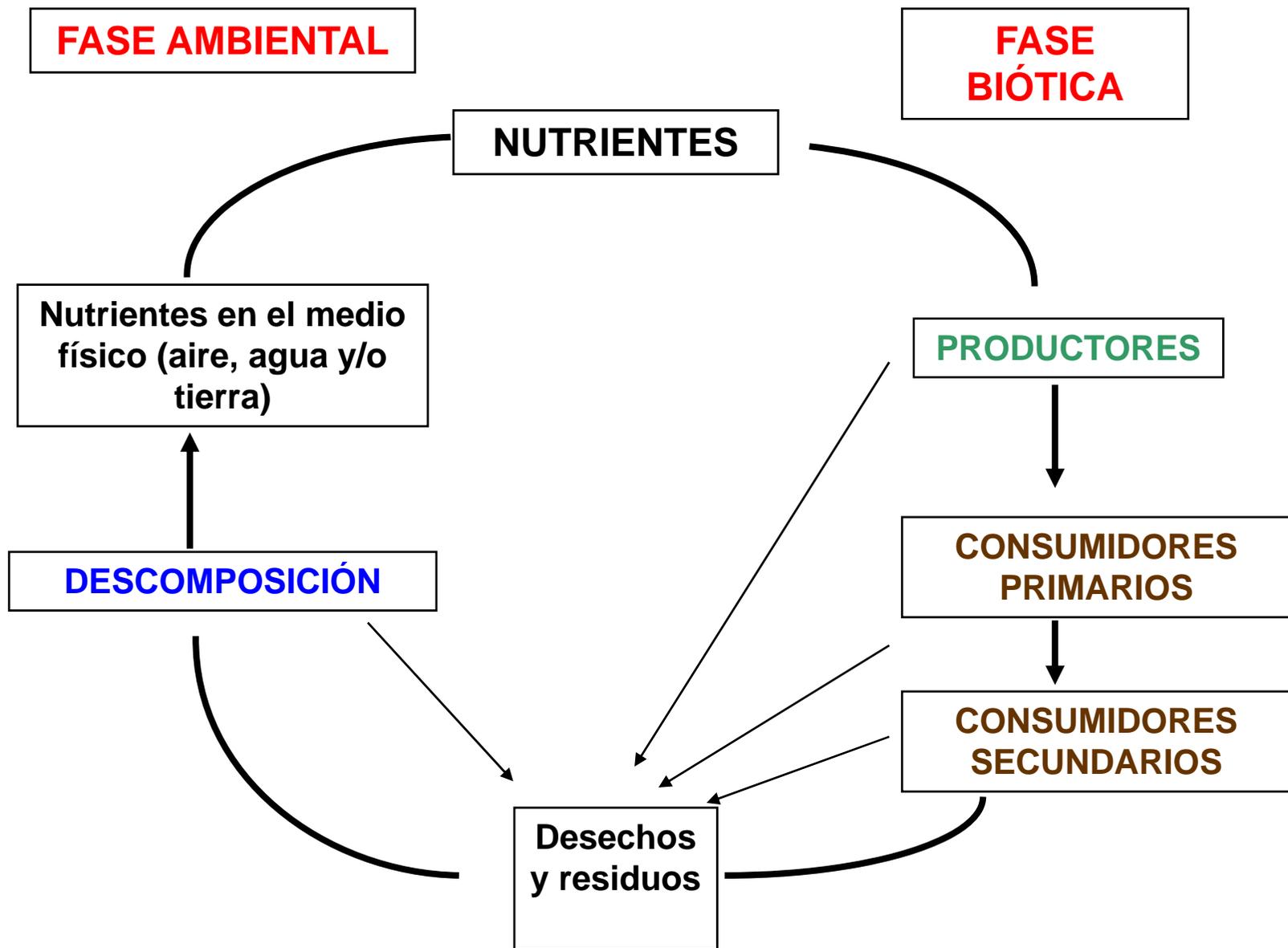


LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Flujo de energía





Los **ciclos biogeoquímicos** describen el movimiento y la conversión de materiales por actividades bioquímicas mediante los cuales los elementos circulan por vías características entre la parte biótica y abiótica de la ecosfera

Los ciclos biogeoquímicos incluyen transformaciones **Físicas:**

Disolución

Precipitación

Volatilización

Fijación

Y transformaciones **Químicas:**

Biosíntesis

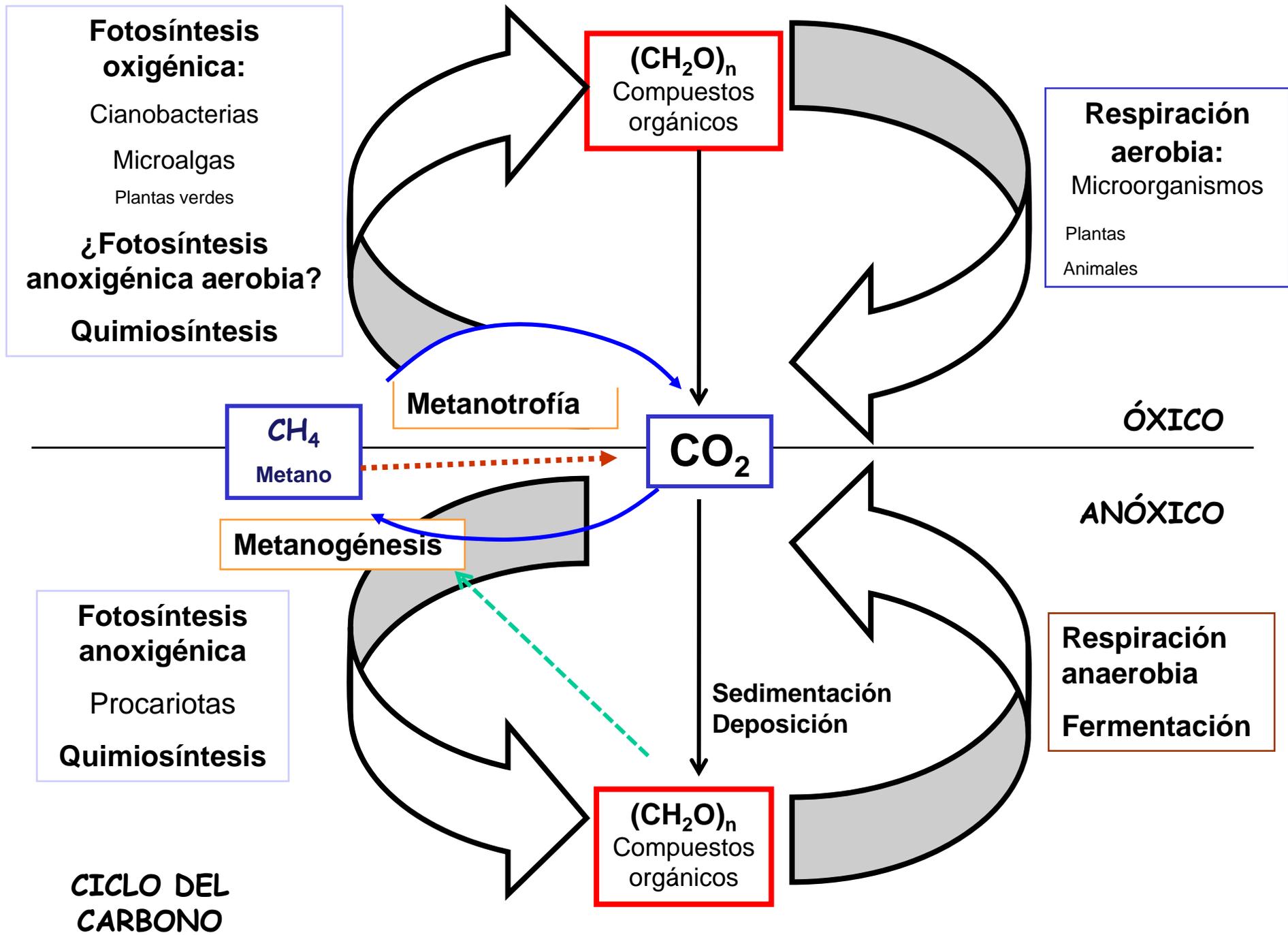
Biodegradación

Bio/transformaciones óxido-reductoras

Ciclo del Carbono

Reservorios:

- ❖ **Sedimentos**
- ❖ **Rocas Carbonatadas**
- ❖ **Humus del suelo**
- ❖ **Combustibles fósiles**
- ❖ **Biomasa**
- ❖ **Gaseoso**

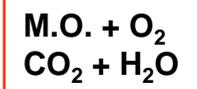


CICLO DEL CARBONO

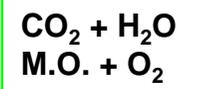
CONSUMIDORES=HETERÓTROFOS

PRODUCTORES=AUTÓTROFOS

RESPIRACIÓN AEROBIA

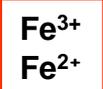
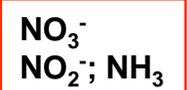
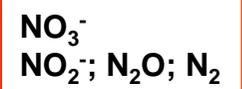
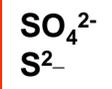


FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA

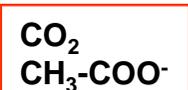


RESPIRACIÓN ANAEROBIA

M.O.+



CO₂ +



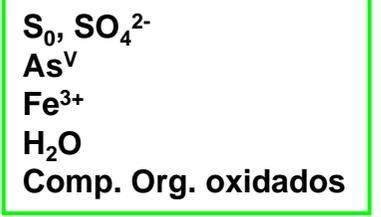
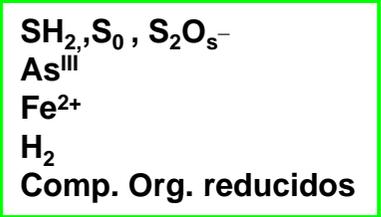
FERMENTACIÓN



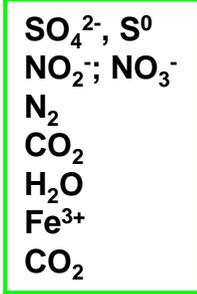
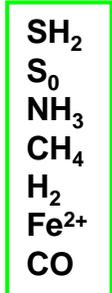
FOTOSÍNTESIS ANOXIGÉNICA

CO₂ +

M.O.+



QUIMIOSÍNTESIS



CO₂

M.O.



METANO

Metanogénesis



Metanotrofía



(bacterias en interfase)

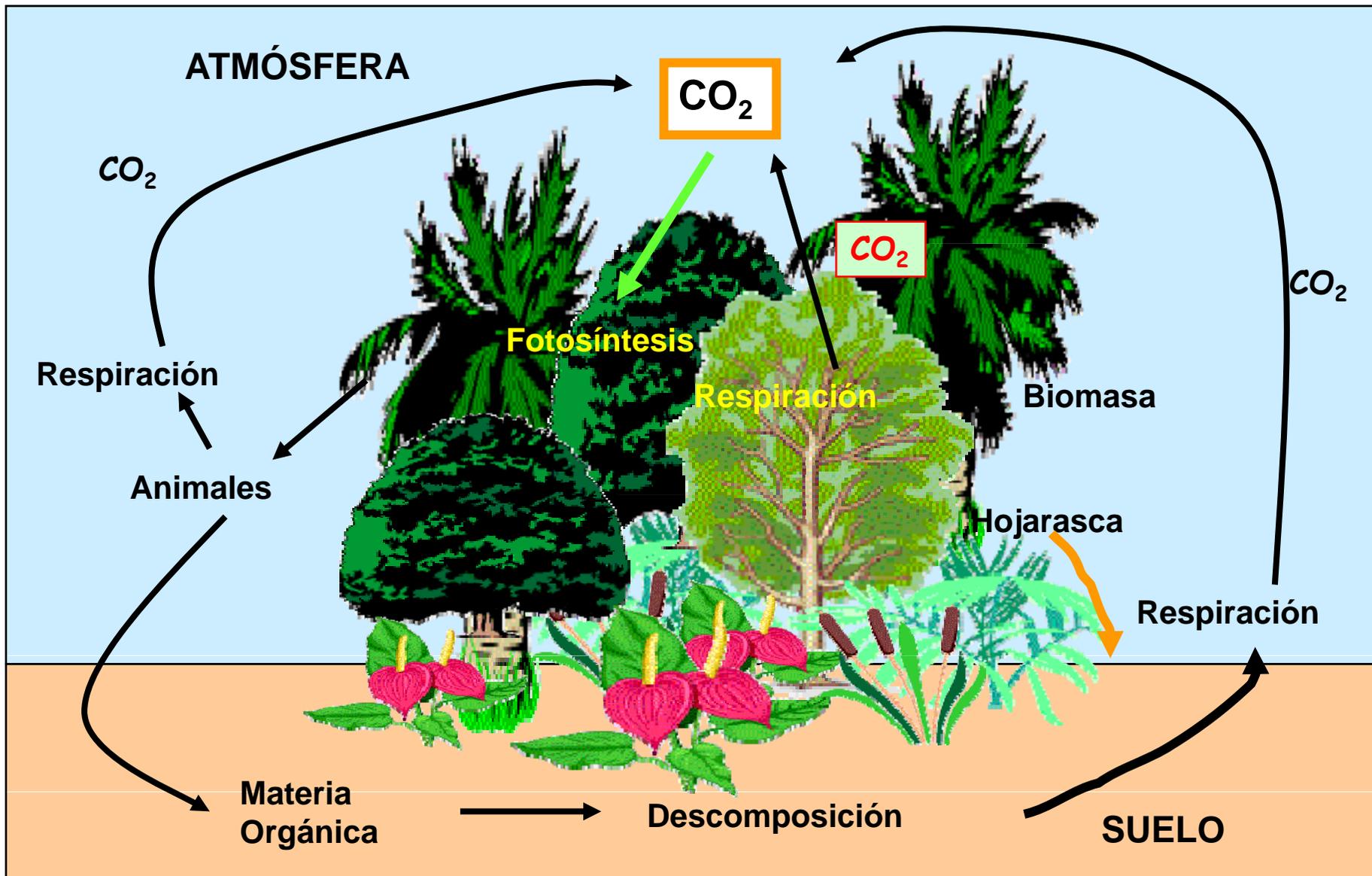


(arquea+bacteria, en anoxia, medio marino)

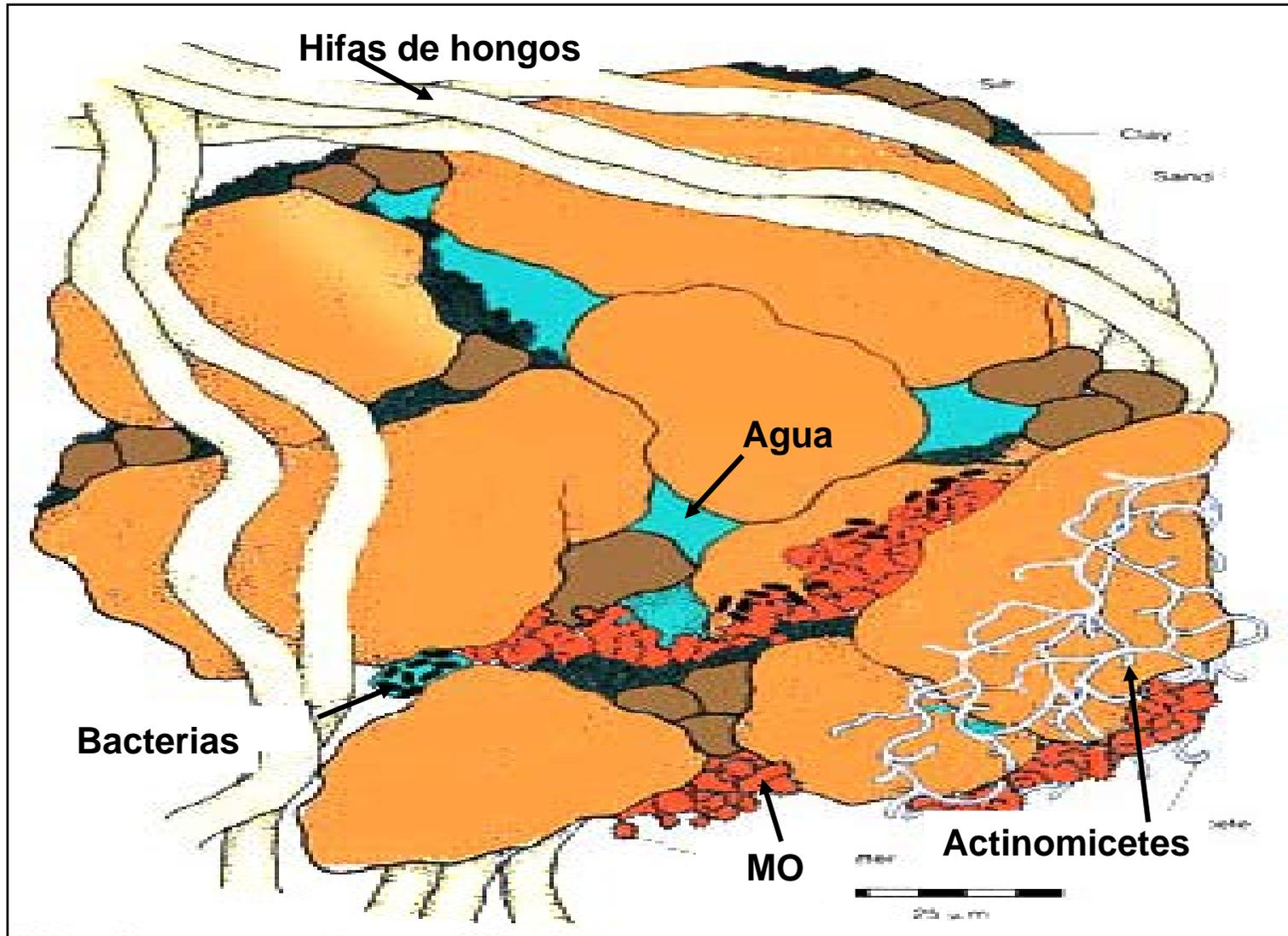


(arquea+ bacteria, en anoxia, aguas continentales pobres en sulfato))

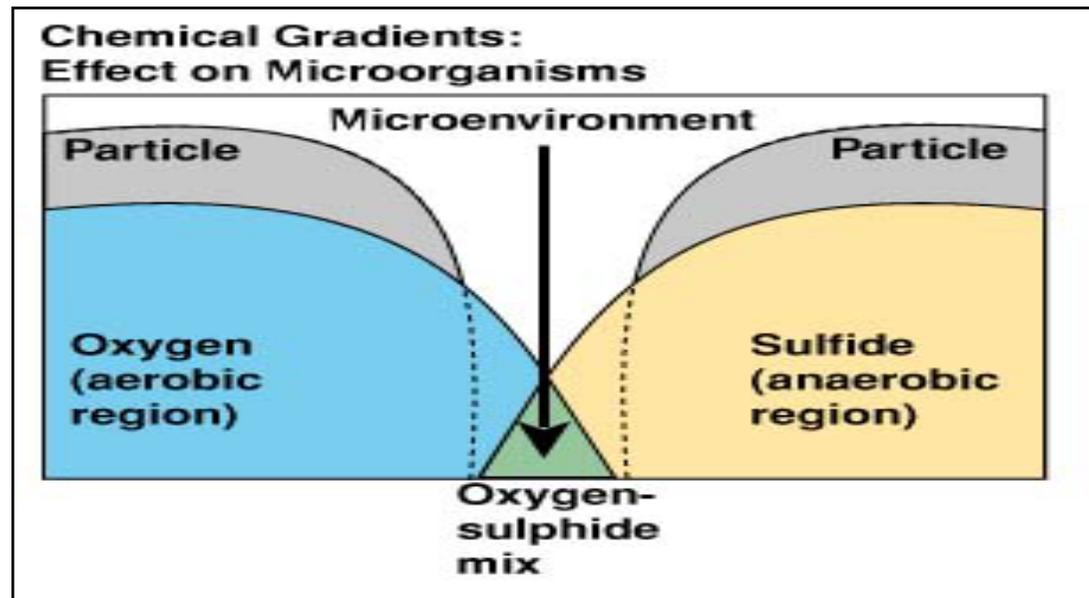
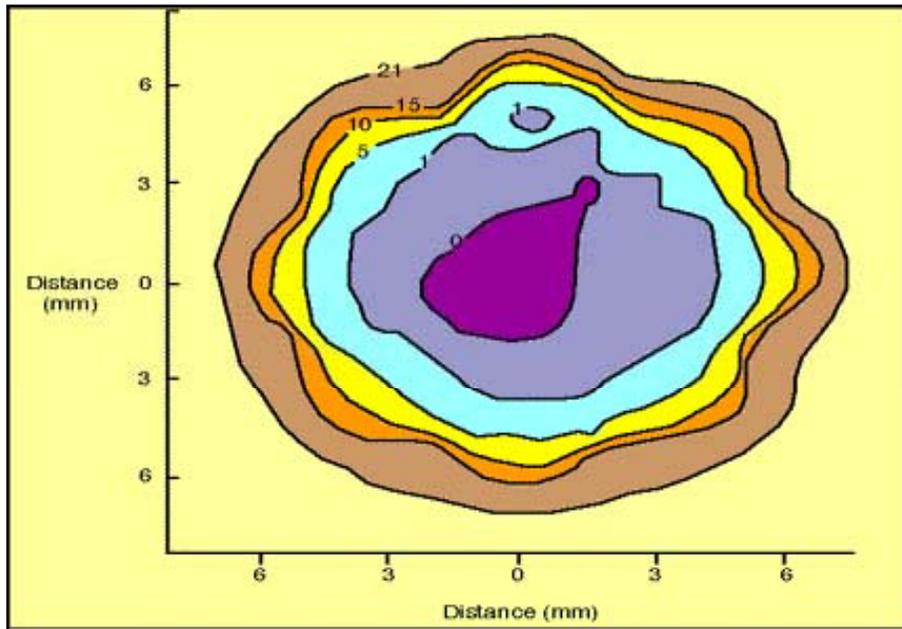
CICLO DEL C EN SISTEMAS TERRESTRES



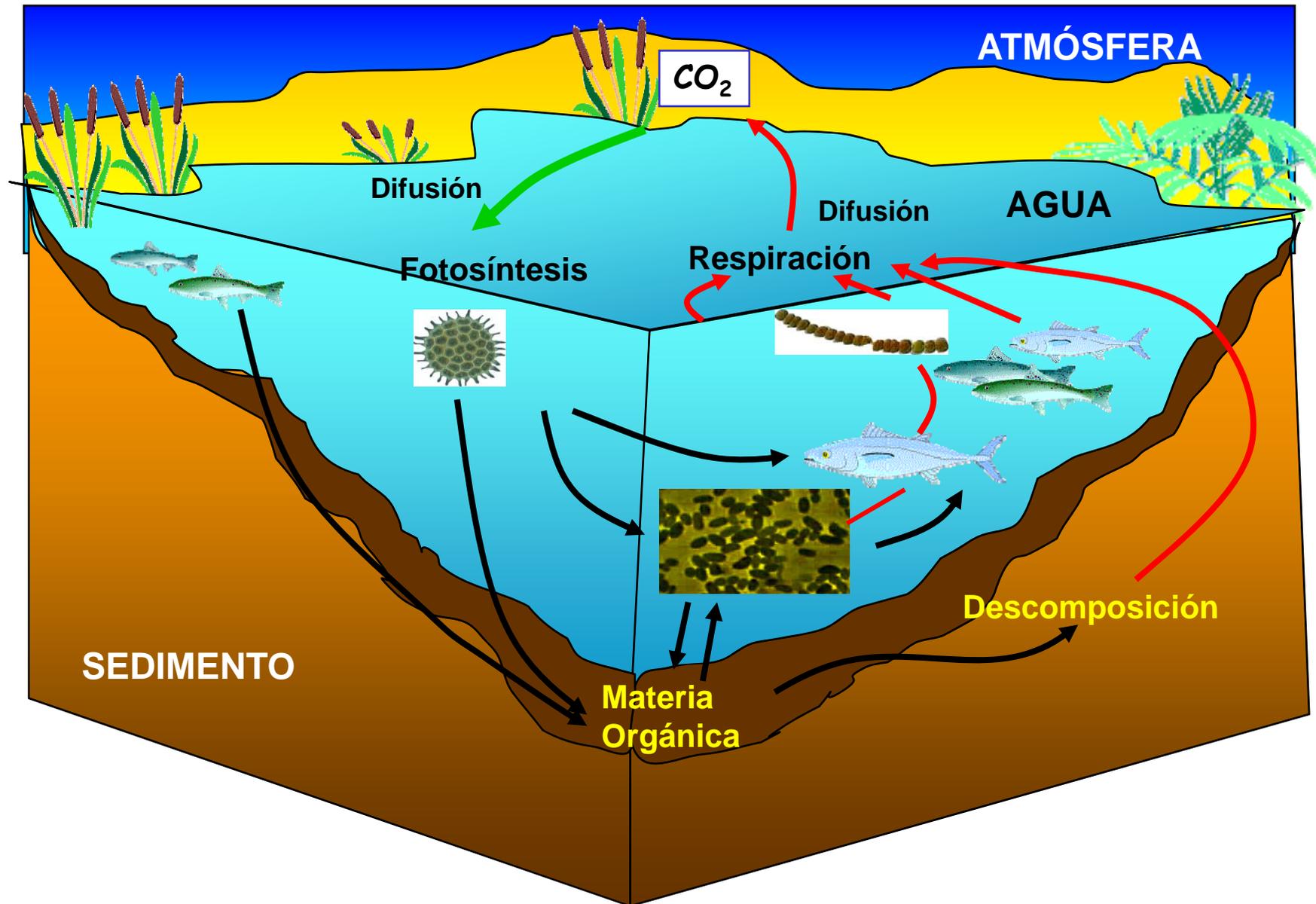
AGREGADO del suelo mostrando los microhábitats y la distribución de los microorganismos.



Concentración de O₂ entre los agregados del suelo



CICLO DEL C EN SISTEMAS ACUÁTICOS



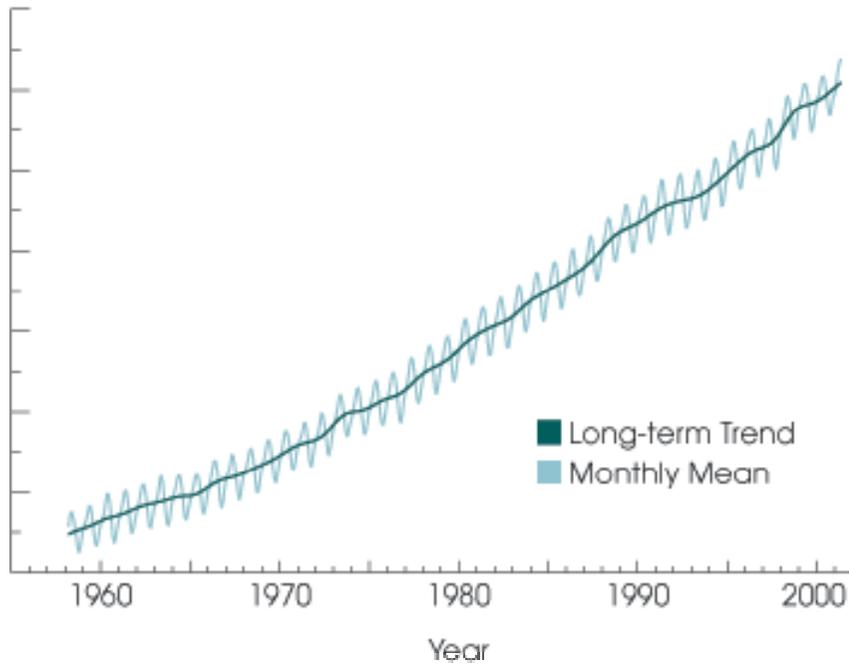
Ciclo del Carbono

Desajustes:

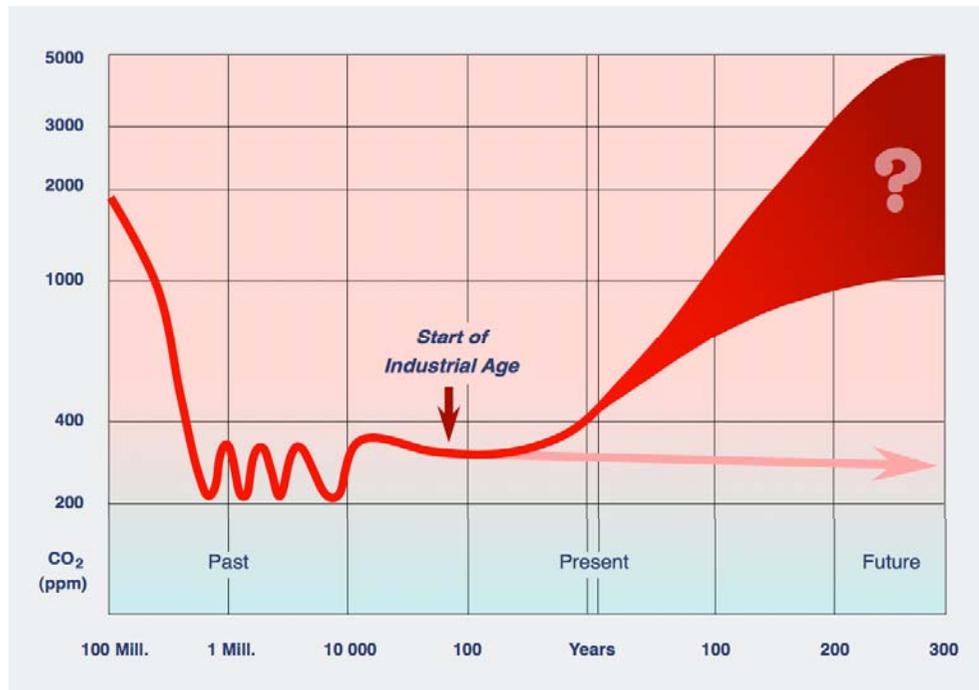
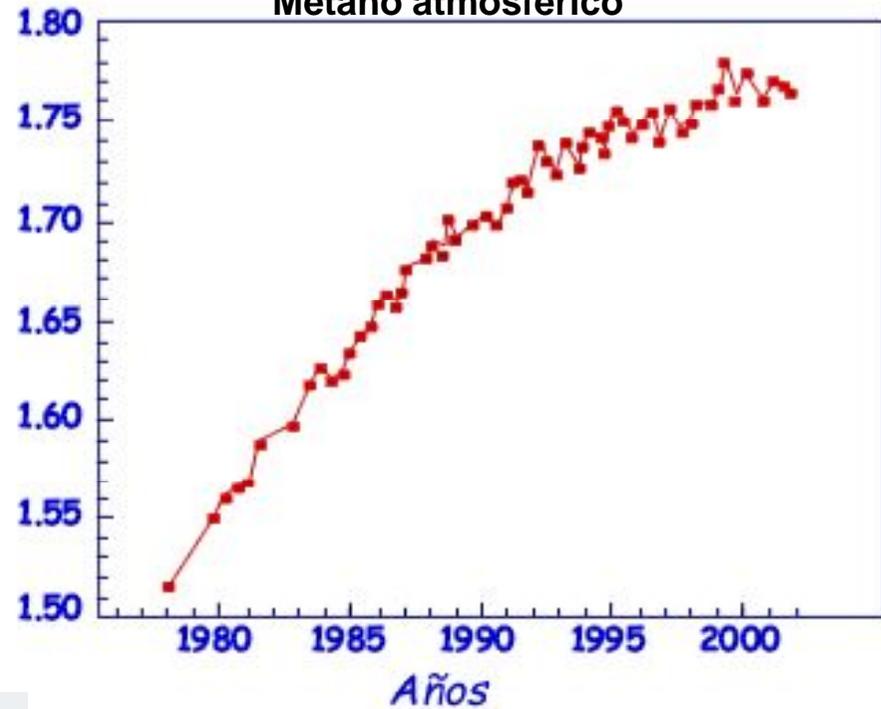
Los principales desequilibrios del ciclo del carbono a nivel global se están produciendo por desajustes en el reservorio gaseoso \rightarrow CO_2 y CH_4

A nivel local, son importantes los aportes de materia orgánica o compuestos inorgánicos alóctonos, de origen antrópico

Atmospheric Carbon Dioxide Concentration



Metano atmosférico

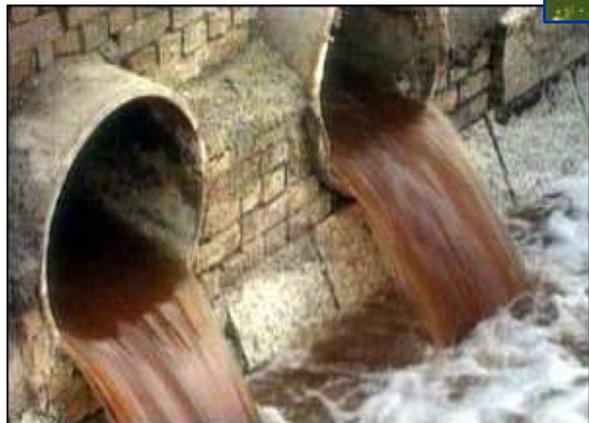
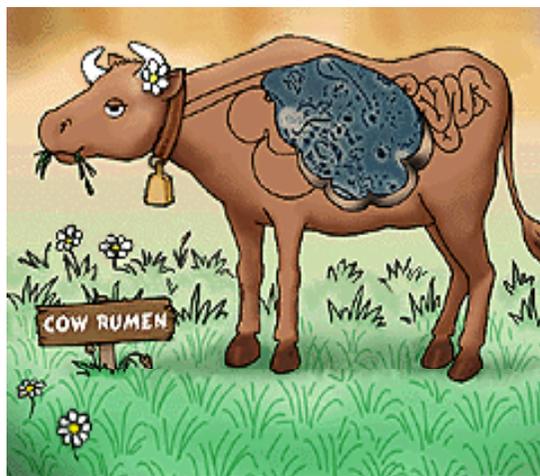


El CH₄ tiene un efecto
35 veces mayor que el
CO₂

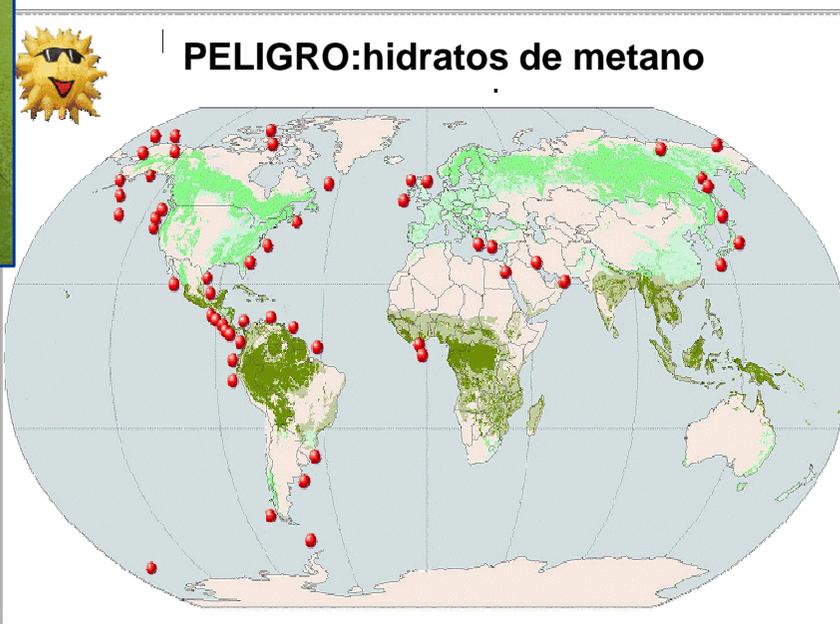
Desde 1750 el CO₂ atmosférico ha
aumentado un 32%

y el CH₄ un 151%

Fuentes principales de metano



- Prospección de petróleo
- Cultivos de arroz
- Ganadería intensiva
- Contaminación de aguas
- Vertederos



Estimación del CH₄ liberado a la atmósfera

<u>Fuente</u>	<u>Cantidad de CH₄ (10⁶ ton anuales)</u>
ganado	80 - 100
termitas	25 - 150
arrozales	70 - 120
humedales naturales	120 - 200
vertederos	5 - 70
océanos	1 - 20
tundra	1 - 5
<hr/>	
total biológico	302 - 715
no biológico	53 - 155
<hr/>	

Tyler, 1991

Incremento de temperatura

Producción Primaria ↑

Descomposición ↑↑↑

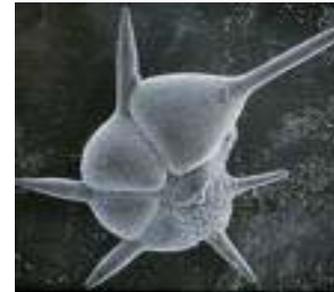
Estratificación/Anoxia

Descongelación permafrost



Incremento de CO₂

Disminución pH



Incremento de nutrientes limitantes

Eutrofización



Incremento de materia orgánica

Sobrecarga



SOBRECARGA DE MATERIA ORGÁNICA (fácilmente biodegradable; origen alóctono)

❖ Crecimiento de microorganismos quimioorganoheterotrofos respiradores aerobios

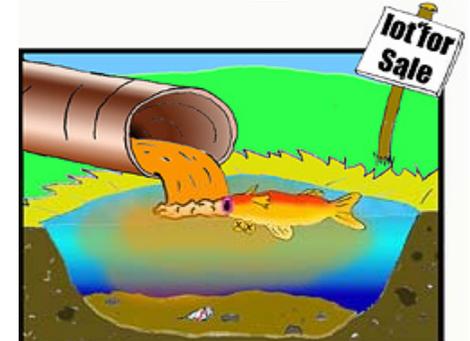
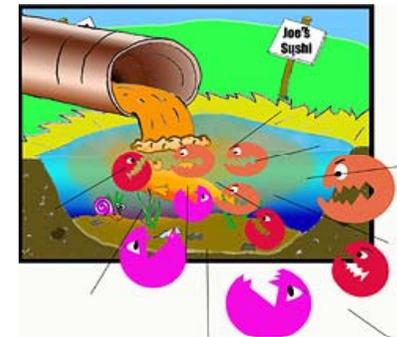
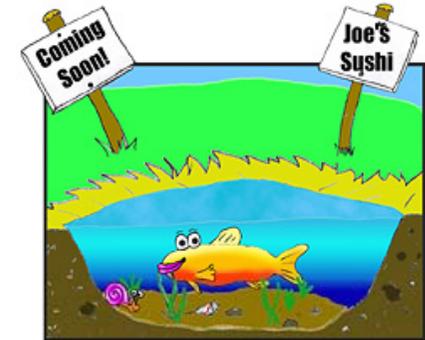
❖ Consumo acelerado de oxígeno y turbidez:
➢ Limitación por luz del crecimiento de Productores Primarios (insuficiente recarga de oxígeno)
➢ Tendencia a la anoxia

❖ Crecimiento de microorganismos quimioorganoheterotrofos fermentadores y respiradores anaerobios

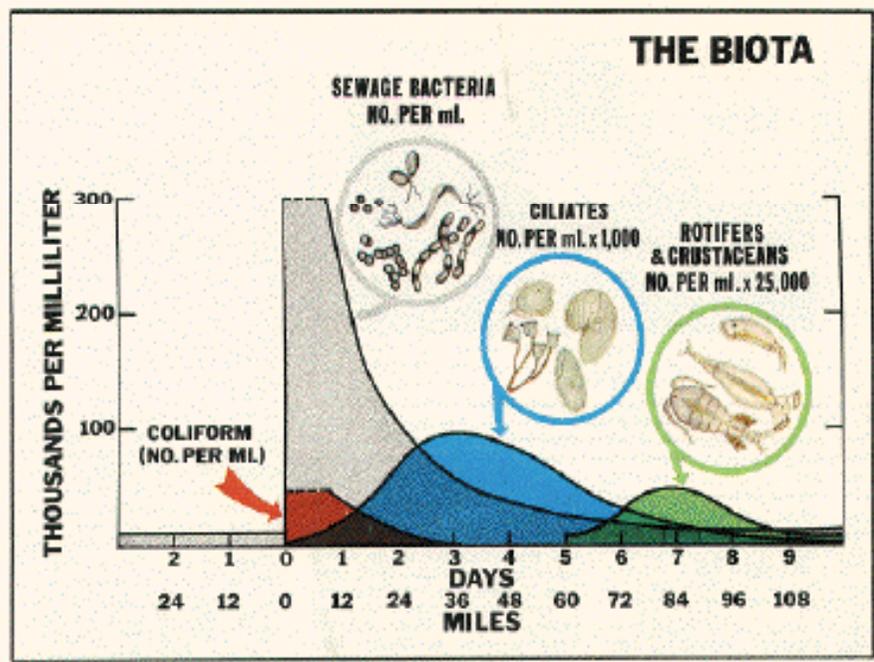
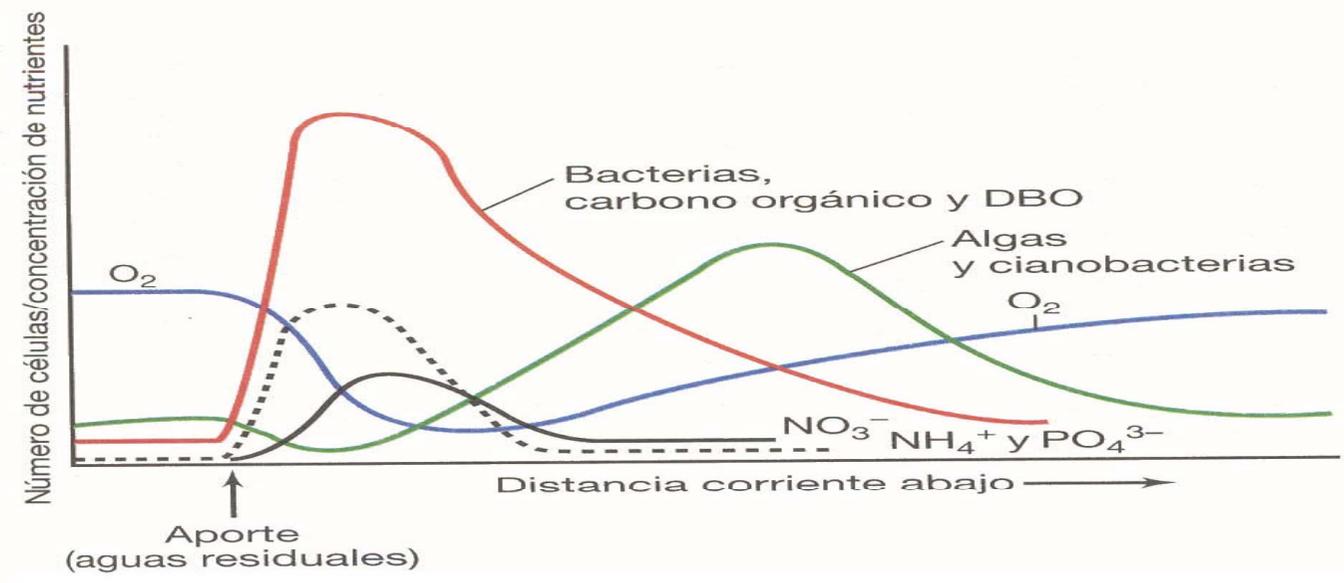
❖ Producción y acumulación de ácidos orgánicos, sulfhídrico, metano, amoníaco....

❖ Aguas anóxicas, malolientes, con sustancias tóxicas

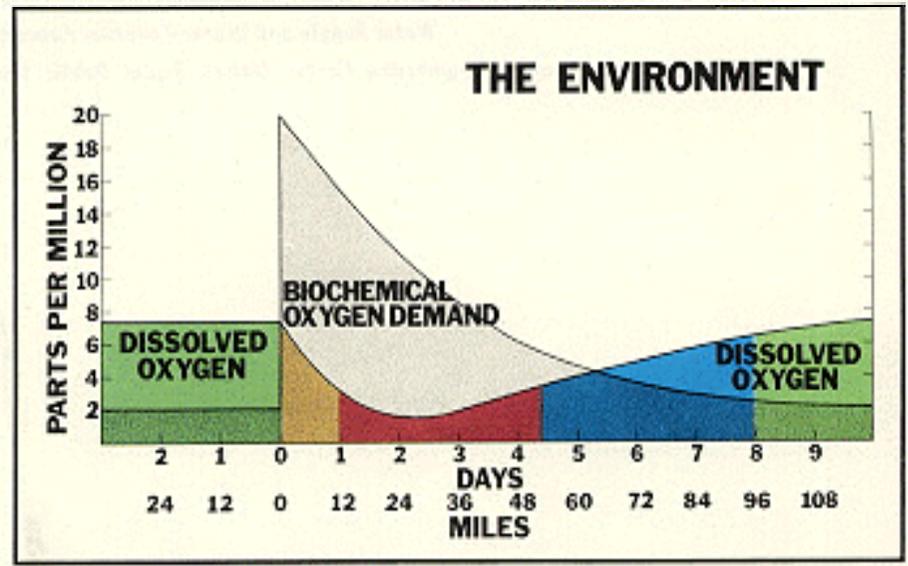
❖ Muerte de organismos respiradores aerobios



Proceso de autodepuración

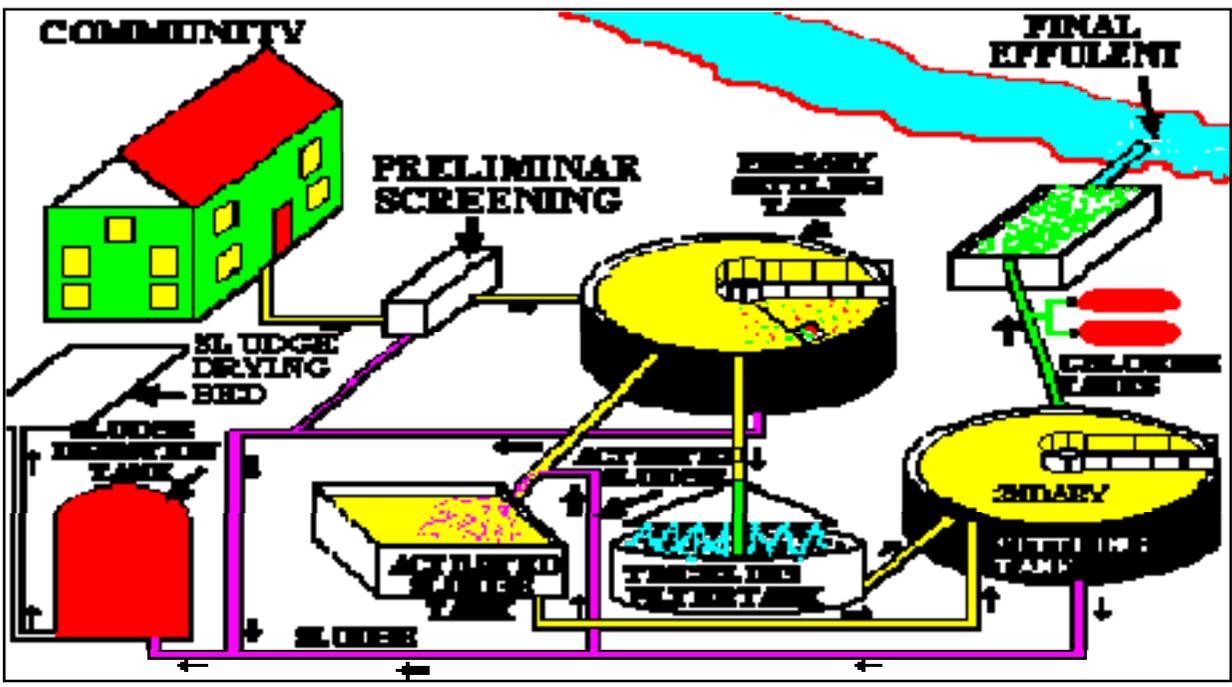


● FIGURE 6. Bacteria thrive and finally become prey of the ciliates, which in turn are food for the rotifers and crustaceans.



● FIGURE 1. The assumptions in the hypothetical pollution case under discussion are a stream flow of 100 cfs, a discharge of raw sewage from a community of 40,000, and a water temperature of 25°C, with typical variation of dissolved oxygen and BOD.

Esquema de una planta de tratamiento



Vista aérea de una EDAR



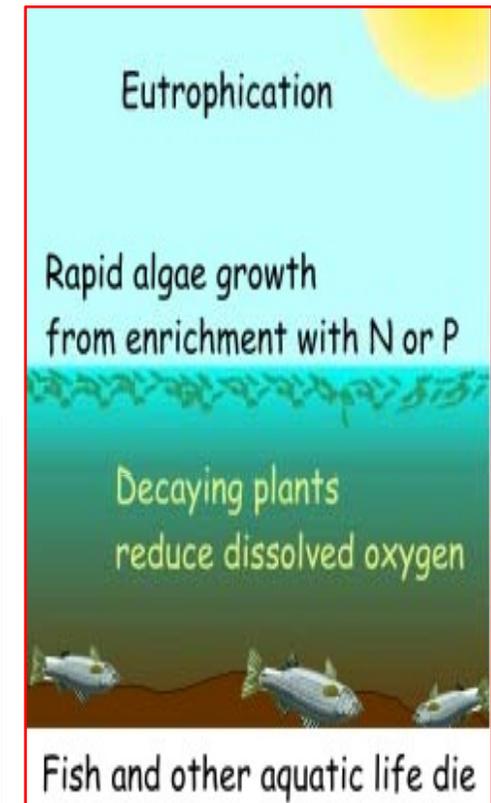
Parámetros habituales para la estimación de la carga orgánica de medios acuáticos

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5): Medida indicativa del **carbono orgánico de rápida asimilación** valorado en función del oxígeno consumido en la degradación de sustancias oxidables del agua por la acción microbiológica, medido en condiciones estandarizadas. Se expresa en mg de oxígeno por litro. Un valor DBO elevado indica un agua con mucha materia orgánica fácilmente biodegradable

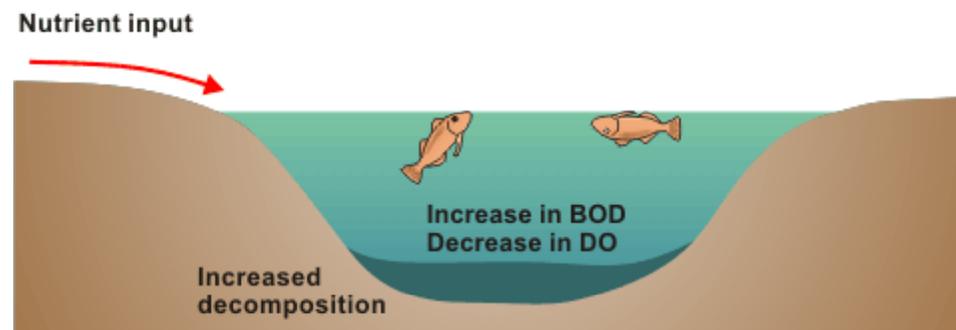
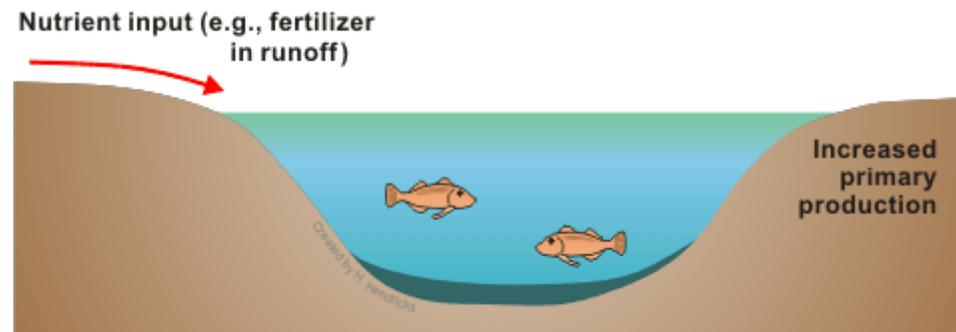
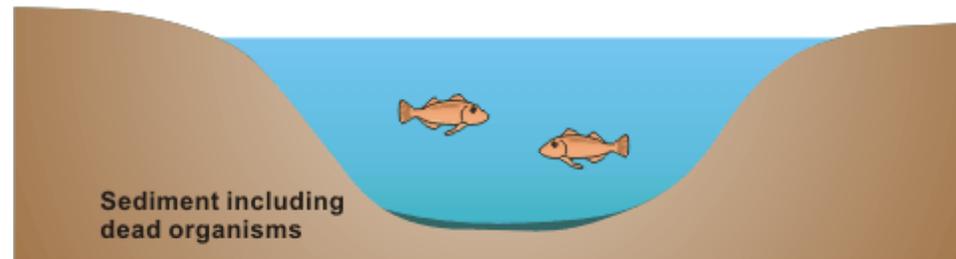
Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida indicativa del **carbono orgánico total** valorado en función de la cantidad de oxidante energético (dicromato o permanganato) consumido en la oxidación de toda la materia orgánica presente en una muestra de agua, medido en condiciones estandarizadas. Se expresa en mg por litro de oxígeno (equivalente a la cantidad de oxidante empleado). Un valor DQO elevado indica un agua con mucha materia orgánica total.

PROCESO DE EUTROFIZACIÓN

- ❖ Desencadenado por el aporte de nutrientes inorgánicos: P, N (u otros) (generalmente limitantes)
- ❖ En **SUPERFICIE**, crecimiento masivo de productores primarios fotosintéticos oxigénicos (blooms, afloramientos)
 - ✓ Sobresaturación de oxígeno en zona fótica
 - ✓ Disminución de la zona fótica (autosombra)
 - ✓ Elevación del pH en zona fótica (máximo mediodía)
 - ✓ Posible producción de toxinas algales
 - ✓ Sobrecarga de **M.O. AUTÓCTONA** en fondo (sedimentación)
- ❖ En **FONDO**,
 - ✓ Crecimiento de microorganismos respiradores aerobios = agotamiento de oxígeno
 - ✓ Crecimiento de fermentadores y respiradores anaerobios= producción de ácidos orgánicos, sulfhídrico, metano, amoníaco



Impact of Cultural Eutrophication





Ciclo del Nitrógeno

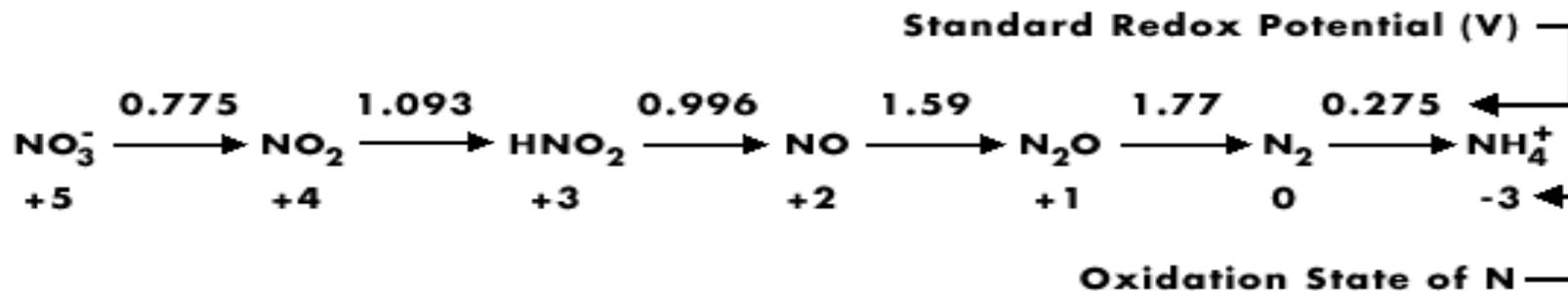
Compuestos de nitrógeno en la biosfera

Atmósfera:

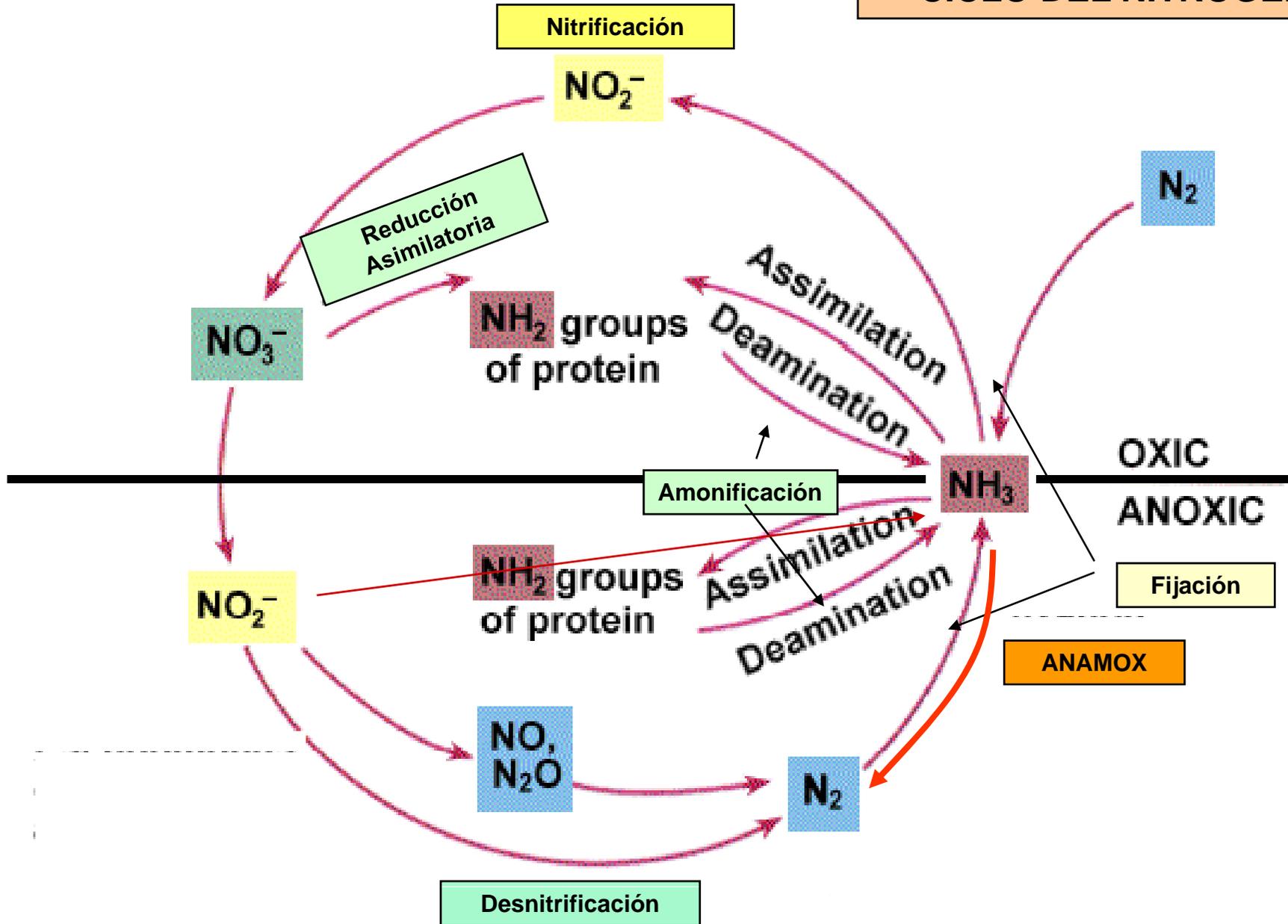
- 79 % N₂ N≡N
- 310 ppb N₂O N - N - O
- trazas de:
 - NO₂ O - N - O
 - NO N = O
 - NH₃ H - N - H
 |
 H

Agua y suelo:

- NO₃⁻ O - N - O
 ||
 O
- NH₃ H - N - H
 |
 H
- urea H₂N - C - NH₂
 |
 O
- aminoácidos en organismos



CICLO DEL NITRÓGENO



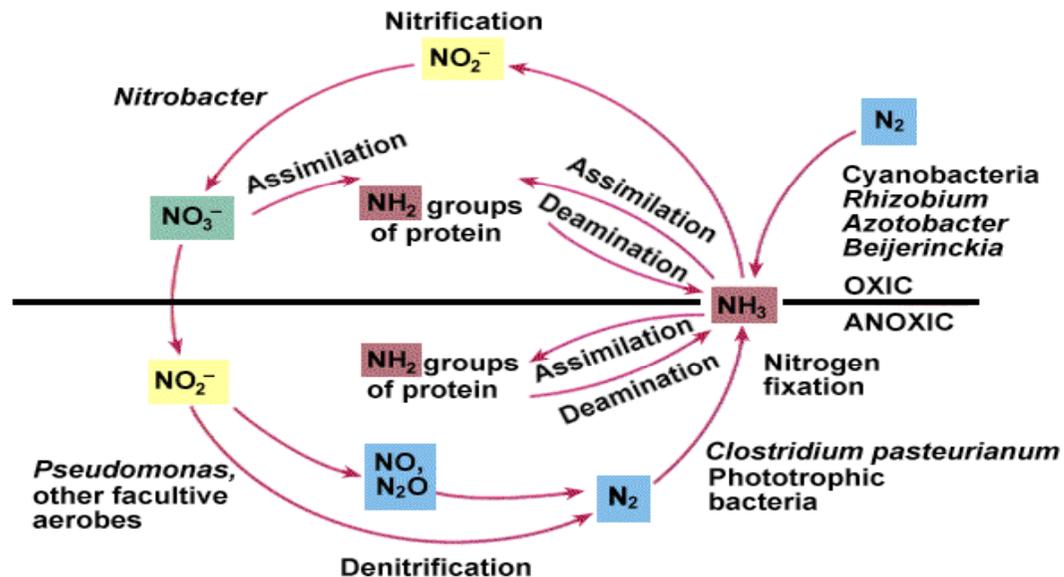
AMONIFICACIÓN (Desaminación)

M.O. (R-NH₂) → NH₃ (amoniaco)

A pH neutro/alcalino se encuentra como NH₃; y se acumula en esta forma bajo condiciones anóxicas

A pH neutro/ácido se encuentra como ión amonio -NH₄⁺-

El NH₃ es volátil y se pierde en parte por vaporización, sobre todo en medios alcalinos (15% del N que va a la atmósfera)



NITRIFICACIÓN

Proceso aerobio llevado a cabo por bacterias nitrificantes quimiolitotrofas

NITROSANTES

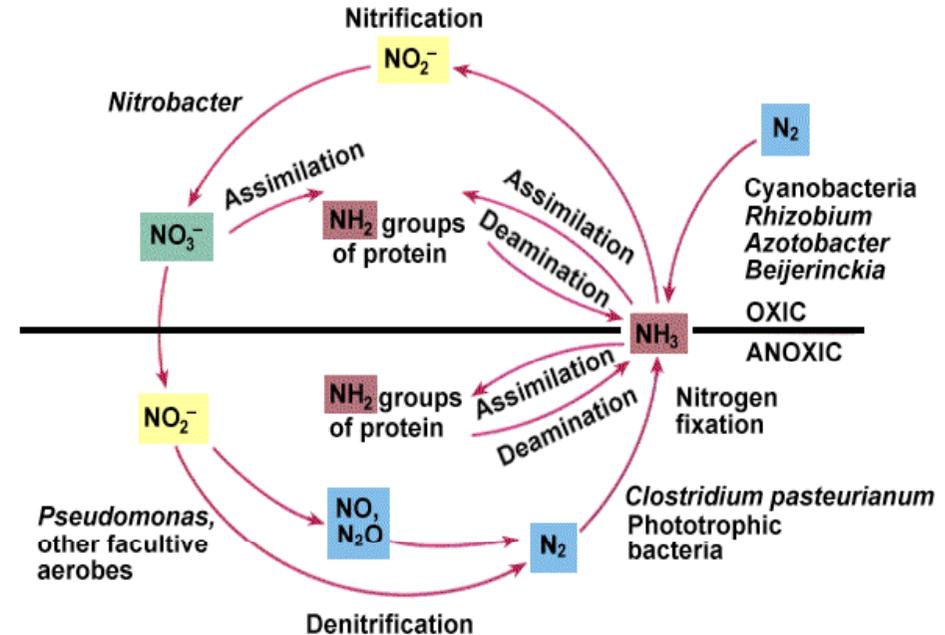
$\text{NH}_3 + 1\frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ ($\Delta G = -275 \text{ KJ}$)
Nitrosomonas, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrosovibrio, Nitrosococcus

NITRIFICANTES

$\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ ($\Delta G = -74,1 \text{ Kcal}$)
Nitrobacter, Nitrospira, Nitrococcus

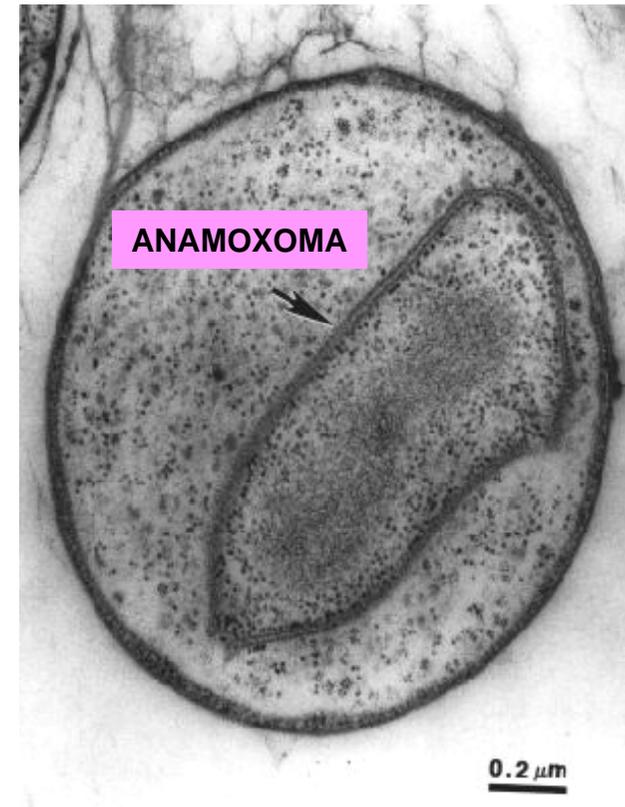
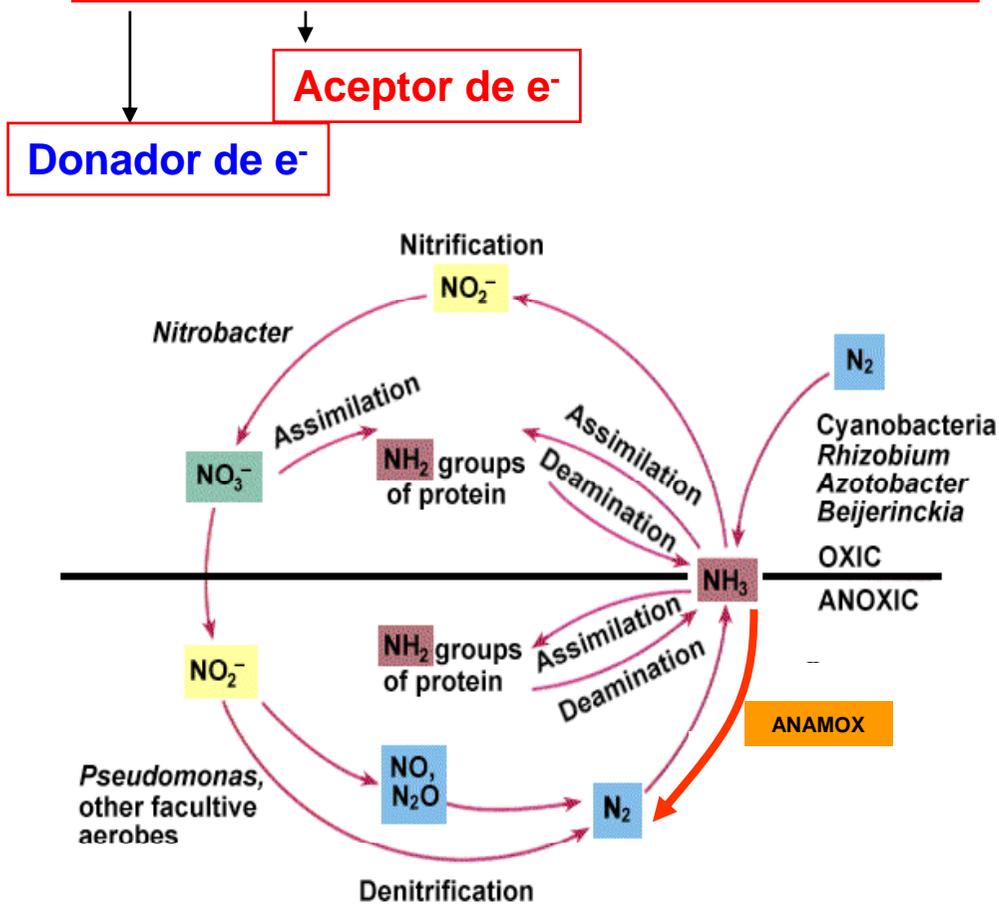
CONDICIONES:

- No se da a Eh inferiores a +200 mV
- Proceso óptimo a pH neutro o alcalino
- La tasa de nitrificación aumenta si en el ambiente existen altas cantidades de proteínas o amoníaco



ANAMOX

Oxidación anaerobia del amoniaco con respiración de nitrito por bacterias quimiolitautotrofas



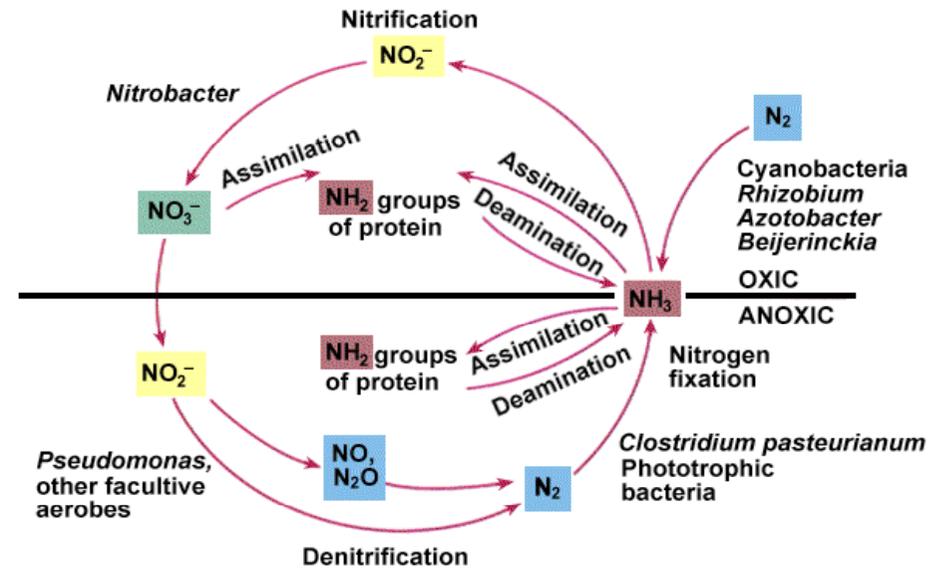
Brocardia anamoxidans
(Planctomycetes)

ASIMILACIÓN DEL NITRATO

$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow (\text{R-NH}_2)$ M.O.
(reducción asimilatoria de nitrato)

Llevada a cabo por algunas bacterias, hongos y algas

REDUCCIÓN DESASIMILATORIA DEL NITRATO



- Proceso de reducción del nitrato en condiciones anaeróbicas (puede comenzar a Eh por debajo de +200 mV).
- El nitrato es el aceptor de e^- .
- Es un proceso desasimilativo llevado a cabo por bacterias anaerobias facultativas

Desnitrificación

$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_3$ (reducción fermentativa del nitrito)

Enterobacter, Escherichia, Bacillus, Micrococcus, Vibrio, Clostridium...

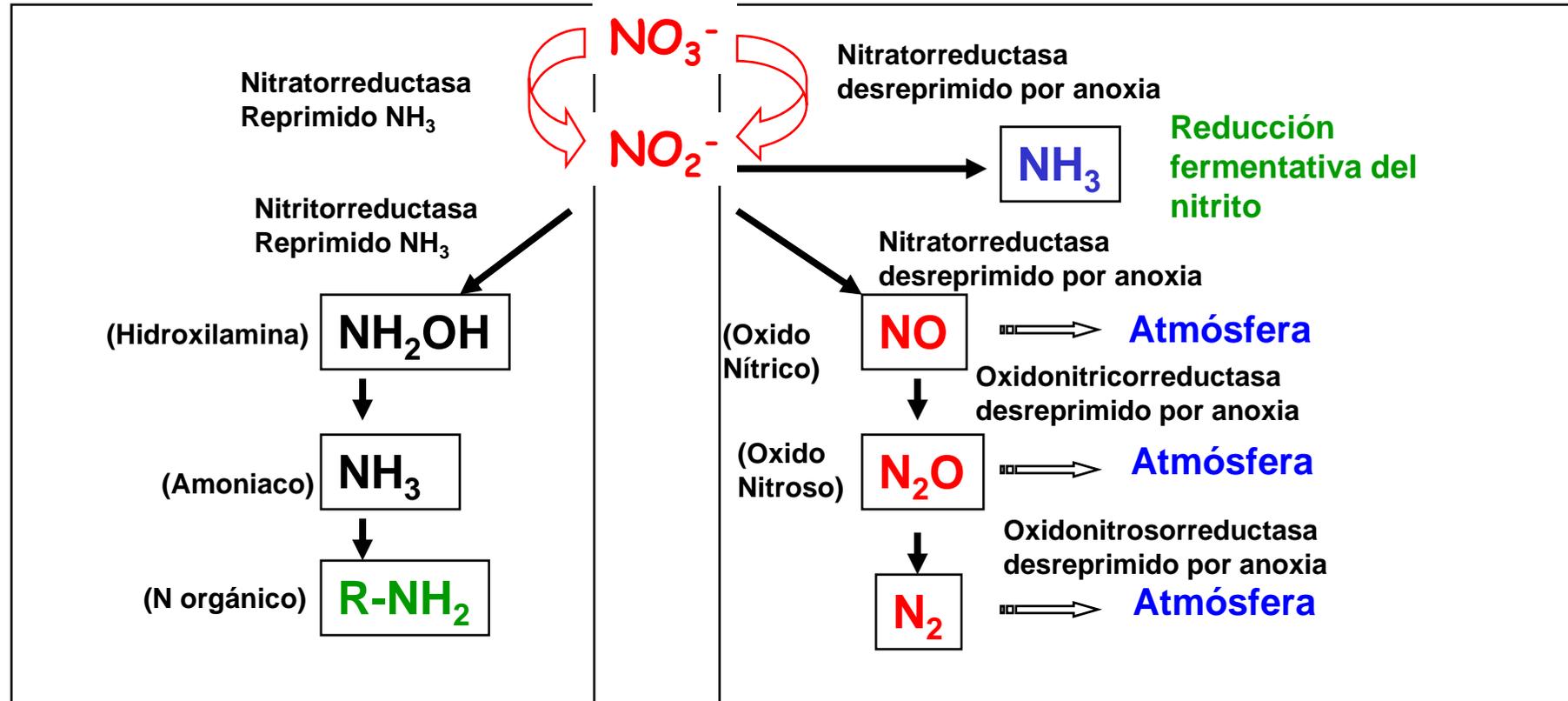
$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ (desnitrificación)

Bacillus, Pseudomonas, Hyphomicrobium, Spirillum, Moraxella, Thiobacillus

Reducción fermentativa del nitrito (anaerobio)

REDUCCIÓN ASIMILATORIA

REDUCCIÓN DESASIMILATORIA



Valores algo más altos de Eh, bajo pH y altas concentraciones de NO_3^- favorecen N_2O (aunque es menos del 10% del N perdido)
El N_2 se ve favorecido por altas concentraciones de MO

FIJACIÓN DE N₂ ATMOSFÉRICO

- Equilibra las pérdidas por desnitrificación
- Sólo lo pueden hacer organismos procarióticos

1- BACTERIAS FIJADORAS EN ESTADO LIBRE:

Aerobias: Cianobacterias, *Azotobacter*

Microaerófilas: *Rhizobium*, *Azospirillum*, metanotrofos

Anaerobias facultativas: *Enterobacter*, *Klebsiella*

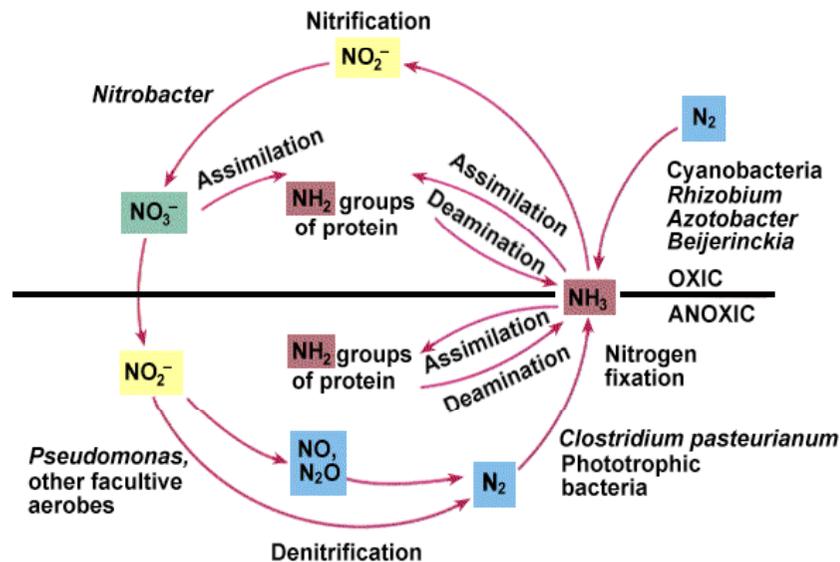
Anaerobias: *Clostridium*, fotótrofos anoxigénicos, *Desulfovibrio*, algunas arqueas

2- BACTERIAS FIJADORAS EN ASOCIACIONES SIMBIÓTICAS

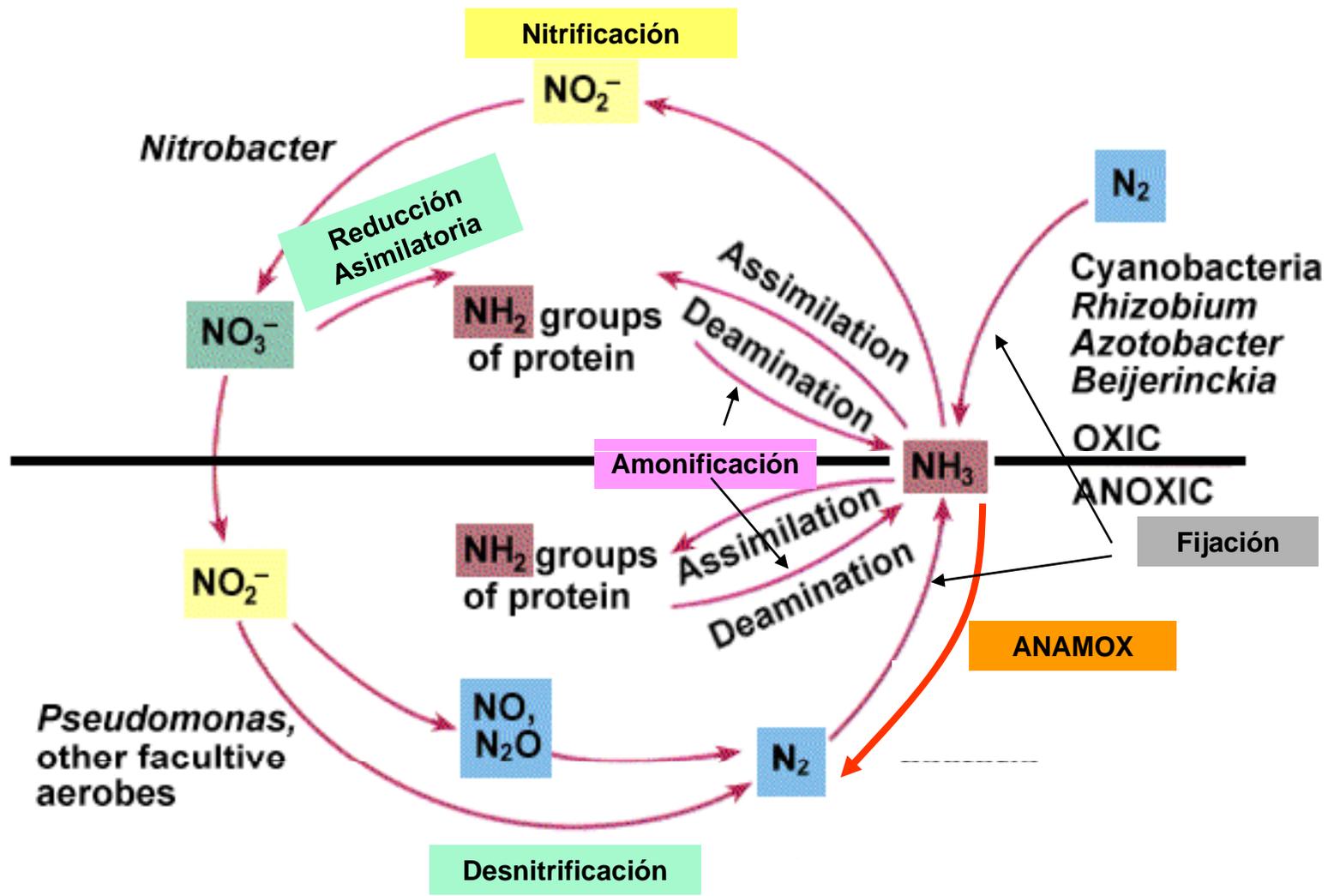
Nódulos: *Rhizobium* en leguminosas, *Frankia* en alisos, etc..

Rizosfera: *Azospirillum*, *Azotobacter paspali*, *Klebsiella*

Animales: Termitas,...



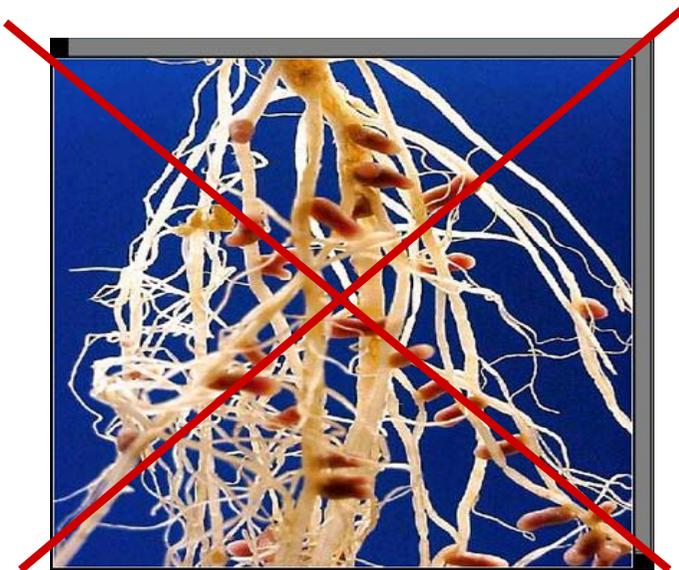
Se ha detectado fijación de N₂ en arqueas metanogénicas a 92°C



Problemas asociados a un desequilibrio en el ciclo del Nitrógeno

Un incremento artificial de la cantidad de nitrógeno amoniacal en un sistema puede producir:

- ❖ Un incremento de la pérdida de N amoniacal por volatilización
- ❖ Una eliminación de la capacidad fijadora de N_2 del sistema
- ❖ Un aumento de las tasas de nitrificación, con pérdida de N combinado del sistema por su gran solubilidad



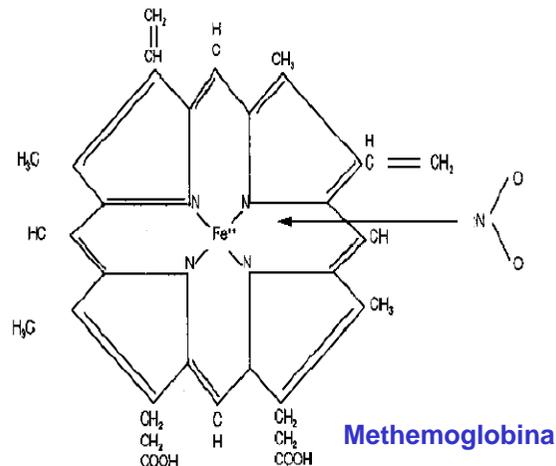
Fertilizantes amoniacales con inhibidores de la nitrificación

Un incremento de la cantidad de Nitrato en el sistema puede producir:

- Desencadenar procesos de eutrofización en aguas superficiales (por escorrentía o previa contaminación de aguas subterráneas)
- Una percolación de NO_3^- a capas profundas, fuera de la zona de influencia de la raíz (pérdida de fertilidad del sistema y pérdida económica)



Cianosis

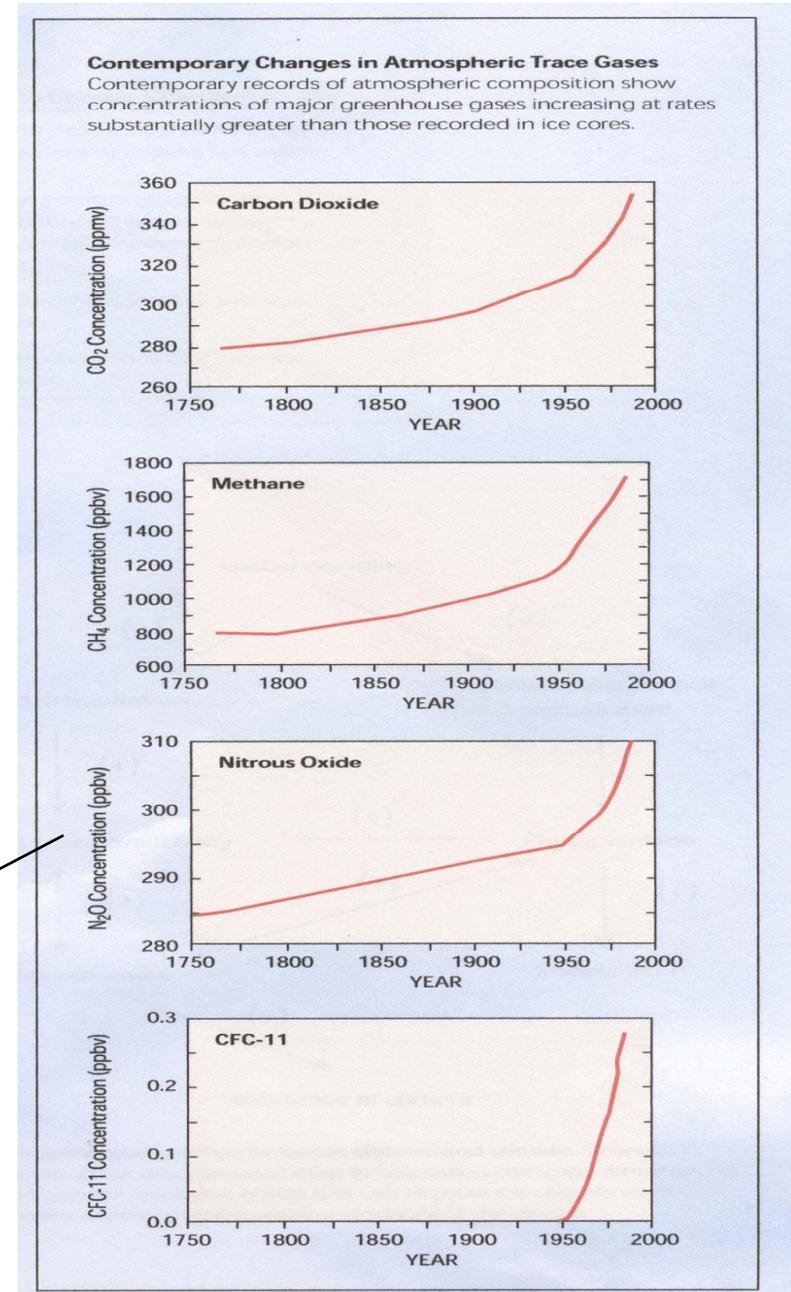


- Una contaminación de las aguas de consumo (superficiales o subterráneas), provocando cianosis (unión irreversible del Nitrito a la hemoglobina= methemoglobina) en rumiantes y niños de pocos meses) y/o unión a aminas secundarias produciendo nitrosaminas carcinogénicas (legislación, max 10 mg/L)
- Su desplazamiento a zonas anóxicas, donde es sometido a desnitrificación

Un incremento de la tasa de desnitrificación puede afectar al ecosistema y al medio ambiente por

✓ Un incremento en la producción y liberación de **óxidos de nitrógeno** que escapan a la atmósfera incidiendo en el efecto invernadero y en la destrucción de la capa de ozono

✓ Una pérdida de nitrógeno combinado en forma de N_2 atmosférico



Factores que potencian el desequilibrio del ciclo del nitrógeno

Incremento de la temperatura

- ✓ Descomposición ↑ ↑ ↑
- ✓ Estratificación (anoxia)

Aporte de nutrientes nitrogenados

- ✓ Fertilizantes (amonio, urea $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$, nitratos)
- ✓ Aguas residuales sin tratamiento terciario
- ✓ Ganadería intensiva

Materia orgánica

- ✓ Aguas residuales

Incremento zonas anóxicas

- ✓ Arrozales
- ✓ Estratificación
- ✓ Eutrofización
- ✓ Sobrecarga M.O.

Interconexión de los ciclos biogeoquímicos

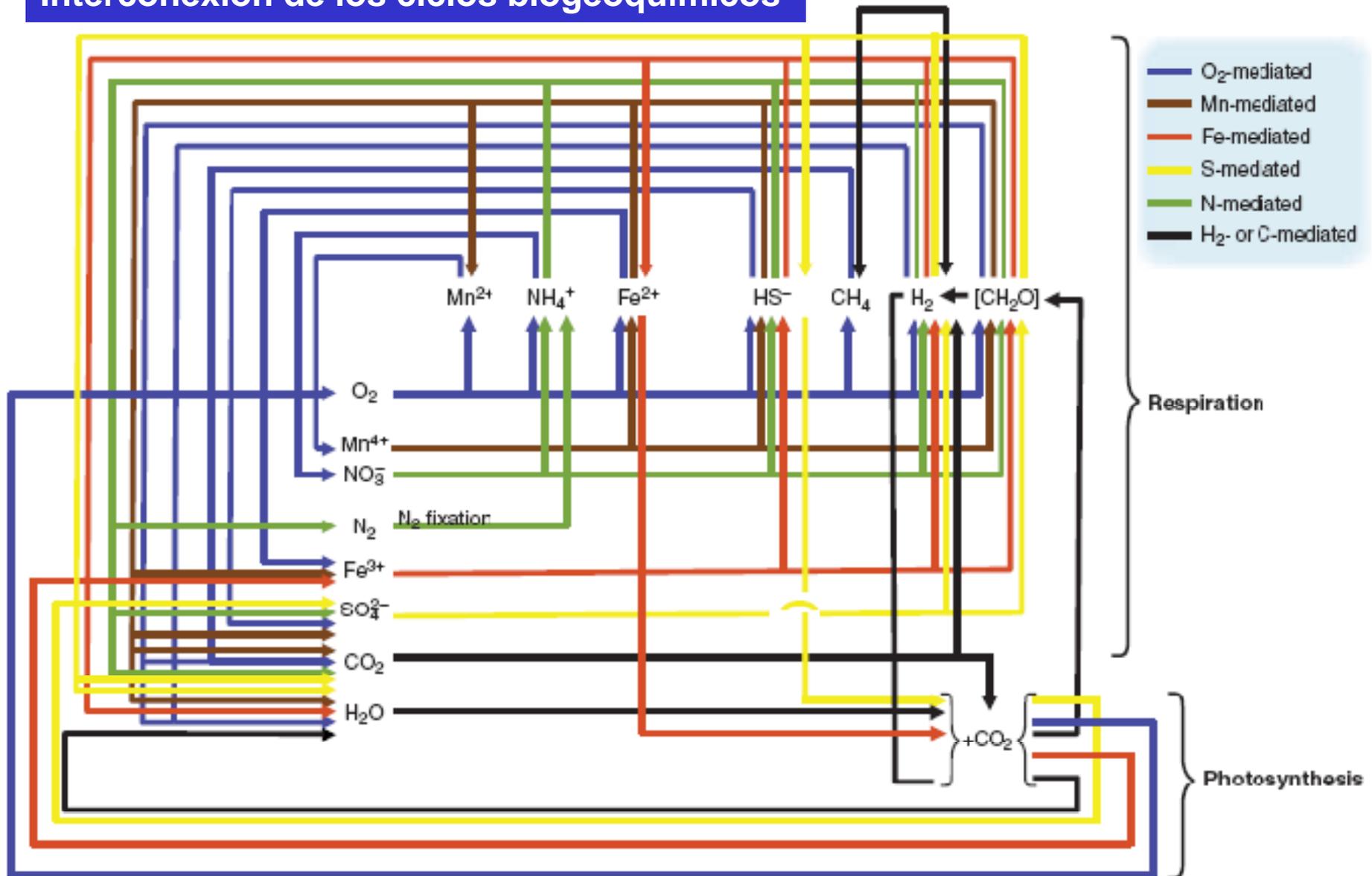


Fig. 2. A schematic diagram depicting a global, interconnected network of the biologically mediated cycles for hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sulfur, and iron. A large portion of these microbially mediated processes are associated only with anaerobic habitats.