

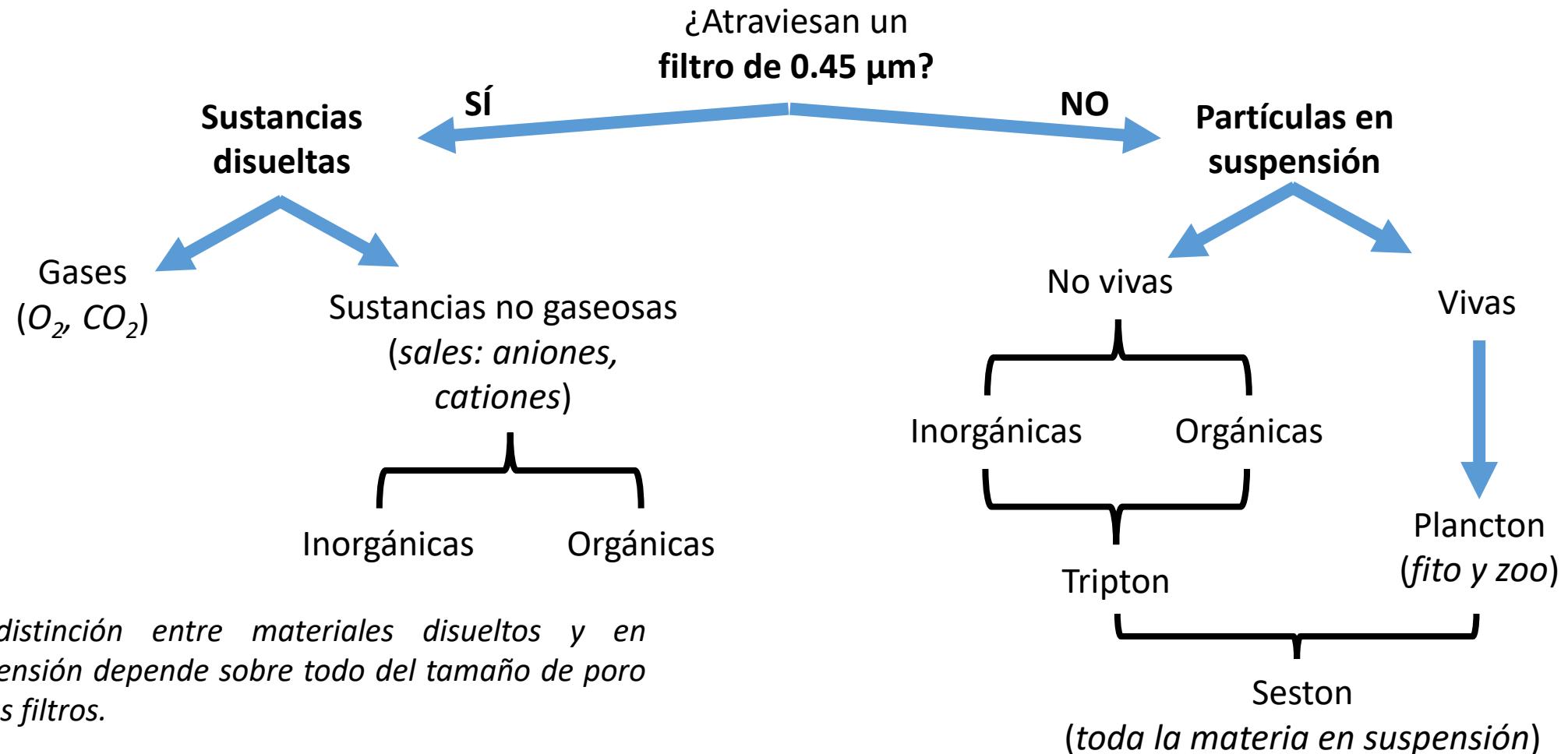
# Tema 3: Sustancias en suspensión y disueltas

- a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos e influencia del clima, deposición atmosférica y cuenca.
- b) Salinidad y conductividad eléctrica.
- c) Gases disueltos: Oxígeno y CO<sub>2</sub>. Equilibrio carbónico-carbonatos y pH. Causas y consecuencias de la acidificación.
- d) Nutrientes. Limitación de la productividad primaria. Sumideros y fuentes de nutrientes. Eutrofización. Contaminantes emergentes.



# a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos y orígenes

## Sustancias presentes en aguas naturales

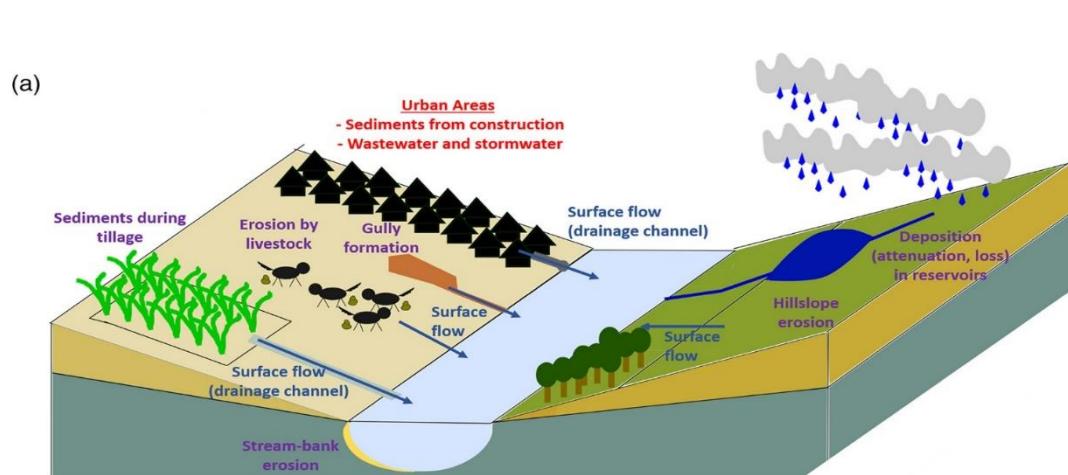


# a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos y orígenes

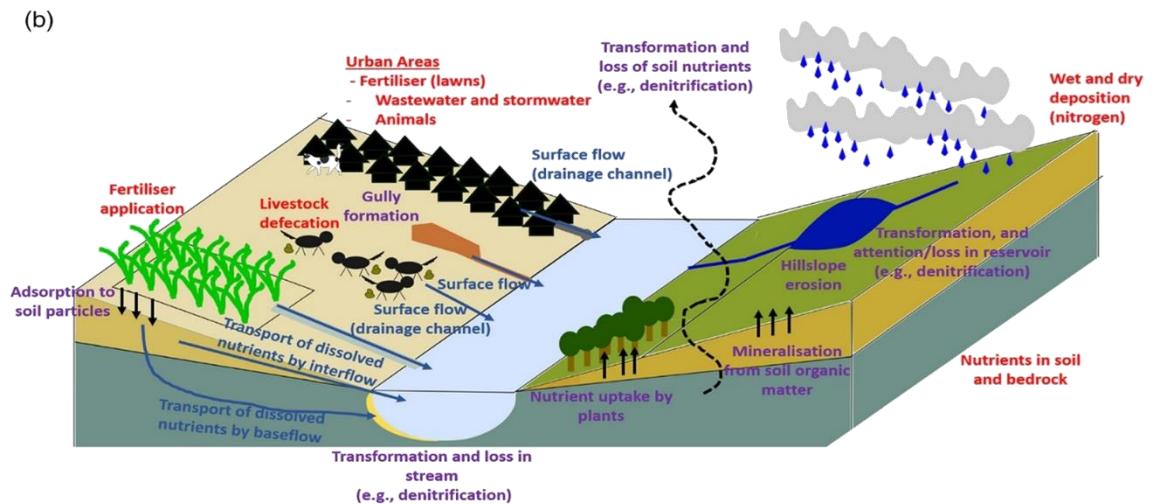
## Influencia del paisaje

Los **usos del suelo** y su manejo, la geología y el tipo de suelo, el **clima**, la topografía y la hidrología de la **cuenca** determinan la entrada de materiales disueltos y partículas en los sistemas acuáticos continentales.

### Sedimentos (partículas – flujo superficial)



### Nutrientes (disueltos – flujo subterráneo; partículas – flujo superficial)



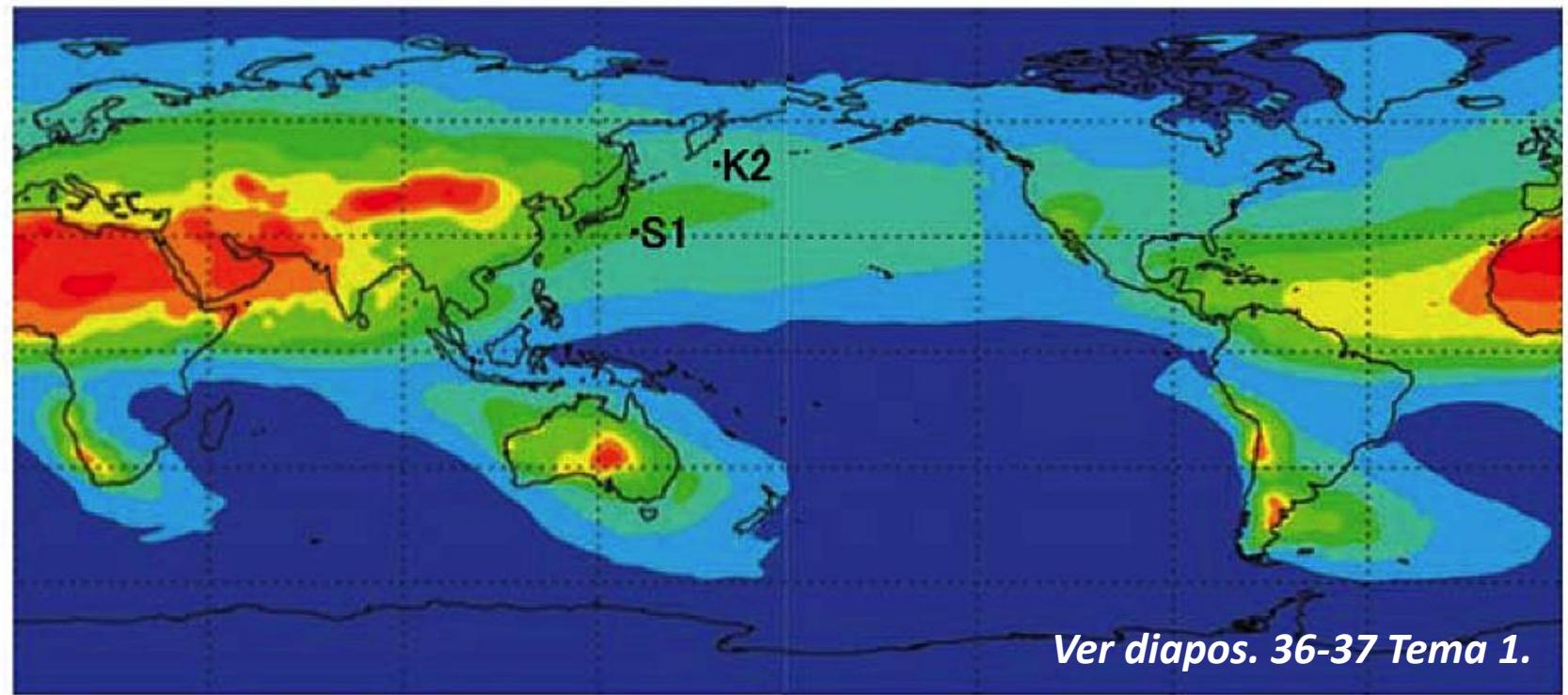
WIREs Water 2018, 5:e1260. doi: 10.1002/wat2.1260

## a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos y orígenes

### Influencia de la deposición atmosférica

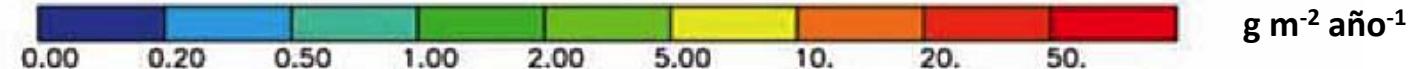
La **deposición atmosférica** implica la entrada de polvo, metales, ácidos, nutrientes, y contaminantes en los ecosistemas acuáticos.

Puede ser *húmeda* o *seca*.



#### Deposición atmosférica anual de aerosoles.

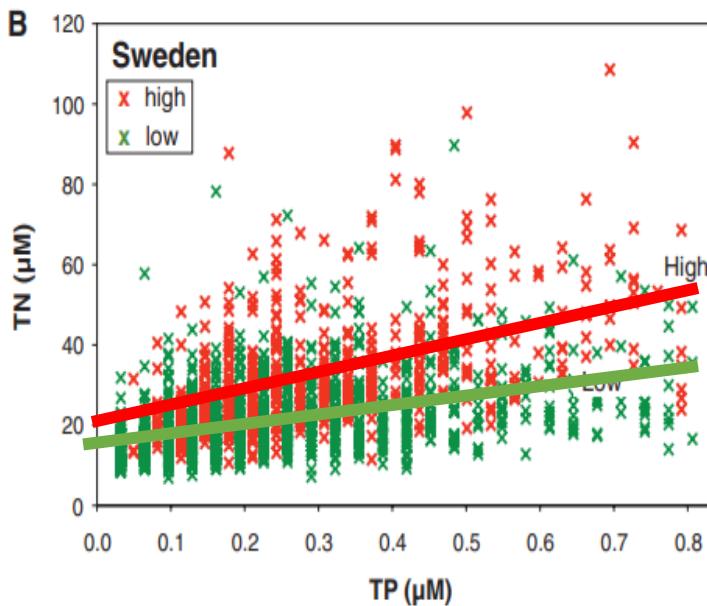
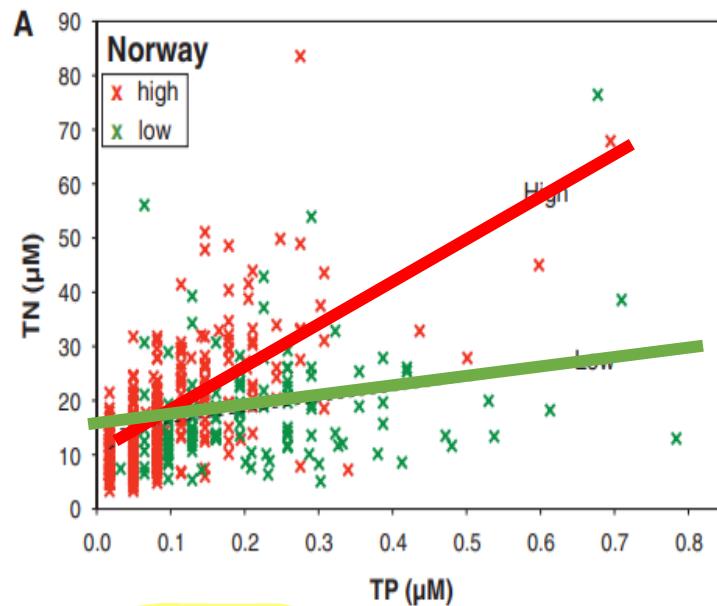
La mayor parte de estos aerosoles proceden de partículas de polvo de zonas desérticas transportadas por el viento.



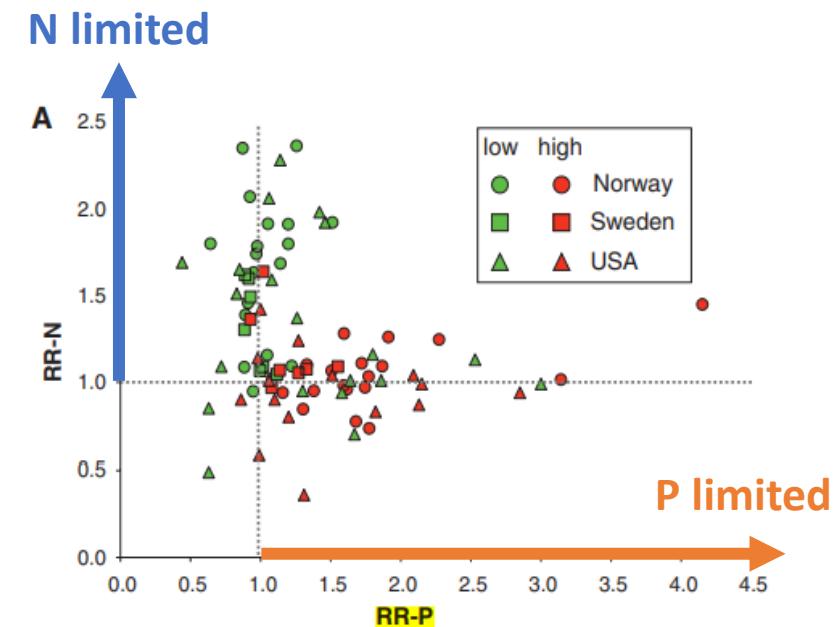
# a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos y orígenes

## Influencia de la deposición atmosférica

La *deposición atmosférica* de nitrógeno aumenta la concentración de N de lagos.... ¿Efectos? Posible aumento de la producción primaria... eutrofización?



**Fig. 1.** The effect of atmospheric N deposition on lake N:P stoichiometry in Scandinavia. Compared to low-deposition lakes (green), lakes receiving high atmospheric N deposition (red) have higher TN concentrations for a given level of TP in both Norway (A) and Sweden (B). All relationships were highly significant ( $P < 0.0001$  and  $R^2 = 0.16$  to  $0.40$ ). The slopes for TN versus TP relationships for the high- and low-deposition lakes were 76 and 32, respectively (Norway) and 43 and 23, respectively (Sweden). For clarity, values for TP for high-deposition lakes were offset by  $-0.015 \mu\text{M}$  so that they did not overlap with low-deposition data.



**Fig. 2.** Phytoplankton N and P limitation as a function of atmospheric N deposition in lakes of Norway (circles), Sweden (squares), and Colorado (triangles). Lake phytoplankton that respond strongly to N have a weak response to P and vice versa (A). Horizontal and vertical lines delineate response ratios of 1, indicating no response of phytoplankton biomass to enrichment of that nutrient. Results from low-deposition lakes (green) are

Elser et al., 2009 Science



# a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos

¿Cómo se toman las muestras?

Agua superficial



Agua en profundidad



## a) Sustancias en suspensión y disueltas: Tipos

### ¿Cómo se conservan las muestras?

- RECIPIENTES
  - Plástico o vidrio de alta calidad (*e.j. teflón o vidrio Pyrex*).
  - No reactivos con el agua (*absorción/disolución*).
  - No evaporación.
  
- ETIQUETAS
  - Código.
  - Lugar y fecha.
  - Filtro y tamaño del poro.

**Si la muestra se va a congelar hay que dejar al menos un 10% libre !!**



### ¿Qué podemos medir?

Concentración de elementos (*oxígeno, Ca, N, ...*) o moléculas ( $NO_3$ ,  $PO_4$ , ...).

Procesos biológicos (*DBO, ...*)

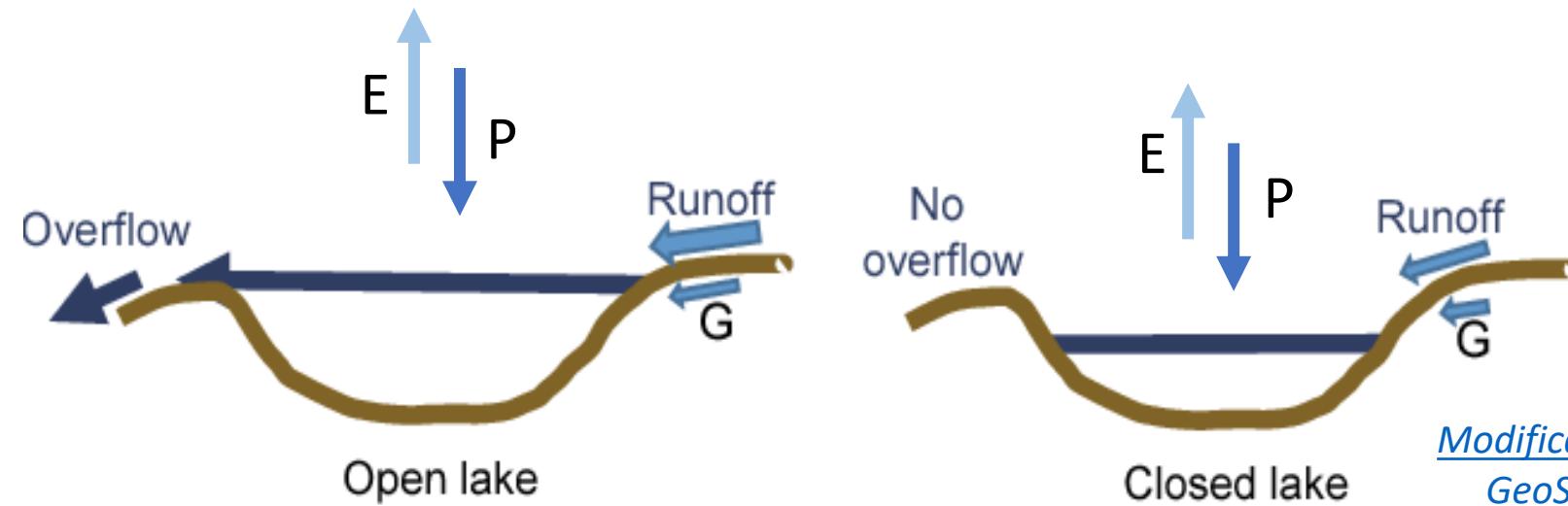


## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Salinidad

Cantidad de sólidos disueltos en un kg de agua (g/L).

La salinidad viene determinada por la **escorrentía** sobre el suelo y rocas en la cuenca de drenaje, la **precipitación atmosférica**, y el balance **evaporación** y **precipitación**.



*Modificado de Lewis 206.  
GeoScience Canada*

SALINIDAD CONTROLADA POR:

Escorrentía

Precipitación y evaporación

## b) Salinidad y conductividad eléctrica

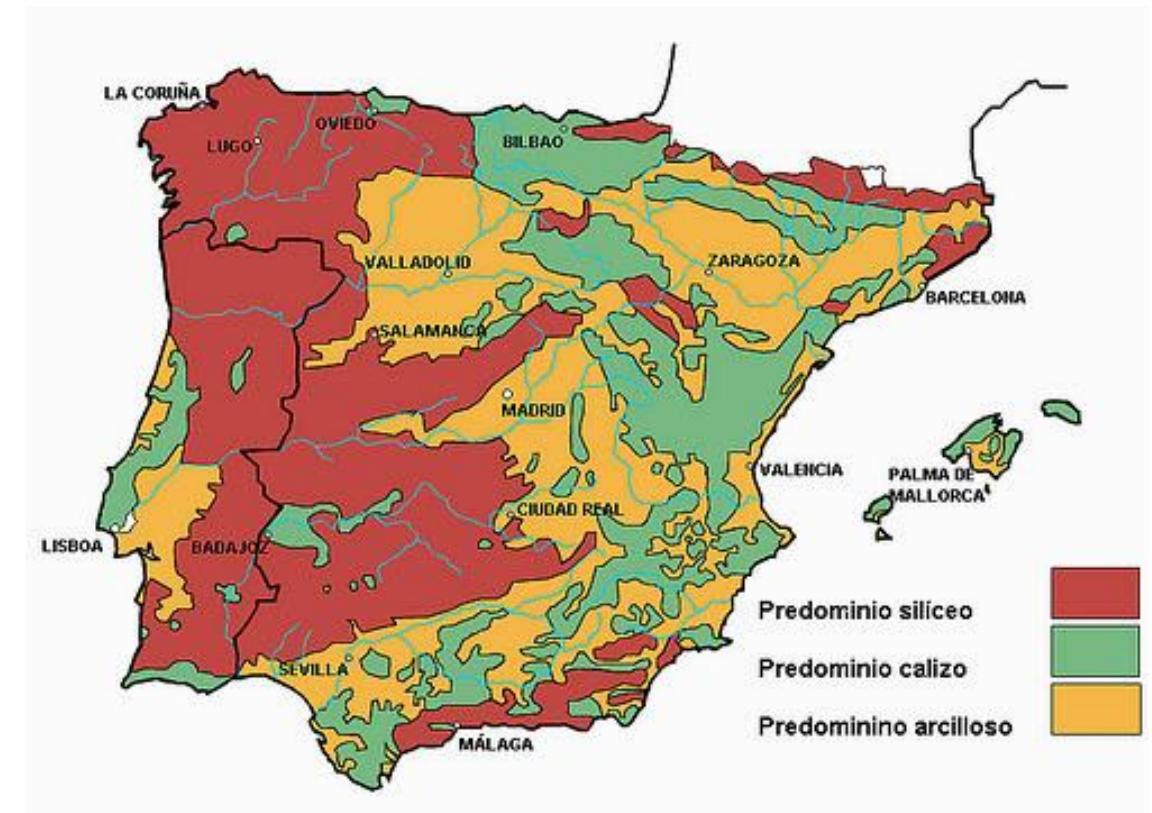
### Salinidad

La salinidad viene controlada principalmente por 4 cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{K}^+$ ) y cuatro aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , and  $\text{Cl}^-$ ).

Según su concentración en sales podemos distinguir:

**AGUAS BLANDAS:** baja concentración de sales,  
drenaje por *rocas ígneas*.

**AGUAS DURAS:** alta concentración de sales,  
drenaje por *terrenos calizos*.



## b) Salinidad y conductividad eléctrica

---

### Salinidad

#### Elementos de proporcionalidad constante o conservativos:

Sus proporciones apenas varían en el tiempo para un determinado ecosistema acuático. Son elementos conservativos.

Su importancia para los organismos está en la determinación de condiciones osmóticas y pH. (habitualmente Cl, Na, Ca, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>...)

#### Elementos de proporcionalidad variable o dinámicos:

Sus concentraciones y proporciones cambian notablemente en espacio y tiempo, en parte como consecuencia de la acción de los organismos.

Ejercen principalmente un rol como recursos, a veces escasos en los sistemas acuáticos (N, P, O, Fe...).



## b) Salinidad y conductividad eléctrica

---

### Salinidad

Principales iones en aguas de mar y “dulces”

**Tabla 2-3**  
**Composición relativa comparada**  
**del agua de mar y del agua dulce,**  
**en % de equivalentes**  
**de los principales iones.**

	Agua de mar	Aqua dulce
$\text{Ca}^{++}$	3,42	63,5-68,2
$\text{Mg}^{++}$	17,6	17,4-25,4
$\text{Na}^{+}$	77,2	4,5-15,7
$\text{K}^{+}$	1,65	1,9- 3,4
$\text{Sr}^{++}$	0,05	
$\text{Cl}^{-}$	90,2	3,9-10,1
$\text{SO}_4^{=}$	9,3	10,0-16,0
$\text{HCO}_3^{-}$	0,39	73,9-85,4
$\text{Br}^{-}$	0,17	
$\text{F}^{-}$	0,01	

### Tipos de aguas según su salinidad total

---

Dulce	1-11 g/L
Salobres	11-30 g/L
Marinas	35 g/L
Atalasohalinas	hasta 226 g/L

*Atalasohalino:* aguas con elevada salinidad, pero de composición diferente al agua marina (e.j. Mar muerto).



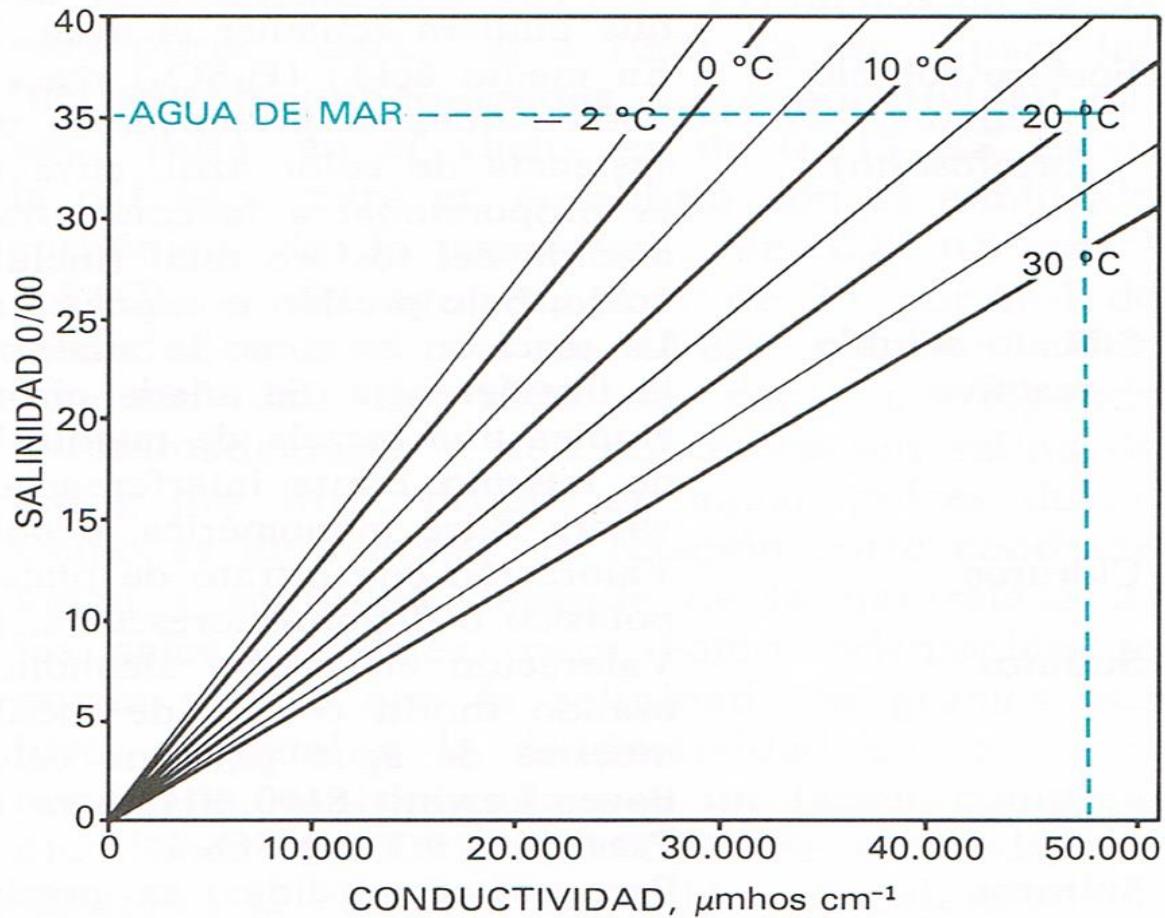
## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Una estima sencilla de la salinidad

La **conductividad eléctrica**, una forma fácil de estimar el contenido de sales disueltas en agua, aunque también depende de la temperatura.

La CE se define como la cantidad de electricidad transportada de un electrodo a otro en un segundo a través de una sección de un  $\text{cm}^2$ , a una diferencia de potencial de un voltio y se expresa en  $\mu\text{Siemens}/\text{cm}$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Para poder comparar se suele utilizar la **conductividad específica a 25°C**.

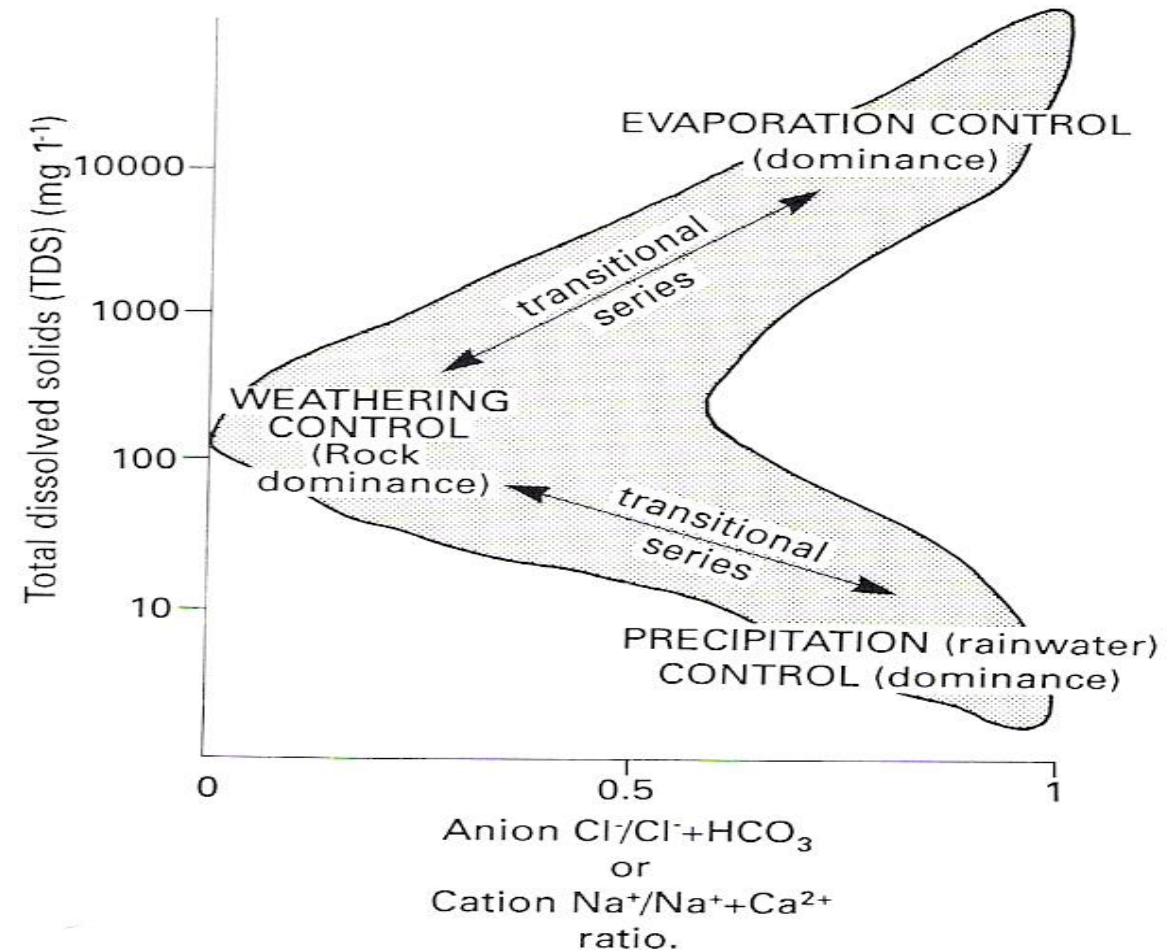


*Relación entre salinidad y conductividad en función de la temperatura.*

## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Procesos que controlan cantidad y calidad de sales en las aguas continentales

Clasificación de las aguas continentales del mundo basada en la relación sodio/calcio y cloruros/bicarbonatos, en relación con el total de sales disueltas (STD). En el centro se localizan las aguas cuya composición depende del **material geológico dominante**. De izquierda hacia la derecha del brazo inferior se localizan las aguas de baja salinidad (la mayoría de los grandes ríos del mundo). En este brazo la concentración de sales depende de las **lluvias** (altas precipitaciones). En el otro brazo se localizan los ríos de alta salinidad de las regiones más áridas de la Tierra, donde la **evaporación** es el proceso dominante. De izquierda a derecha la dominancia del Na y el Cl frente al Ca y el bicarbonato es evidente (Gibbs, 1970 y Payne, 1986).

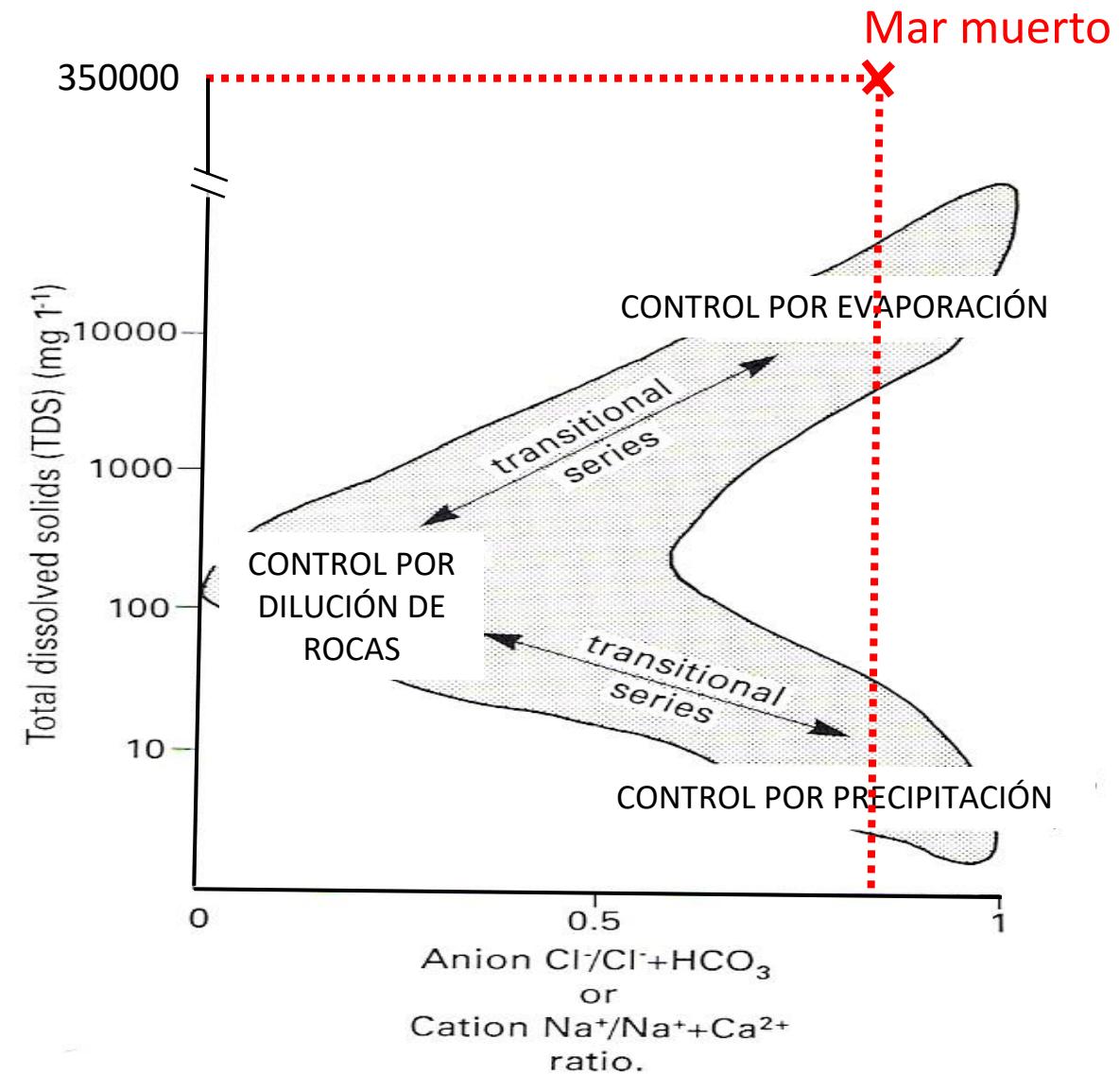


**Fig. 6.25** Processes controlling the chemistry of global surface waters (after Gibbs, 1970).

## b) Salinidad y conductividad eléctrica

Procesos que controlan cantidad y calidad de sales en las aguas continentales

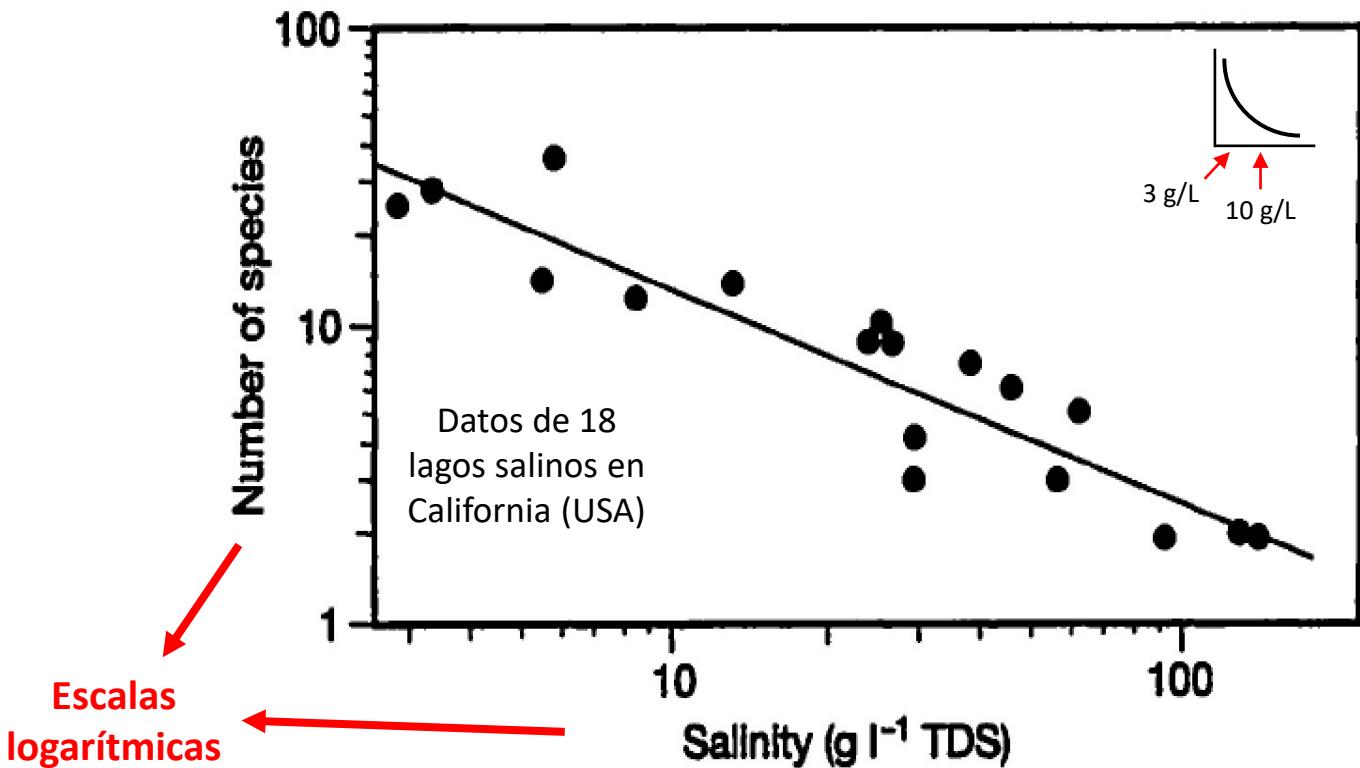
El mar muerto tiene una salinidad de **350 g/L** (~350000 mg/L) y una ratio Na/Ca de aprox. 0.81



## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Efectos sobre la biota

↑ Salinidad  
↓ Solubilidad O<sub>2</sub>



Relación entre el logaritmo de la riqueza de especies de macrobentos y la salinidad (expresada como sólidos totales disueltos) de 18 lagos en California. Observa en la parte derecha y superior de la figura, como entre 3 y 10 g/L de salinidad disminuye rápidamente la riqueza de especies y cómo lo hace más despacio a partir de los 10 g/L.

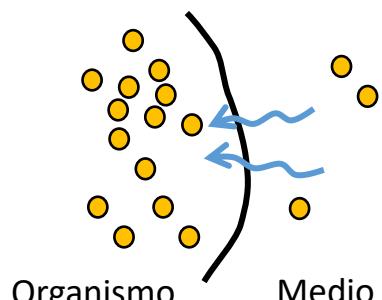
## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Efectos sobre la biota

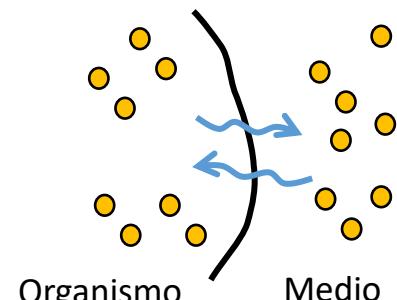
En el **mar** la concentración de sal varía poco, por lo tanto no hay necesidad de **osmorregulación** (**organismos poiquilosmóticos**).

En hábitats **salobres** o **dulces** sólo pueden vivir organismos capaces de llevar a cabo la **osmorregulación**.

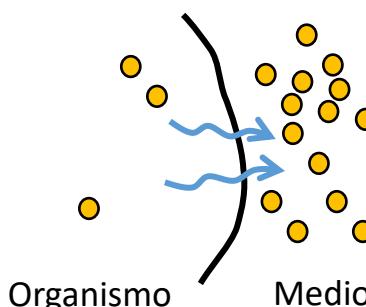
Hasta **80 g/L** podemos encontrar **flora y fauna especializada**



REGULACIÓN HIPERTÓNICA

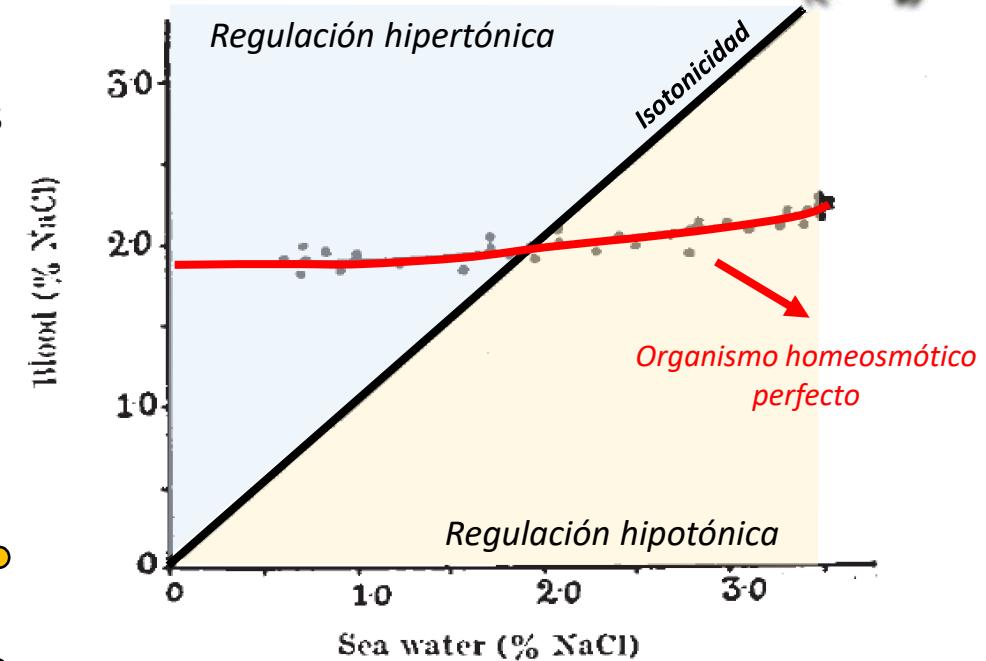


VIDA ISOTÓNICA



REGULACIÓN HIPOTÓNICA

*Palaemonetes varians*



La mayoría de organismos mantienen su osmorregulación hasta que llegan al punto isotónico en el que su presión osmótica interior es igual a la presión del medio.

## b) Salinidad y conductividad eléctrica

---

### Efectos sobre la biota



Entre **65 y 120 g/L** dominan las algas cianofíceas filamentosas que forman duros tapices laminados sobre el fondo de los etanques.

A partir de **120 g/L** desaparecen la mayor parte de organismos macrobentónicos. Aparece la Artemia salina. Entre 205 y 300 g/L domina la fauna planctónica como *Artemia salina*.

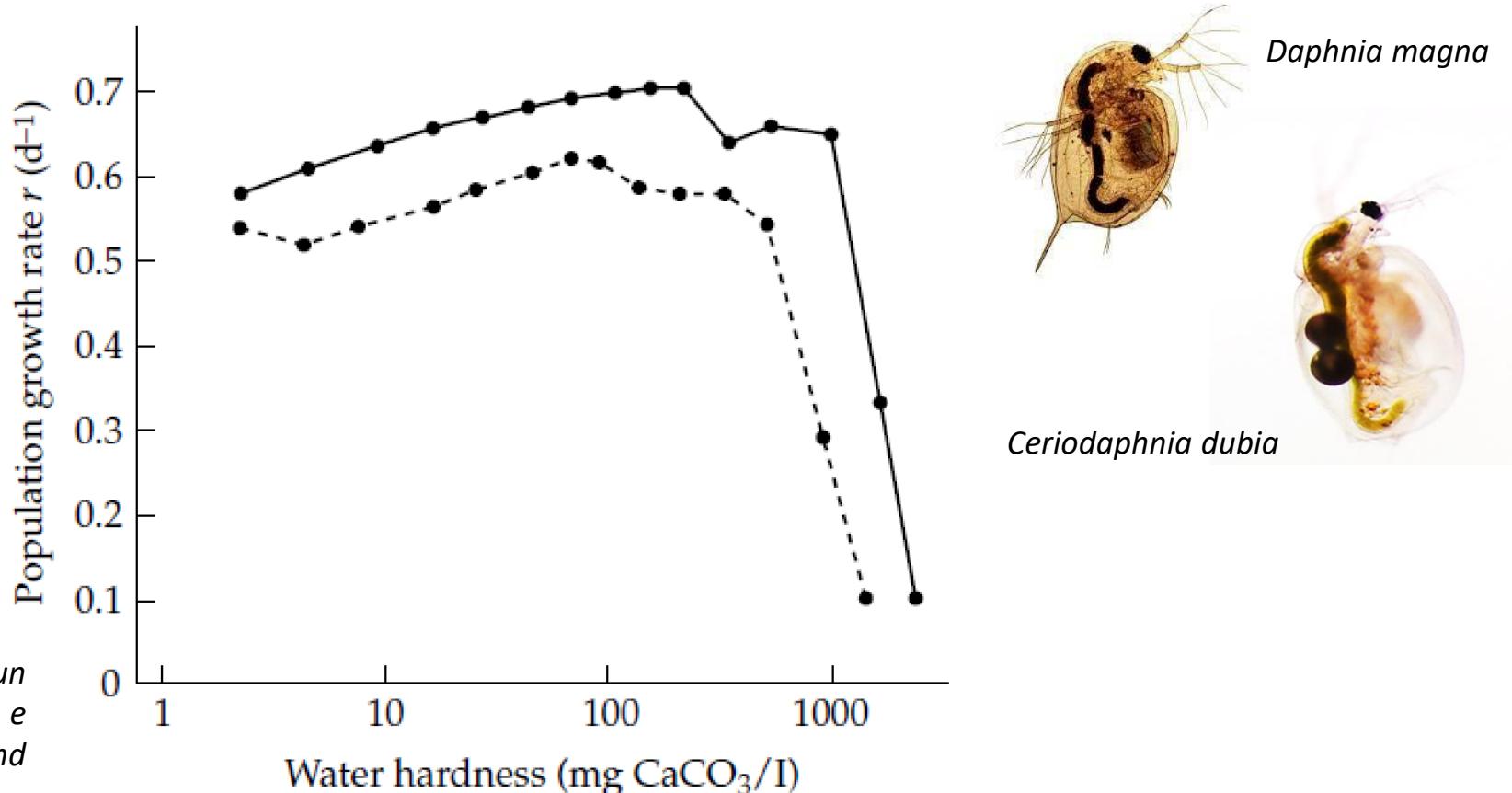
A partir de los **300 g/L** precipita la sal común. La salinidad es extrema. Sólo aparecen organismos microscópicos especializados. E.j. el alga flagelada *Dunaliella salina*, la cual produce gran cantidad de carotenoides que son responsables del color rojizo que adquieren las salinas.



## b) Salinidad y conductividad eléctrica

### Efectos sobre la biota

La osmorregulación conlleva el gasto de energía, y por lo tanto una reducción del **fitness** del organismo.



Decrecimiento de la población de cladóceros por un aumento de la dificultad de regulación osmótica e iónica (Obtenida de Limnoecology. Lampert and Sommer 1997).



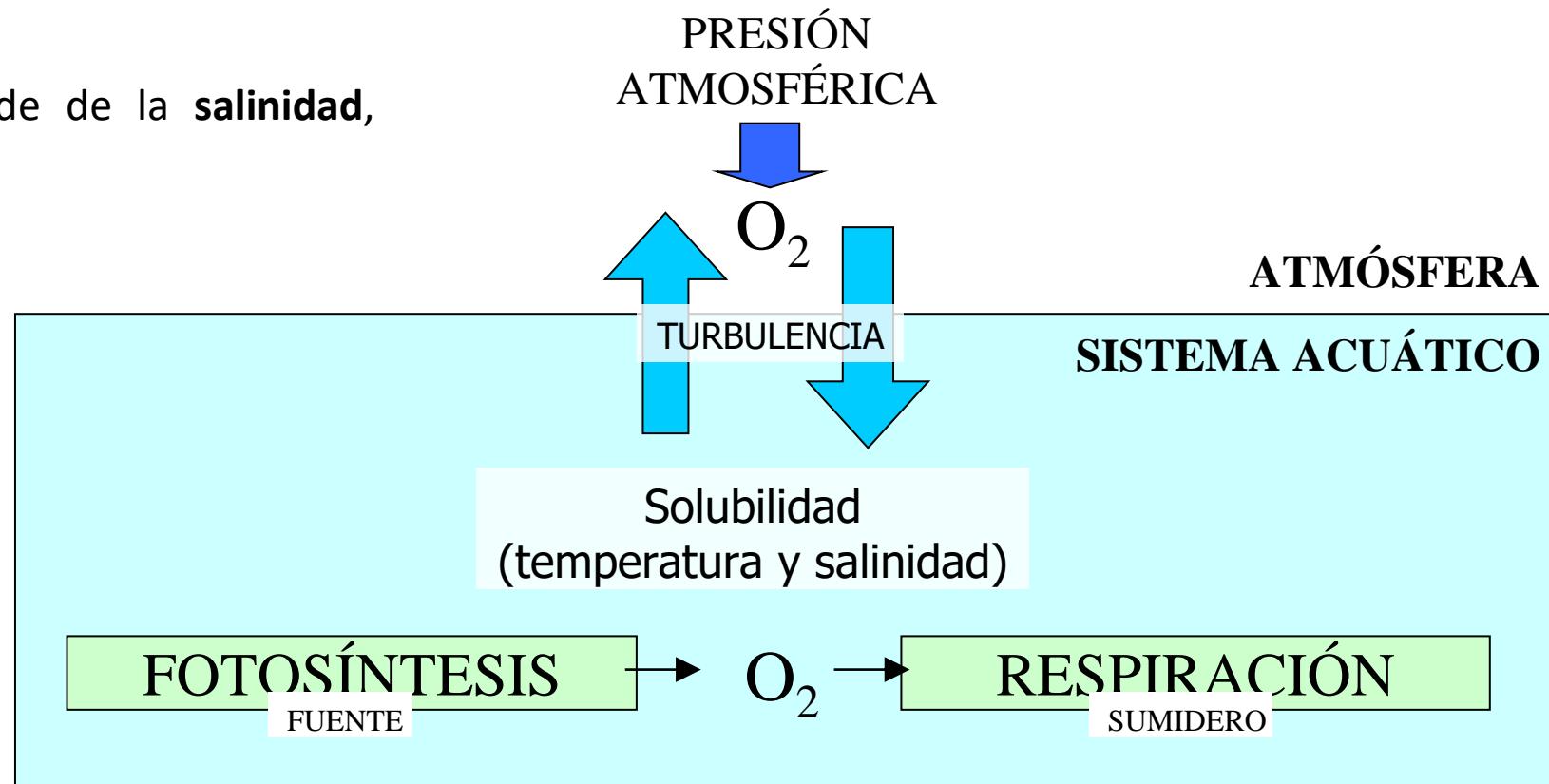
## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

El **oxígeno disuelto (OD; mg/litro)** es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos con respiración aeróbica. Diferenciamos ecosistemas **ÓXICOS** o **AERÓBICOS** de **ANÓXICOS** o **ANAERÓBICOS**.

La solubilidad del oxígeno depende de la **salinidad**, **temperatura** y **presión atmosférica**.

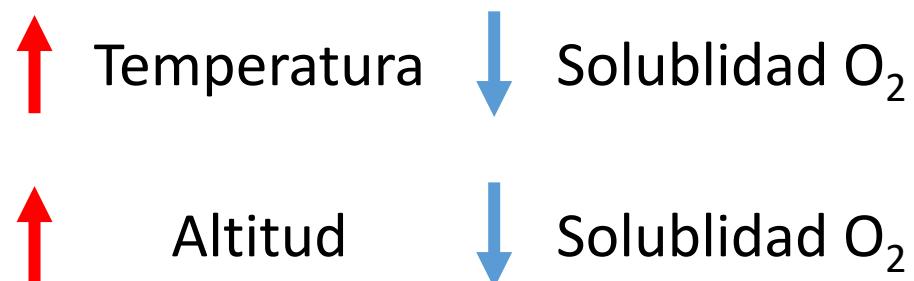
La cantidad de oxígeno disuelto en el agua también dependerá de las tasas de actividad metabólica (**fotosíntesis** y **respiración**), y de la *turbulencia* del sistema.



## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

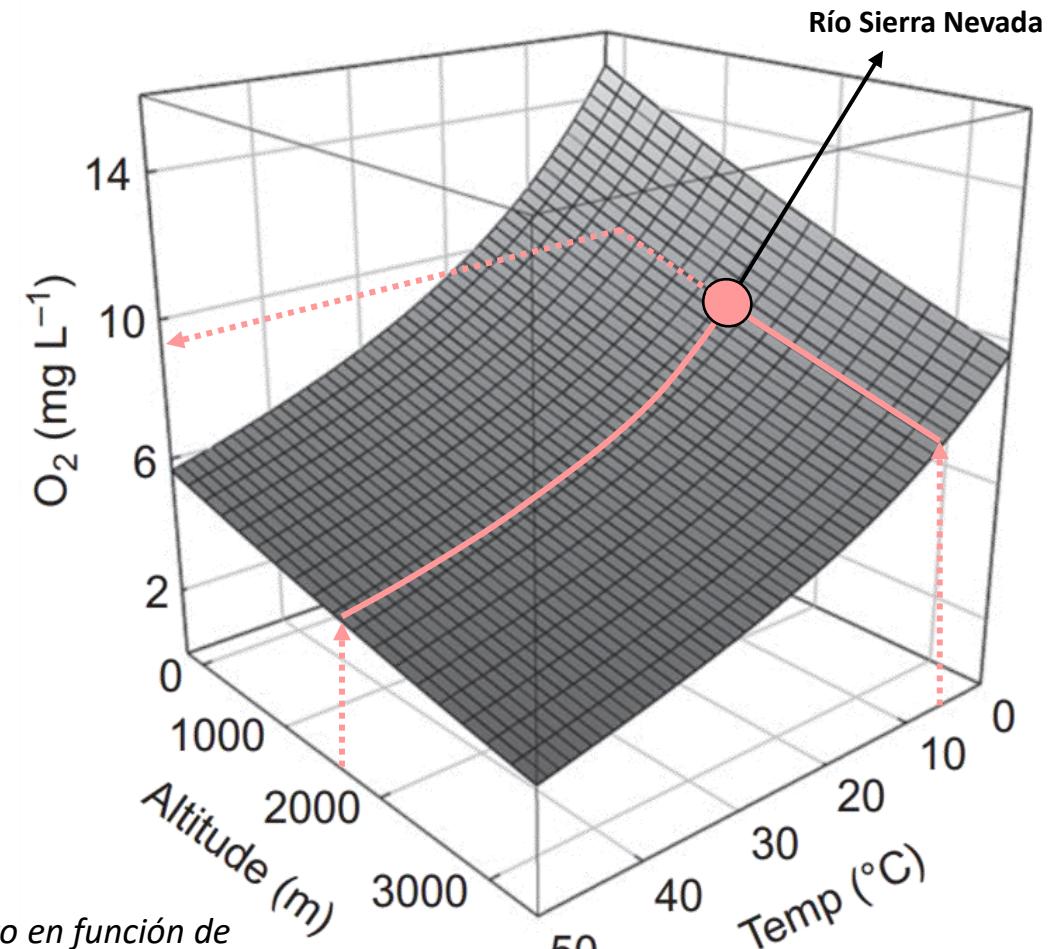
Temperatura y presión atmosférica (altitud).



La presión atmosférica en una montaña muy alta (e.j 5400 m) puede ser la mitad de la existente a nivel del mar.

La solubilidad del  $O_2$  aumenta con la **profundidad** en el agua por un aumento de presión.

Concentraciones de saturación de oxígeno disuelto en función de temperatura y altitud (Obtenida de Freshwater Ecology. Dodds 2002).



## b) Gases disueltos: Oxígeno

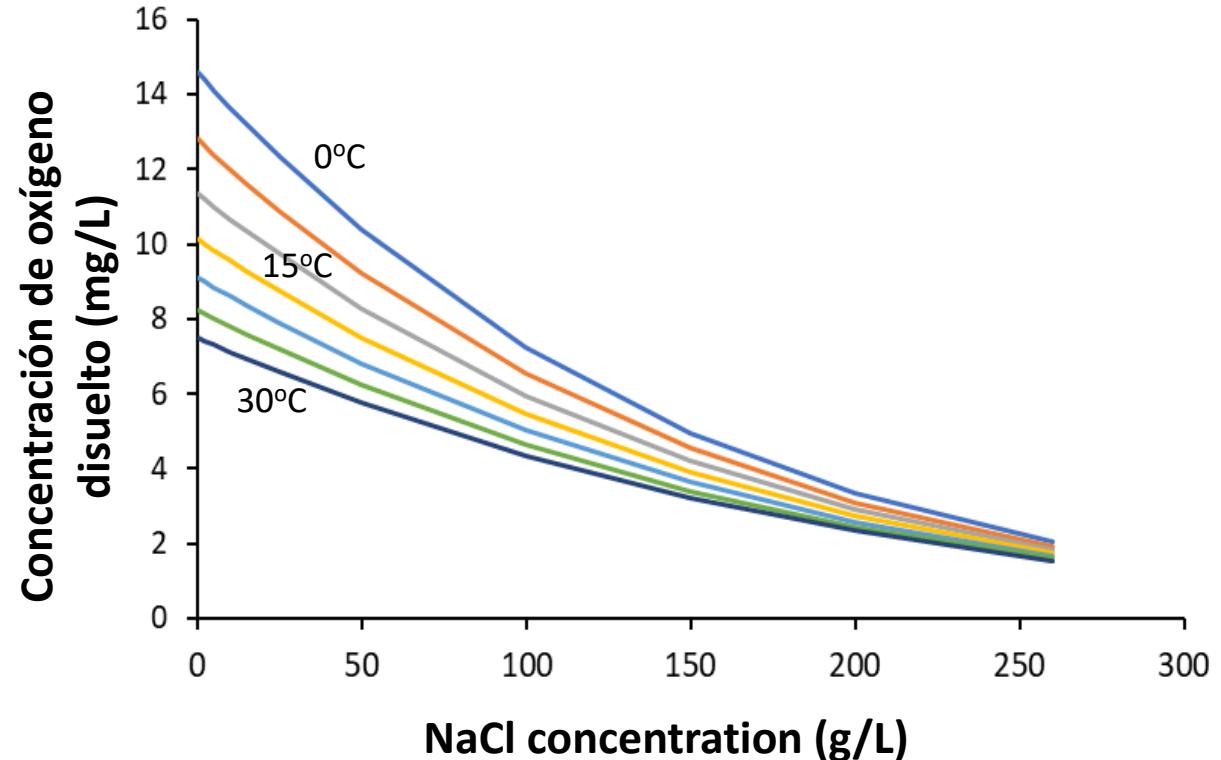
### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

*Salinidad*

↑ Salinidad

↓ Solubilidad O<sub>2</sub>

El **hipolimnion** de lagos salinos puede surrir hipoxia o anoxia.



El agua del mar y de lagos salados con una salinidad de aproximadamente 35000 mg/L, contiene alrededor de **20% menos oxígeno disuelto** en saturación que el agua destilada a la misma temperatura.

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

*Salinidad*

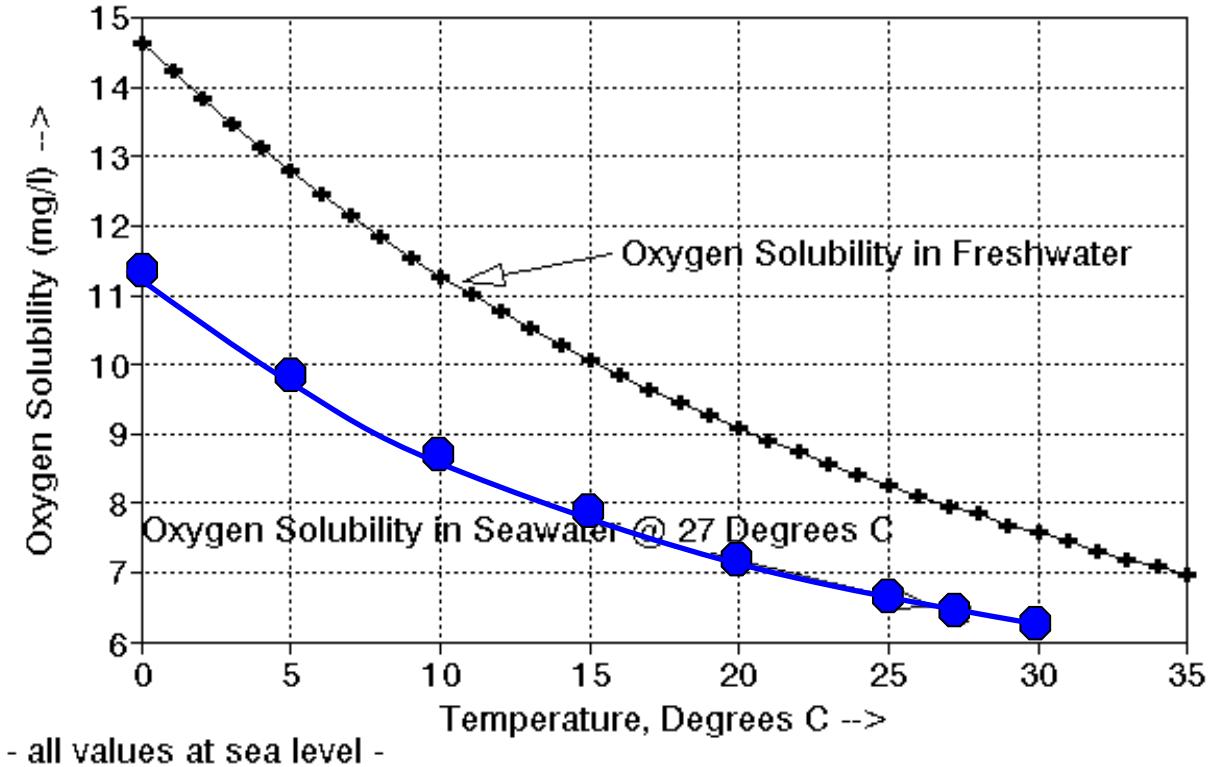


Salinidad



Solubilidad O<sub>2</sub>

El **hipolimnion** de lagos salinos puede surrir hipoxia o anoxia.



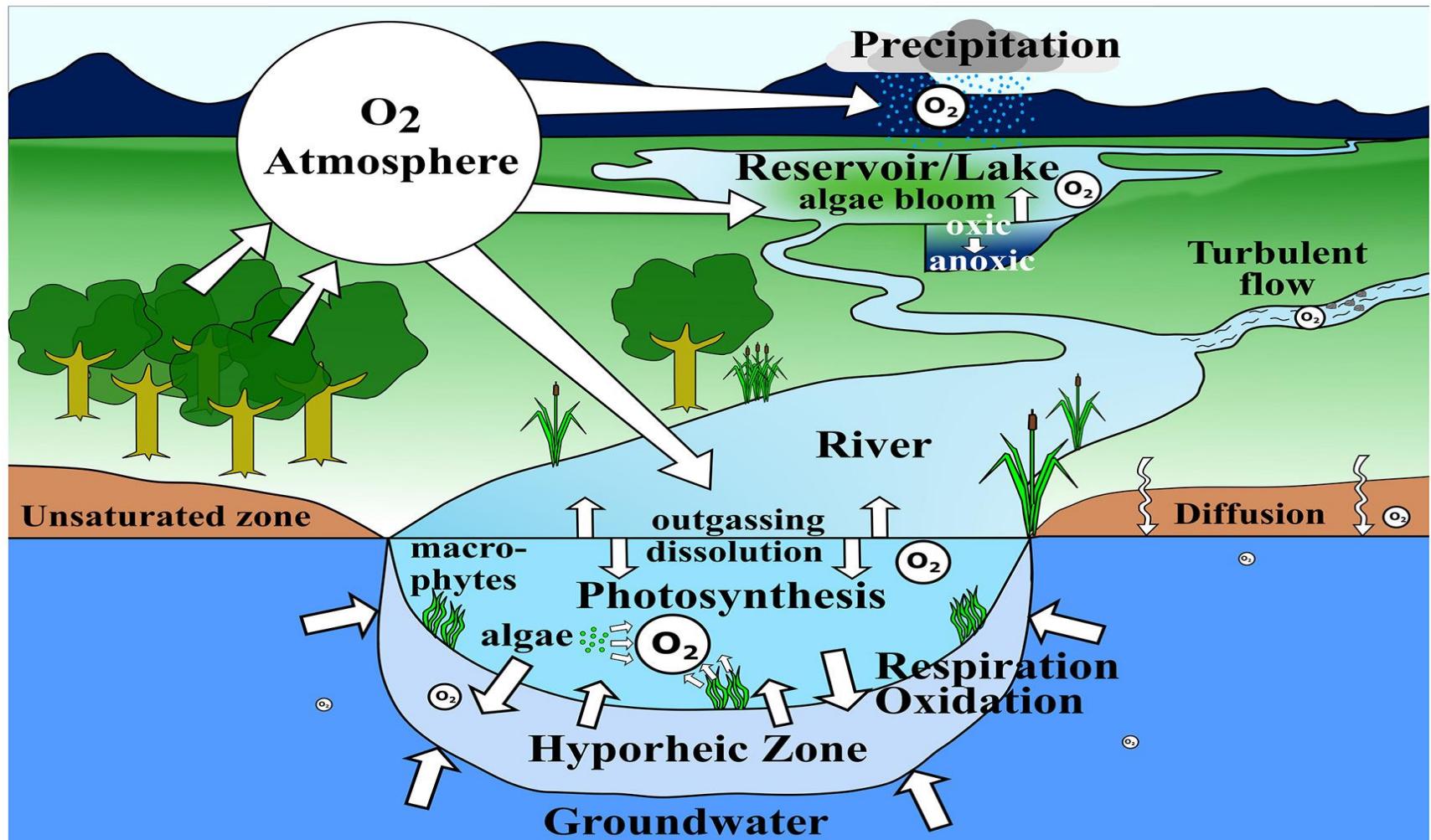
El agua del mar y de lagos salados con una salinidad de aproximadamente 35000 mg/L, contiene alrededor de **20% menos oxígeno disuelto** en saturación que el agua destilada a la misma temperatura.

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### Actividad biológica

El intercambio de gases con la atmósfera pierde importancia al acercarnos a la desembocadura de un río, debido al gran volumen de agua presente bajo la superficie que tiene escaso contacto con la atmósfera.

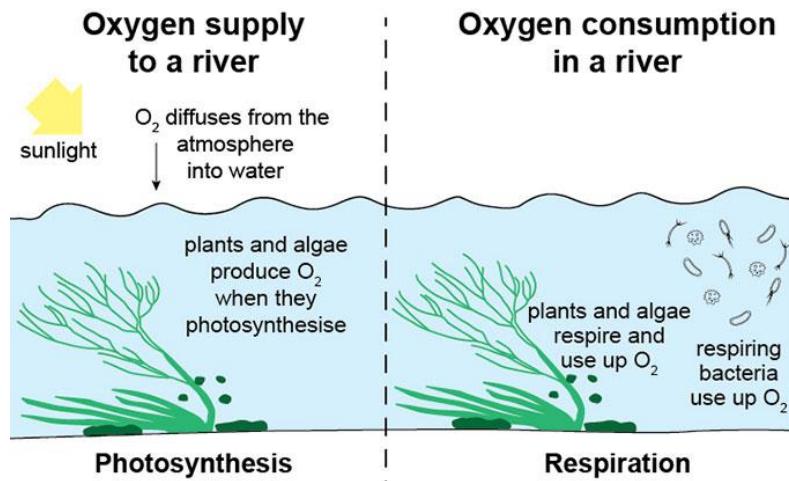


## b) Gases disueltos: Oxígeno

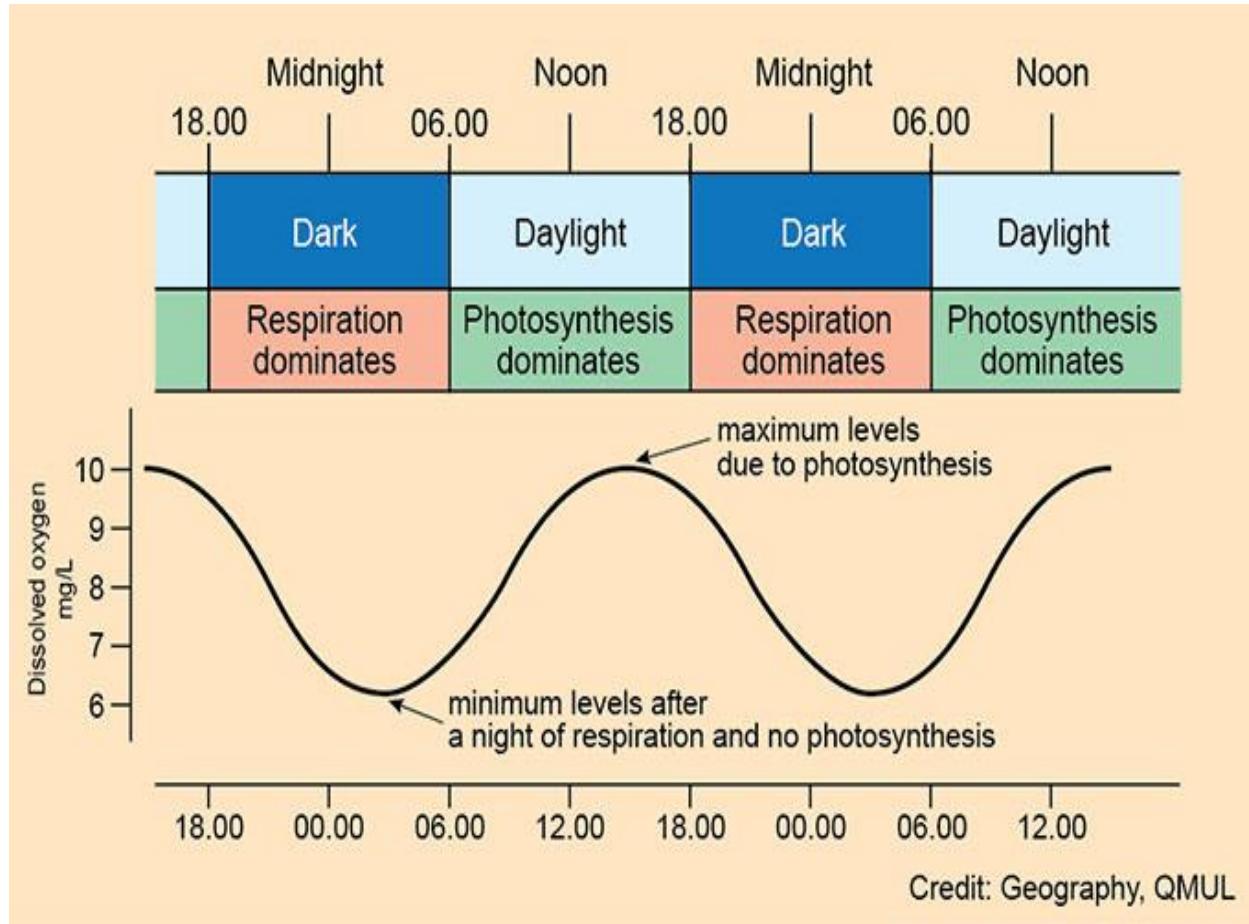
### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### Actividad biológica

La **dinámica diaria** de la concentración de OD está condicionada principalmente por la actividad biológica (**fotosíntesis y respiración**).



¿Podrían darse estas fluctuaciones diarias sin actividad biológica, es decir, sólo a causa de la temperatura?

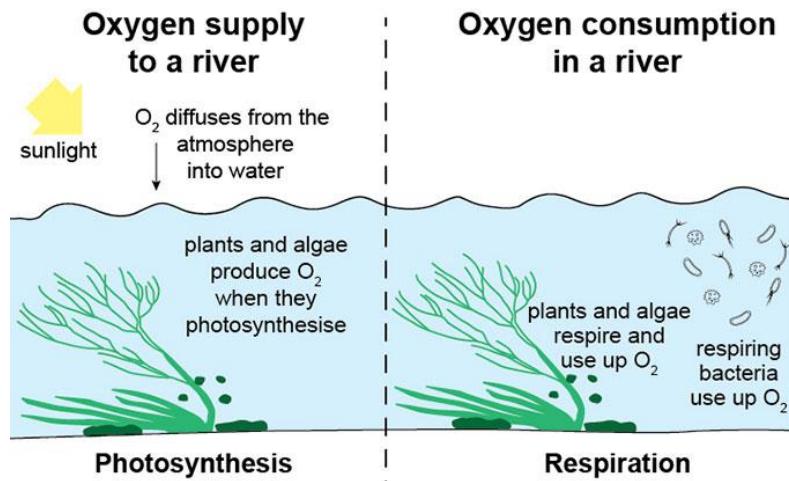


## b) Gases disueltos: Oxígeno

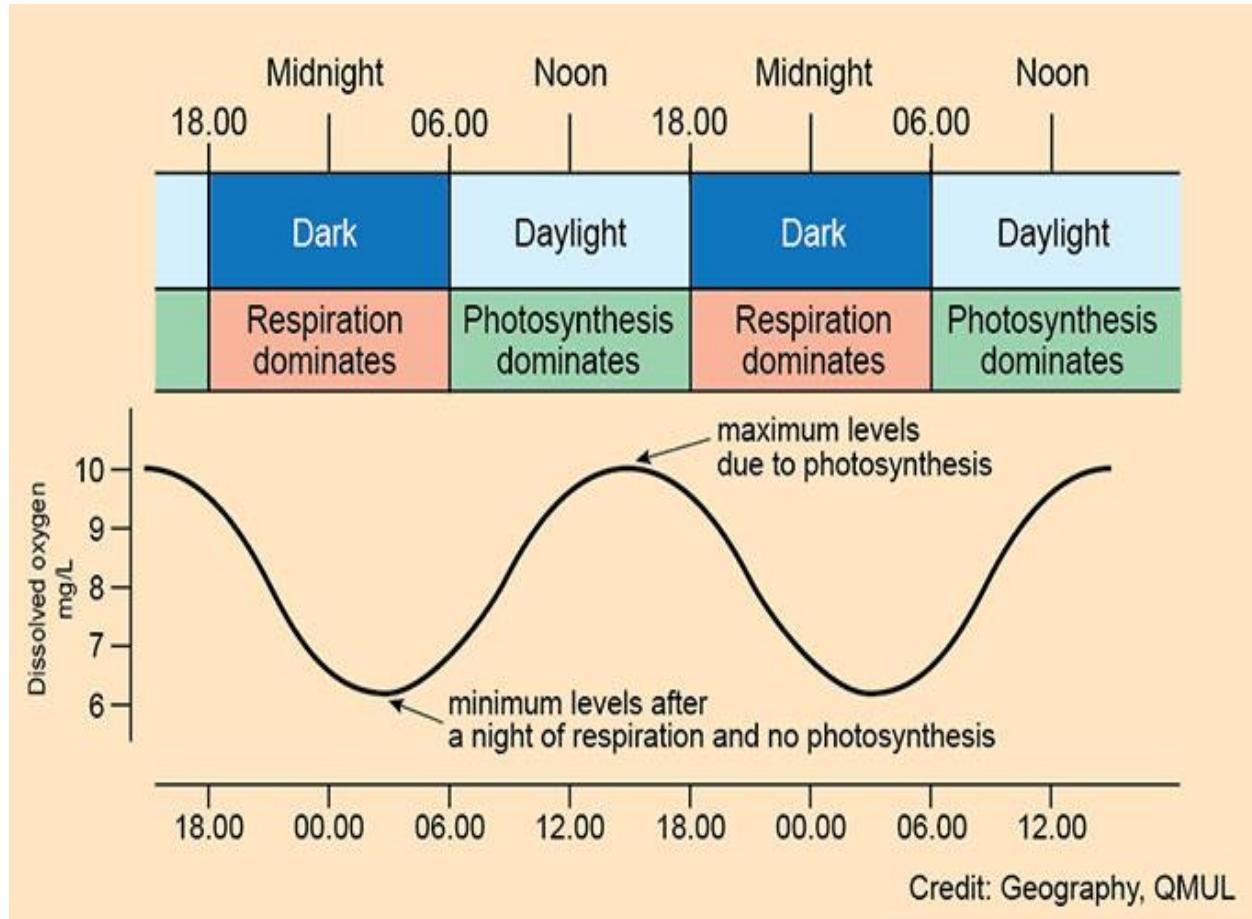
### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### Actividad biológica

La **dinámica diaria** de la concentración de OD está condicionada principalmente por la actividad biológica (**fotosíntesis y respiración**).



La fluctuación de OD debido a la temperatura presentaría el efecto contrario: *T<sup>a</sup> bajas durante la noche, mayor OD; T<sup>a</sup> altas durante el día, menor OD.*



Credit: Geography, QMUL

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### *Actividad biológica*

La elevada productividad primaria de las **Albuferas de Adra** determina notables gradientes batimétricos de OD, a pesar de no presentar estratificación térmica

Anoxia: OD  $\approx 0 \text{ mg L}^{-1}$

Hipoxia: OD  $< 2 \text{ mg L}^{-1}$

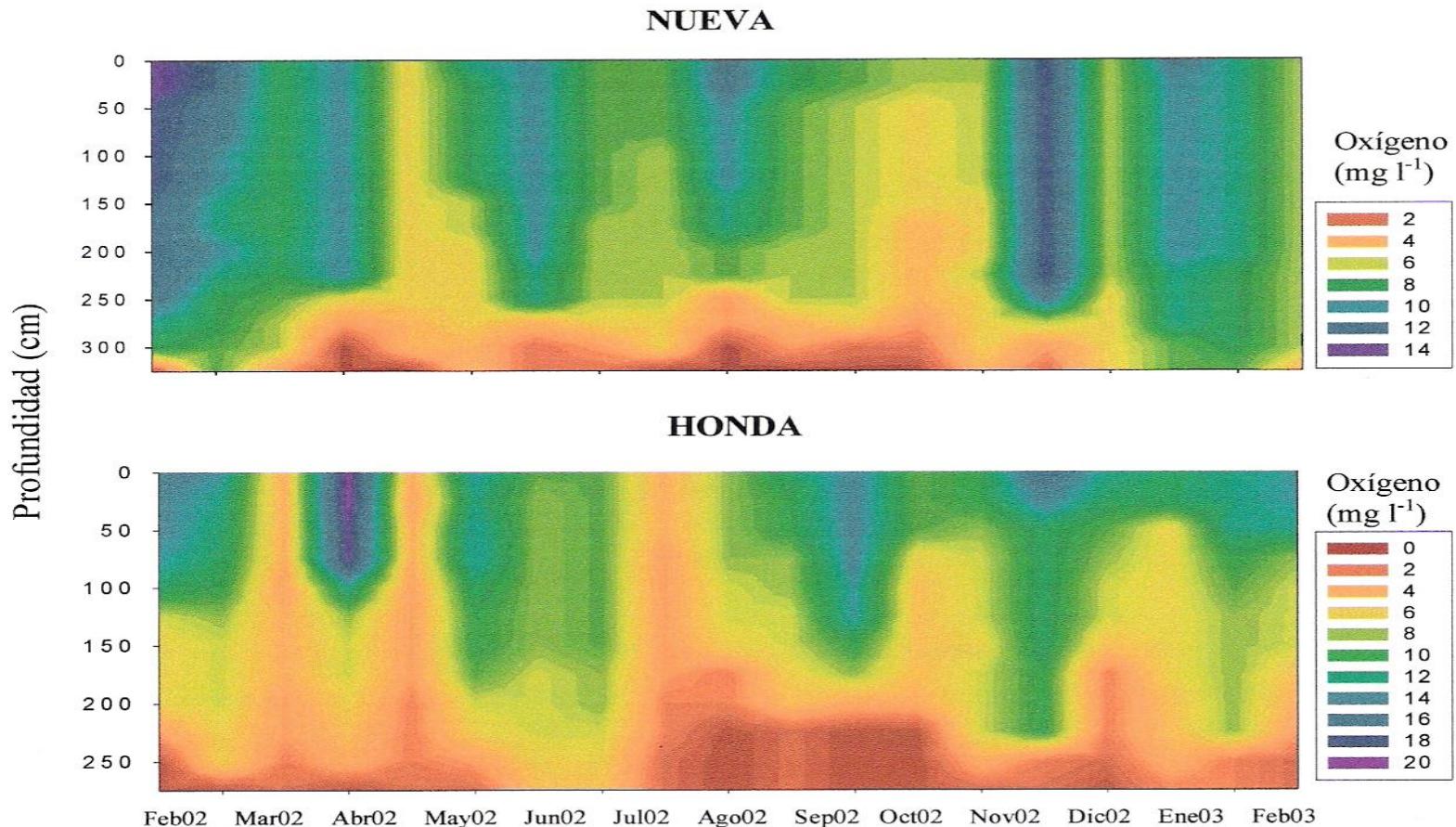


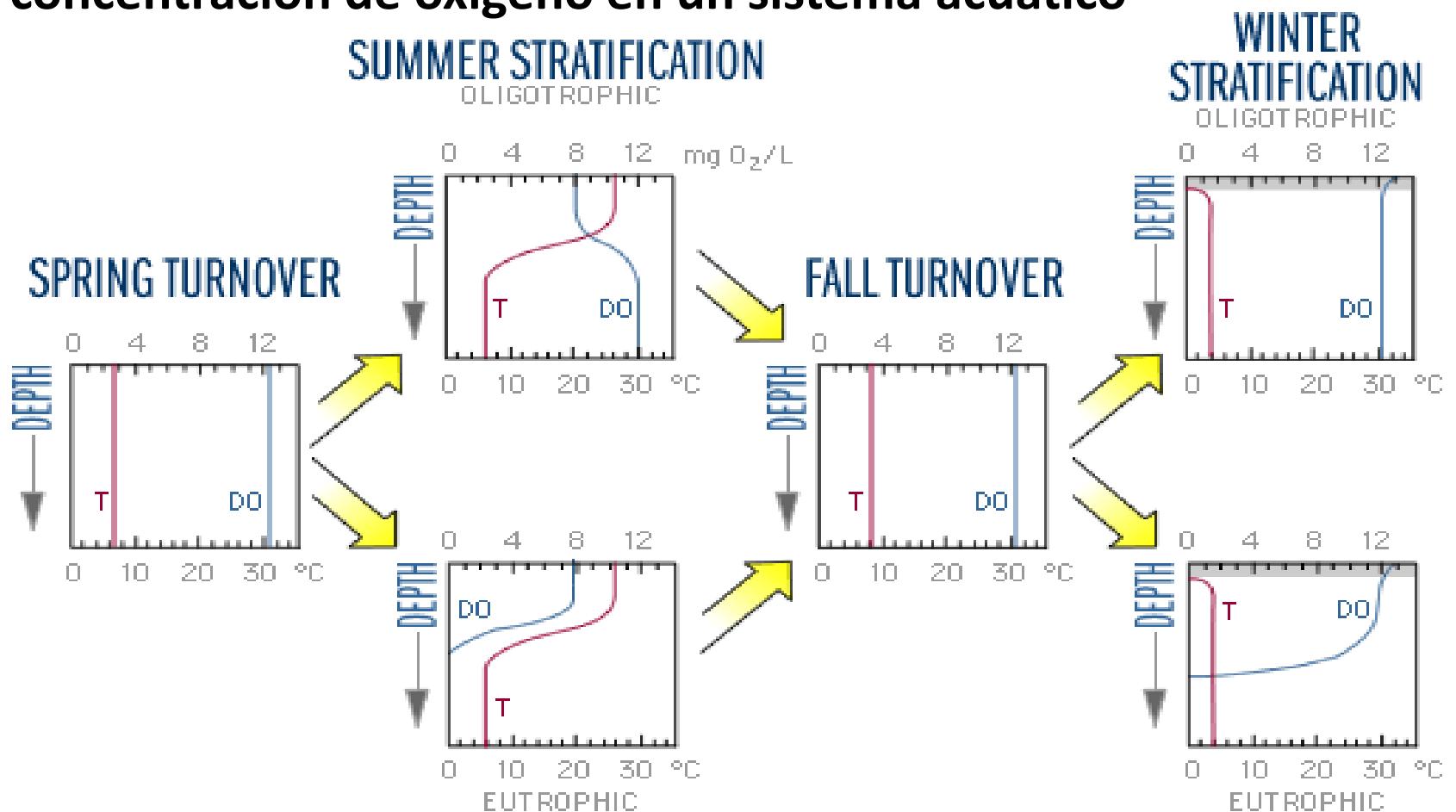
Figura 3.3.2.4.: Perfil vertical de oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en las albuferas Nueva y Honda a lo largo de un ciclo anual.

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### Estacionalidad

Cambios estacionales y tipos extremos de perfiles batimétricos de OD dependientes de la productividad



¿Qué está sucediendo?

Distribución vertical ideal de las concentraciones de oxígeno y de la temperatura durante las cuatro estaciones en dos lagos dimórficos: uno oligotrófico y otro eutrófico. Obtenida de [waterontheweb.org](http://waterontheweb.org). Adaptada de Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W.B.Saunders Company)



## b) Gases disueltos: Oxígeno

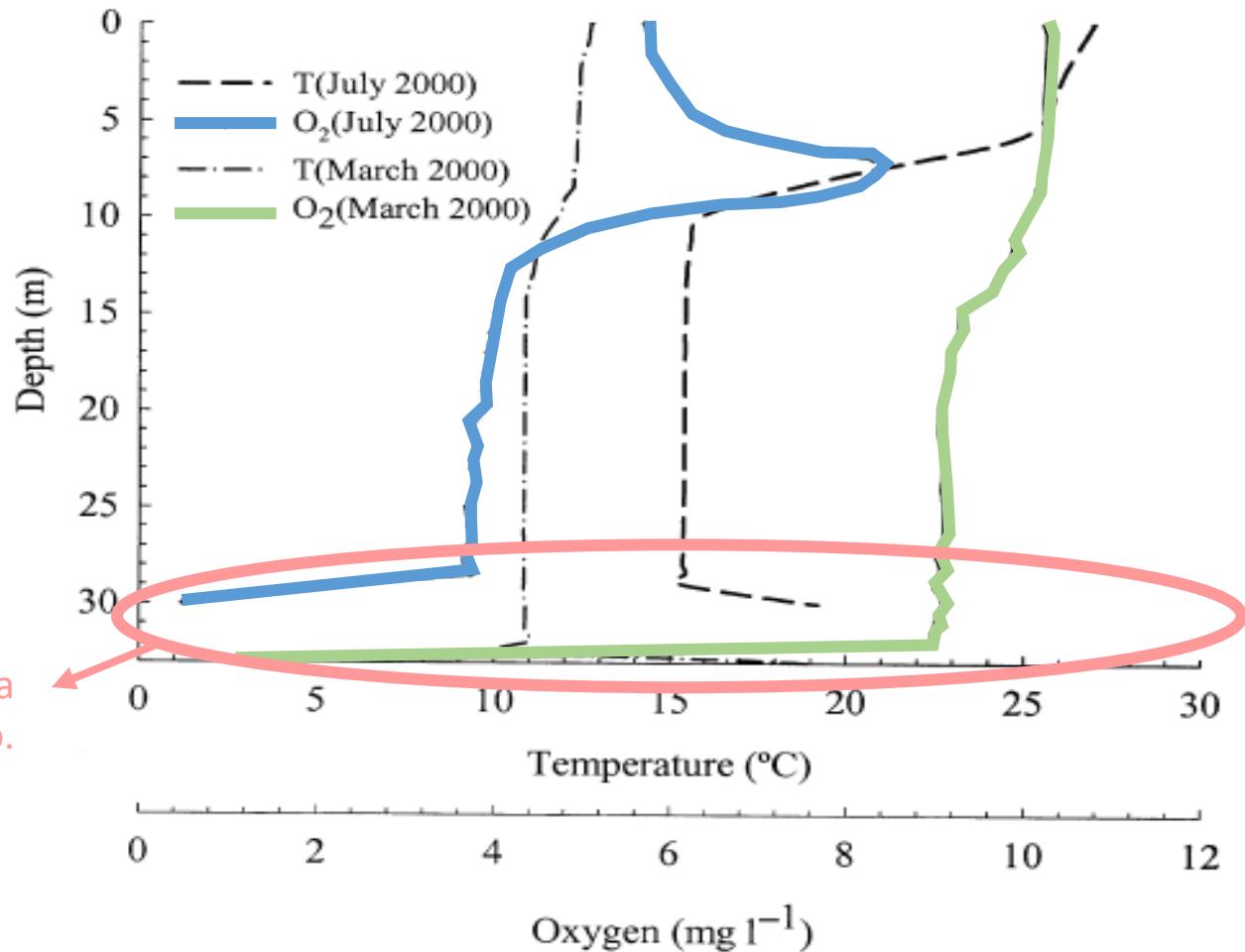
### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

#### *Aportes de agua subterráneas*

En sistemas cársticos los aportes de agua subterránea condicionan el perfil vertical de OD: El caso del Lago de Bañolas.

Aportes de agua subterránea, con baja concentración de oxígeno.

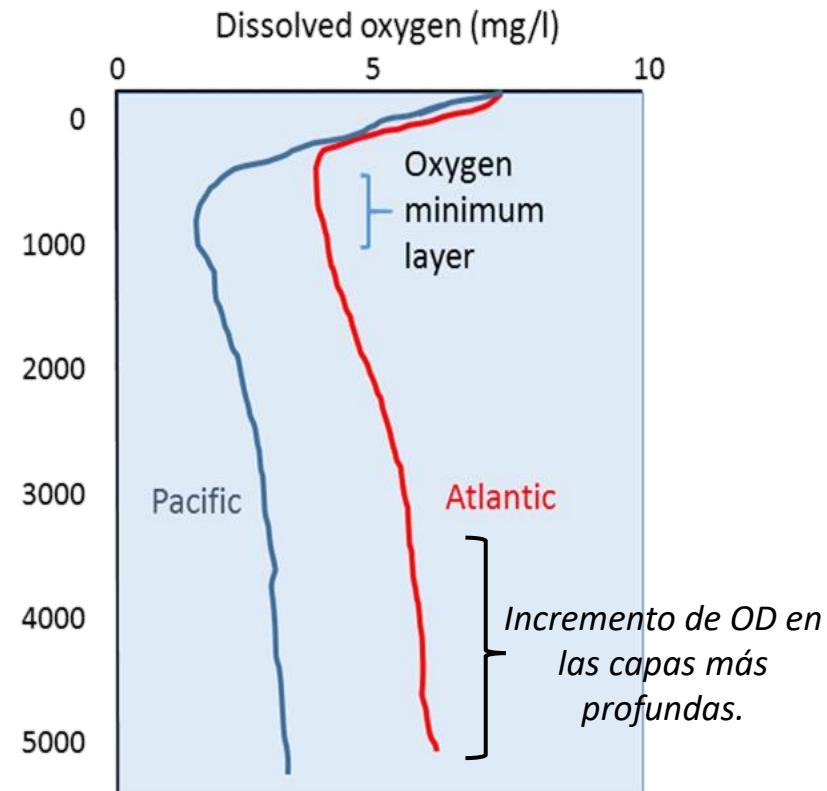
Perfil vertical de la temperatura y la concentración de oxígeno entre Marzo y Julio del 2000.



## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

En océano abierto el mínimo de oxígeno disuelto normalmente no se registra en las zonas más profundas



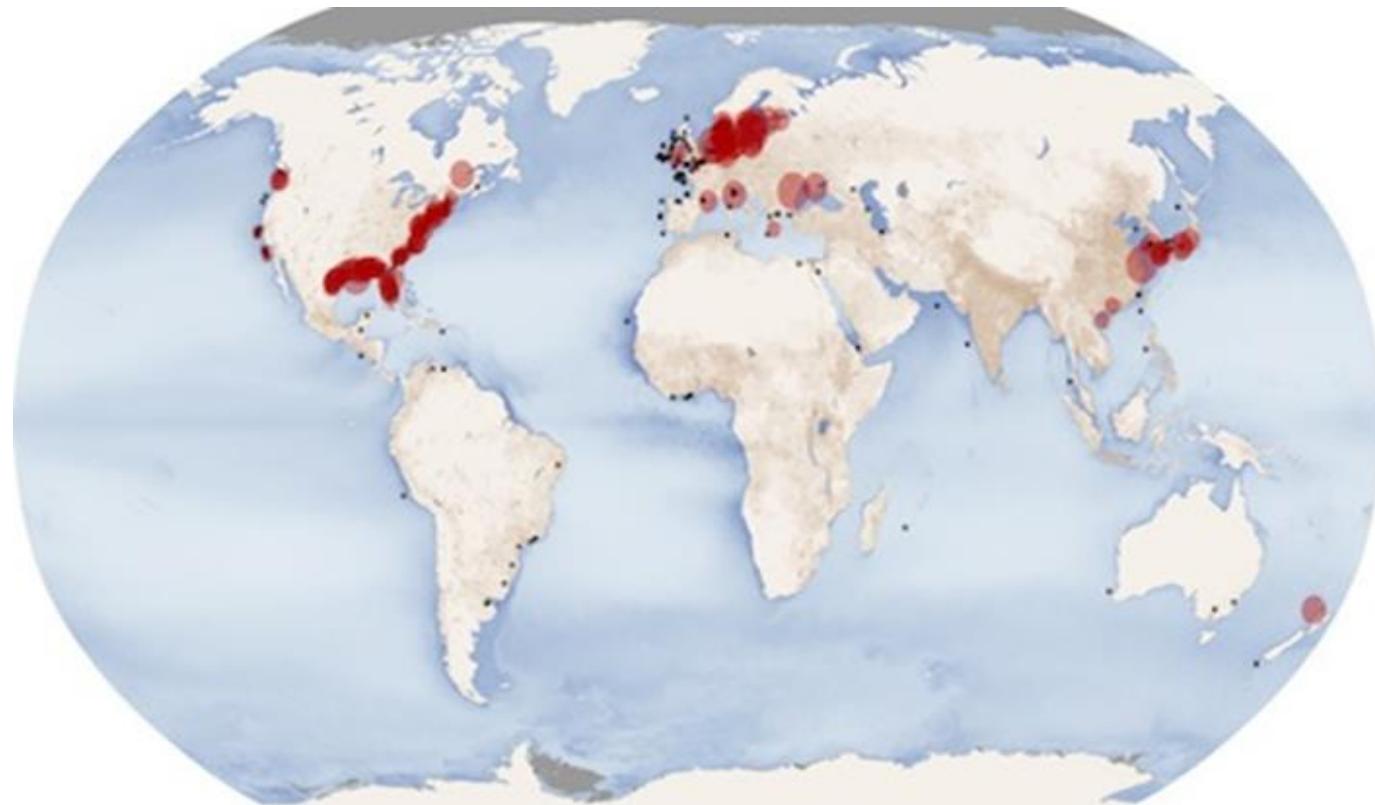
En las regiones polares, el agua fría de la superficie absorbe mucho oxígeno. Esta agua fría y rica en oxígeno se hunde hasta el fondo debido a su alta densidad, llevándose consigo el oxígeno.

El agua de fondo rica en oxígeno se forma en las regiones polares del Atlántico, y lentamente se dirige hacia el Pacífico, con el oxígeno que se elimina para la respiración en el camino. Es por ello que los niveles de oxígeno disuelto en las aguas profundas del Pacífico son generalmente menores que en el Atlántico

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Factores que controlan la concentración de oxígeno en un sistema acuático

En algunos mares muy cerrados y zonas costeras se observa hipoxia y anoxia.



Zonas de hipoxia/anoxia en el mundo

P.e. Mar Menor (Cartagena, Múrcia)



*[Ir a diapositiva 38 Tema 1.](#)*

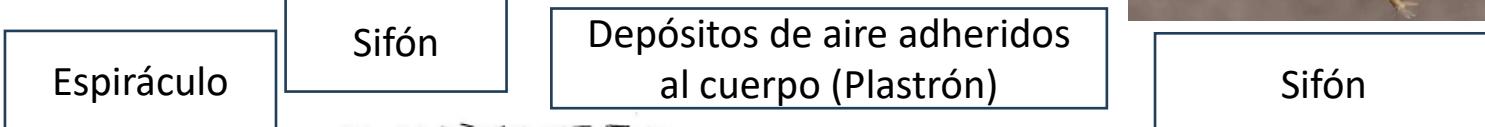
## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Respiración de organismos acuáticos.

Difusión a través del tegumento  
(organismos < 1mm)



Sifones y espiráculos.



Branquias:

Epitelio vibrátil.

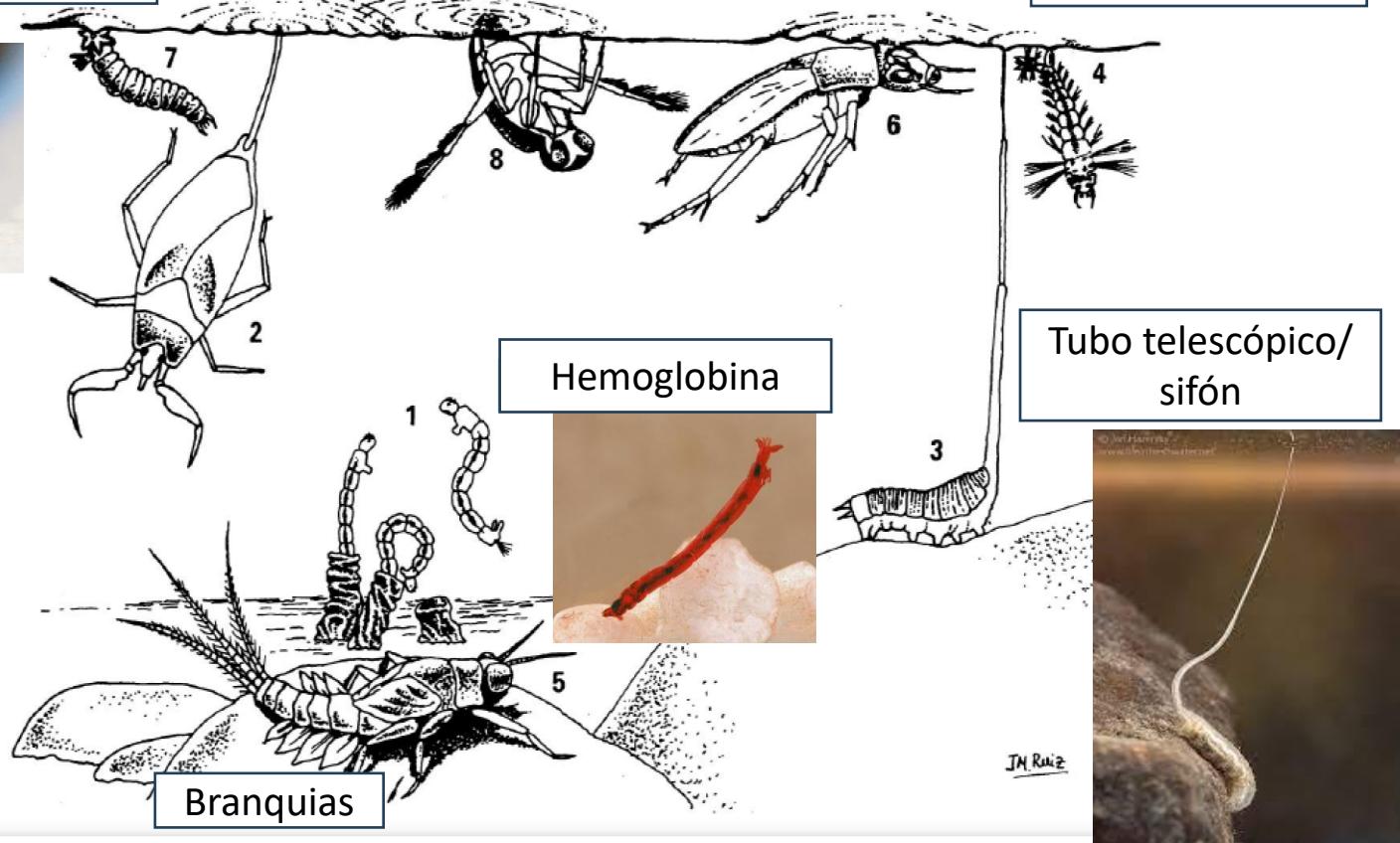
Branquias en apéndices locomotores.

Sistema de contracorriente (peces).

Hemoglobinas.



Comportamiento.



## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Medidas de la concentración de O<sub>2</sub>

El método más común para la medida de la concentración de O<sub>2</sub> en campo es un **electrodo de O<sub>2</sub>**.



#### Método de Winkler

Se basa en la reacción del yodo con las moléculas de oxígeno para formar yodato ( $\text{IO}_3^-$ ). El yodato es posteriormente titulado de nuevo hasta yodo. La cantidad de reactivo necesario para reaccionar con el yodato es directamente proporcional a la concentración de oxígeno. **REVISAR!**

Requiere más tiempo, pero suele tener mayor precisión que los electrodos.

Requiere la obtención de muestras evitando la introducción de O<sub>2</sub>.

## b) Gases disueltos: Oxígeno

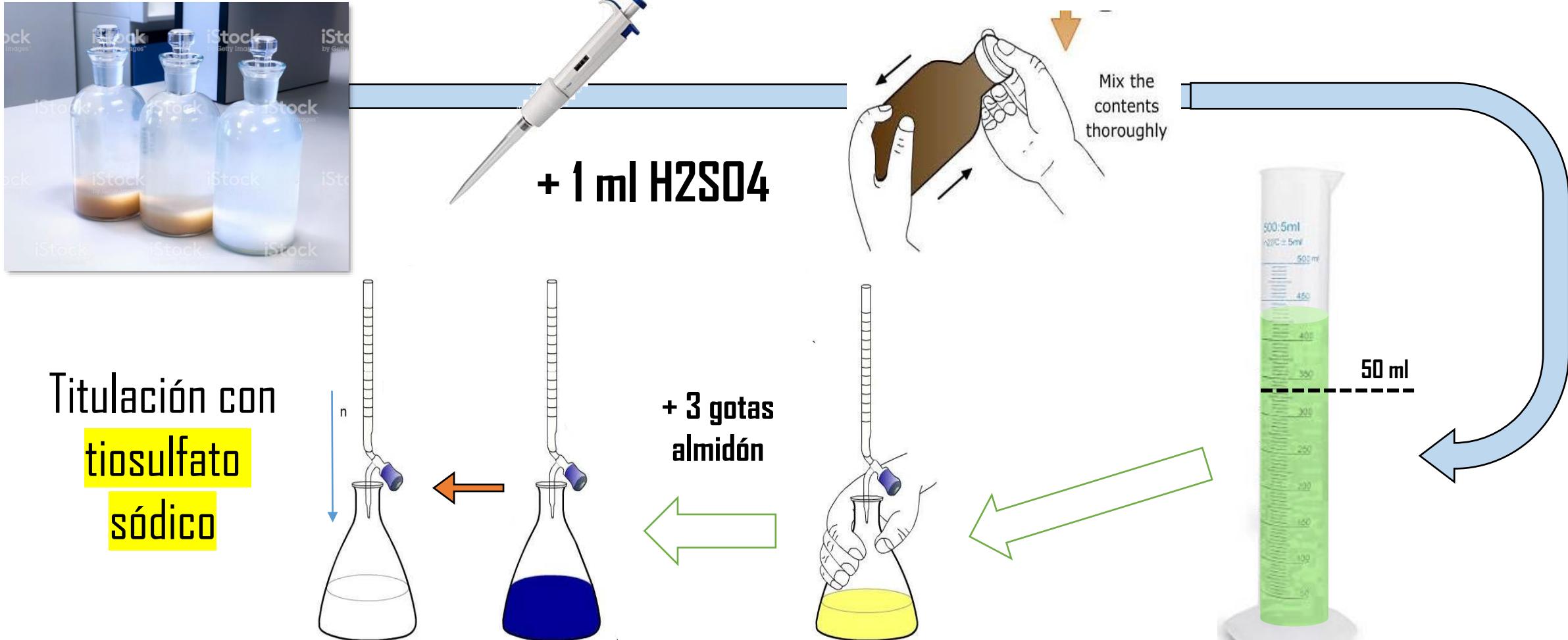
### Medidas de la concentración de O<sub>2</sub> – Método de Winkler



- Recolección de agua L. Honda, L. Nueva y L. Cuadrada.
- Muestras para OD fijadas en campo mediante la adición de 1 ml de Sulfato de Manganeso (MnSO4) y 1 ml de Ioduro Potásico (KI), Conservadas en oscuridad.
- Muestras para DBO incubadas a 22°C durante 24 horas en oscuridad en laboratorio. Tras ese tiempo, son fijadas de igual forma que las otras.

## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Medidas de la concentración de O<sub>2</sub> – Método de Winkler



## b) Gases disueltos: Oxígeno

### Medidas de la concentración de O<sub>2</sub> – Método de Winkler

Concentración de Oxígeno:

$$\text{O}_2 \text{ mg L}^{-1} = \frac{\text{Volumen total de la botella (ml)}}{\text{Vol. total de la botella - 2}} \times \frac{\text{Volumen promedio de tiosulfato gastado (ml)}}{\text{Vol. muestra utilizado (ml)}} \times \frac{\text{Normalidad Tiosulfato}}{1000} \times 8$$

Saturación de Oxígeno:

$$\text{O}_2 \text{ mg L}^{-1} = \frac{[\text{O}_2] \text{ medida}}{[\text{O}_2] \text{ a saturación}} \times 100$$

DBO:

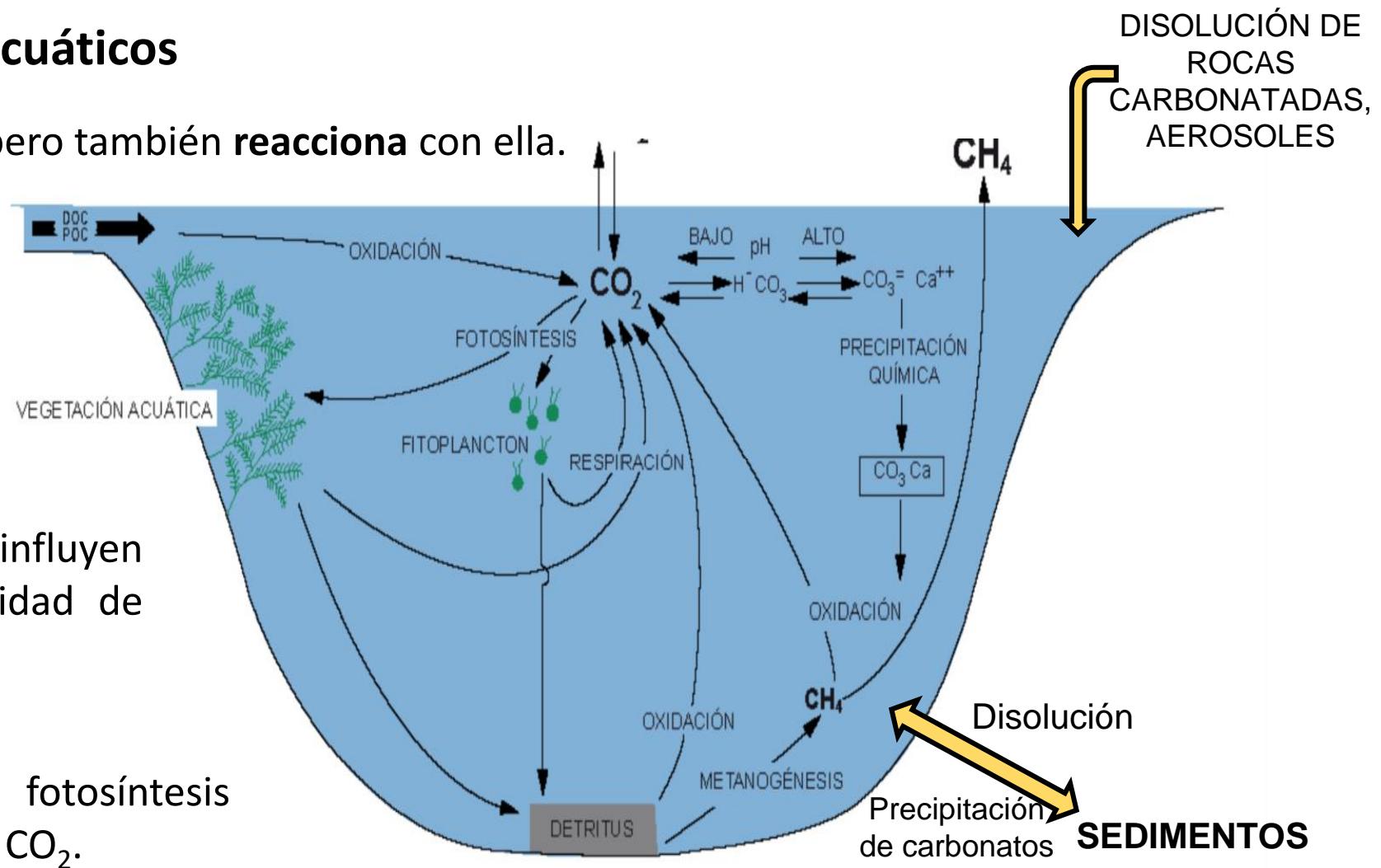
$$\text{DBO mg L}^{-1} = \text{Odi} - \text{ODf}$$



## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

### Ciclo del C en ecosistemas acuáticos

El CO<sub>2</sub> se **disuelve** en el agua, pero también **reacciona** con ella.



Fotosíntesis y respiración influyen significativamente en la cantidad de CO<sub>2</sub> en el agua.

Durante períodos de elevada fotosíntesis puede haber una limitación de CO<sub>2</sub>.

Palau, Alonso, Corregidor 2010.

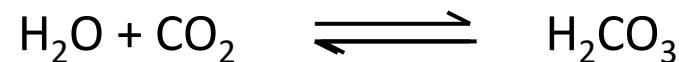


## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

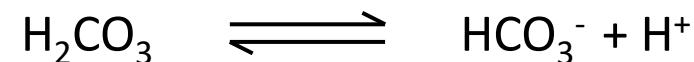
---

Cuando el CO<sub>2</sub> se disuelve en el agua...

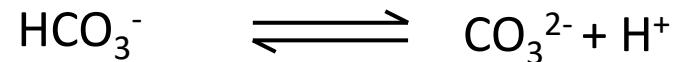
parte del CO<sub>2</sub> (<1%) se hidrata hasta *ácido carbónico*.



parte del H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> se disocia en *bicarbonato* e **iones H<sup>+</sup>**. → **disminuye el pH, más ácido.**



Una segunda disociación resulta en la liberación de otro **protón H<sup>+</sup>**. → **disminuye el pH, más ácido.**



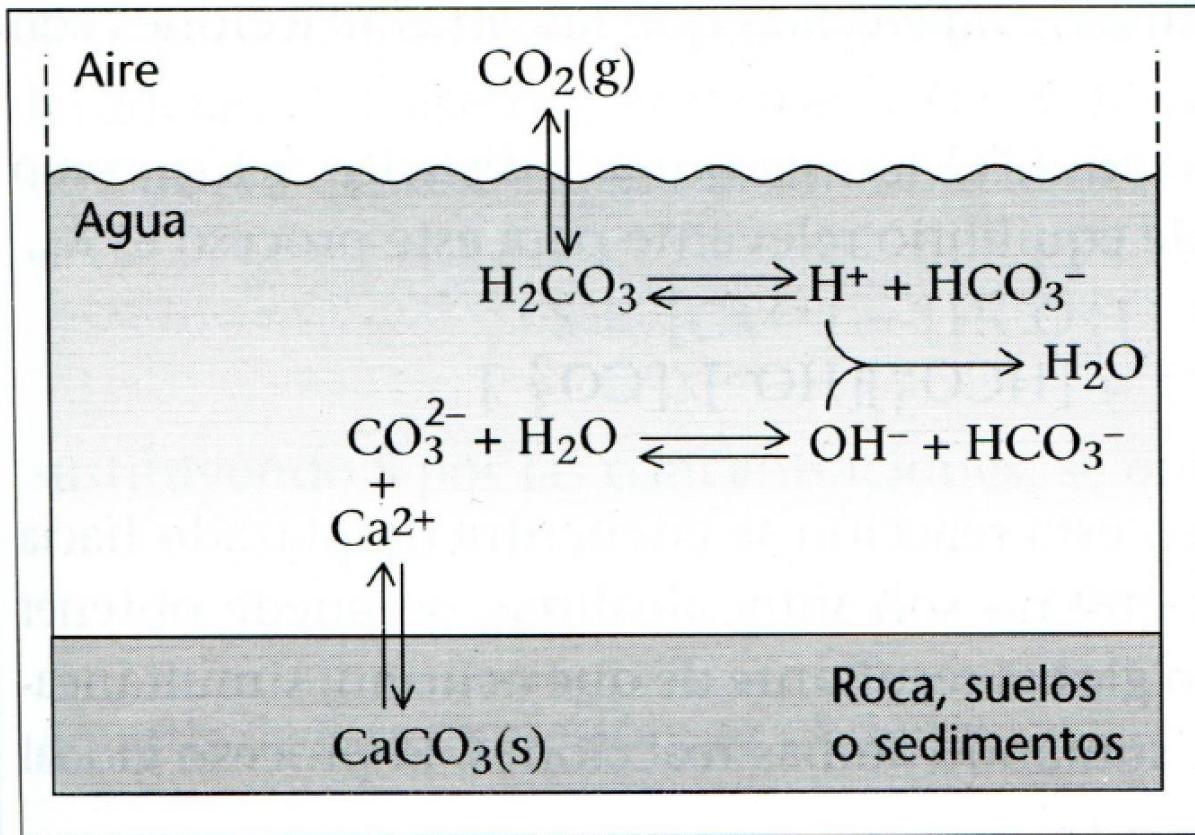
El CO<sub>2</sub> consumido por la fotosíntesis (consume H<sup>+</sup>, aumenta el pH).

Cuando todo el CO<sub>2</sub> es eliminado del agua por el fitoplancton el pH sube hasta 9, y el bicarbonato es utilizado como fuente de carbono en la fotosíntesis. Si el bicarbonato se acaba, el pH aumentará hasta 11.



## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

Cuando se disuelven rocas carbonatadas...



La fuente mayoritaria de bicarbonato en un agua natural no es el  $\text{CO}_2$ , sino el proveniente del lavado de rocas calizas que hace que parte del carbonato que contienen pase al agua, aumentando de forma natural el pH de estas aguas, ya que **hidroliza parcialmente el agua dando  $\text{OH}^-$** .

Este equilibrio trifásico permite a los sistemas acuáticos amortiguar cambios en su pH.

Equilibrios trifásicos en el sistema  $\text{CO}_2/\text{Carbonato}$



## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

Cuando el CO<sub>2</sub> se disuelve en el agua...

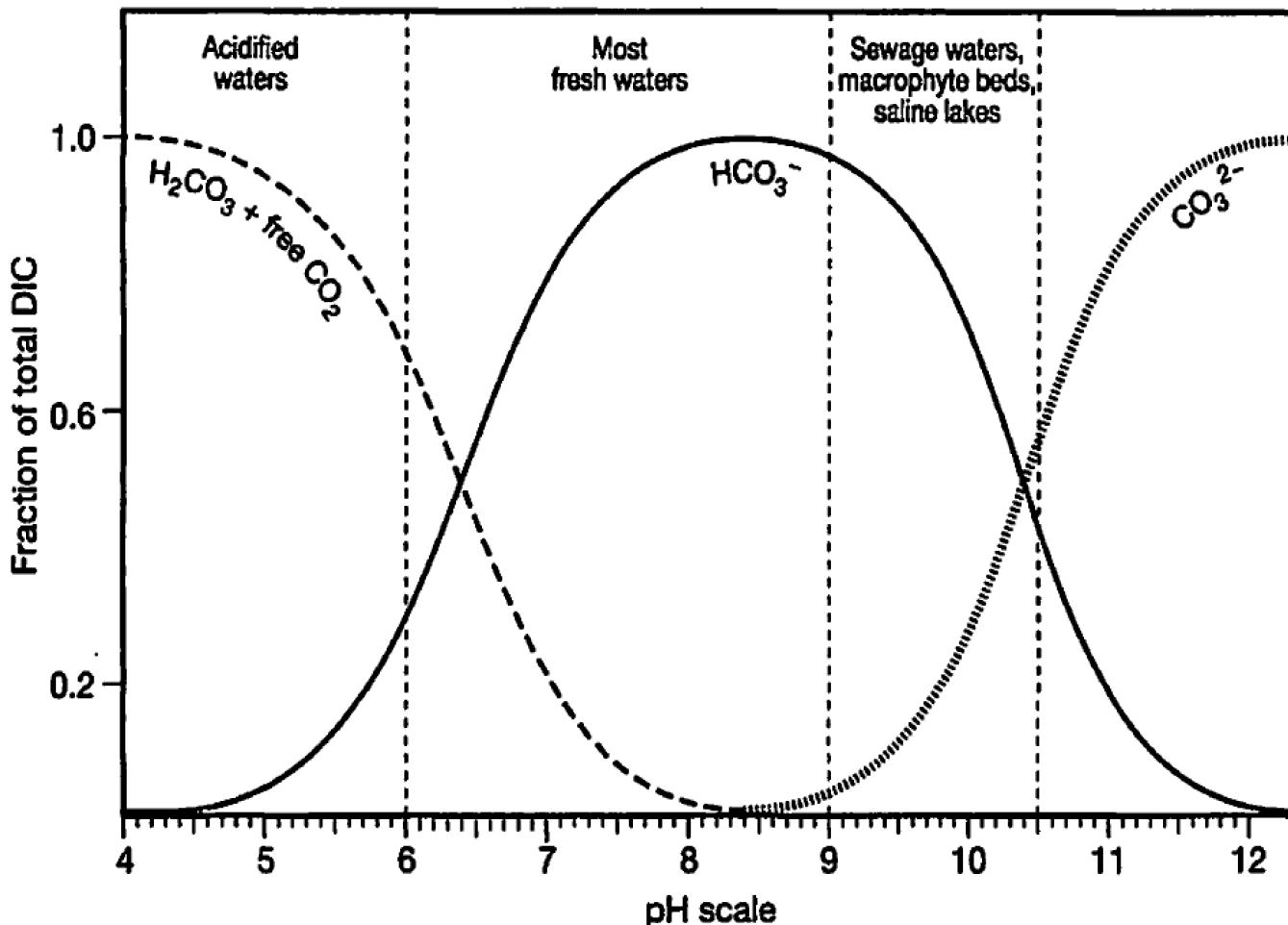


Tabla 2-15  
Distribución del carbono inorgánico total en fracciones, según el pH. Temperatura 15°C.

pH	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
5	96,2 %	3,8 %	0,00001 %
6	73,2 %	27,5 %	0,0009 %
7	20,8 %	79,2 %	0,02 %
8	2,5 %	97,2 %	0,32 %
9	0,3 %	96,6 %	3,1 %

Distribución de las distintas formas de carbono inorgánico en ríos y lagos con cambios en el pH. Observa que a pH de 6-8 el bicarbonato es la forma dominante. El CO<sub>2</sub> y el ácido carbónico dominan a pH bajo, mientras que en sistemas salinos con pH muy altos dominan una mezcla de iones bicarbonato y carbonatos.

## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

### Adaptaciones de la biota

El consumo de CO<sub>2</sub> puede convertirse en un problema, especialmente en grupos densos de **macrófitos**, debido a que este gas se dispersa muy lentamente y presenta un bajo intercambio con el lecho de macrófitos.

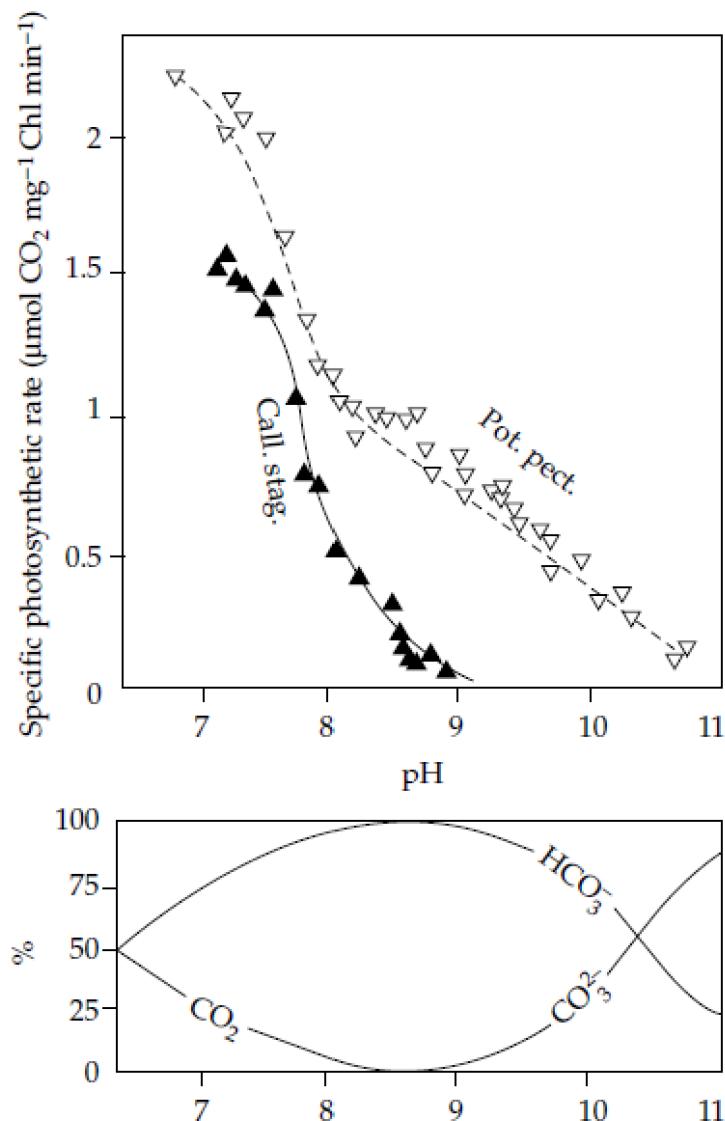
Para sobreponerse a este problema las plantas acuáticas han desarrollado 4 estrategias diferentes:

- Formación de **hojas aéreas** (macrófitos emergentes).
- Utilización del **CO<sub>2</sub>** del agua presente en los poros del sedimento (**intersticial**).
- Desacople temporal de la reacción fotosintética a la luz.  
Esto hace posible la **fijación de CO<sub>2</sub> durante la noche** cuando este está siendo liberado por otros organismos.
- Utilización de bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).



## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

### Adaptaciones de la biota

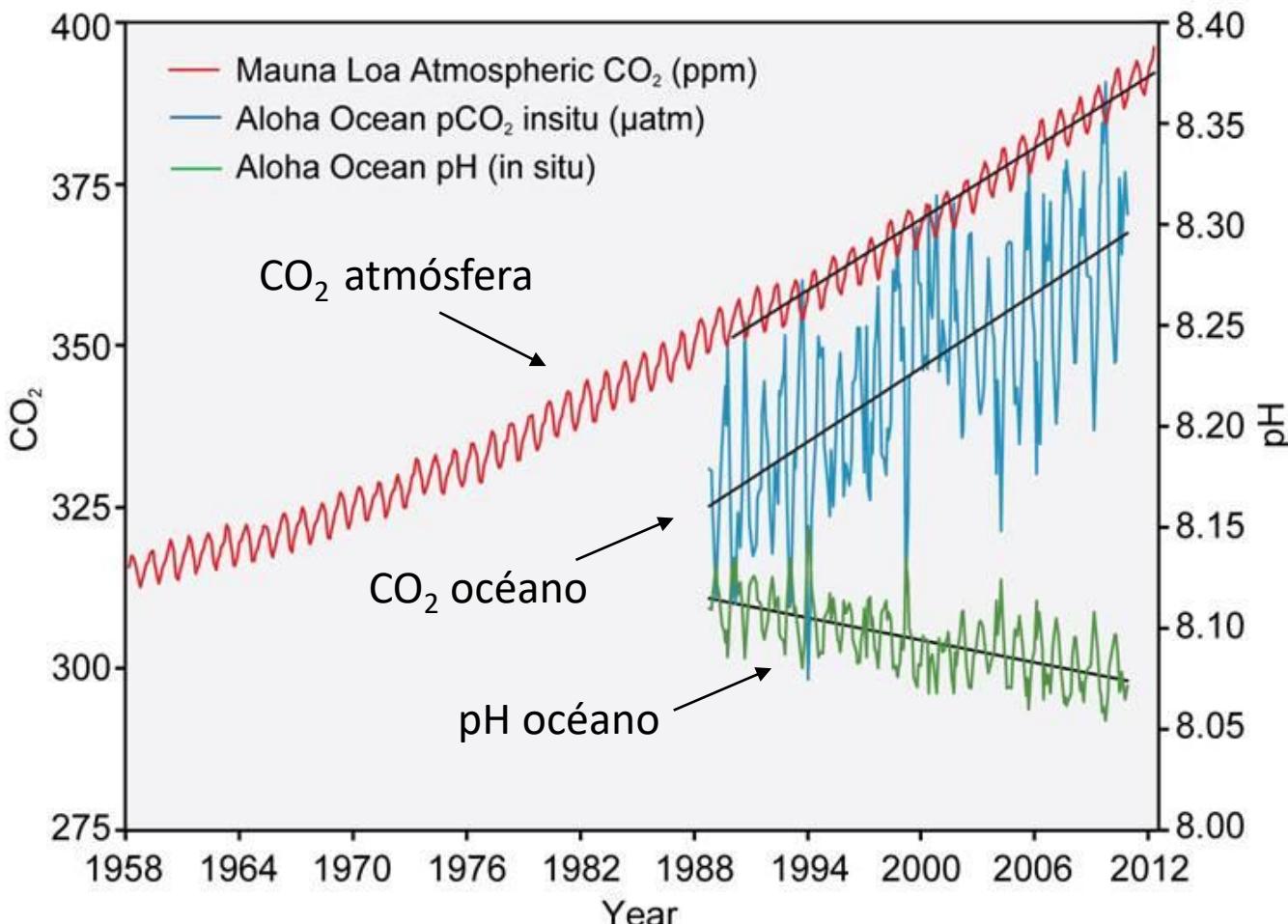


*Potamogeton pectinatus* es capaz de utilizar el **bicarbonato** como fuente de C, y sigue realizando la fotosíntesis hasta pH 11.

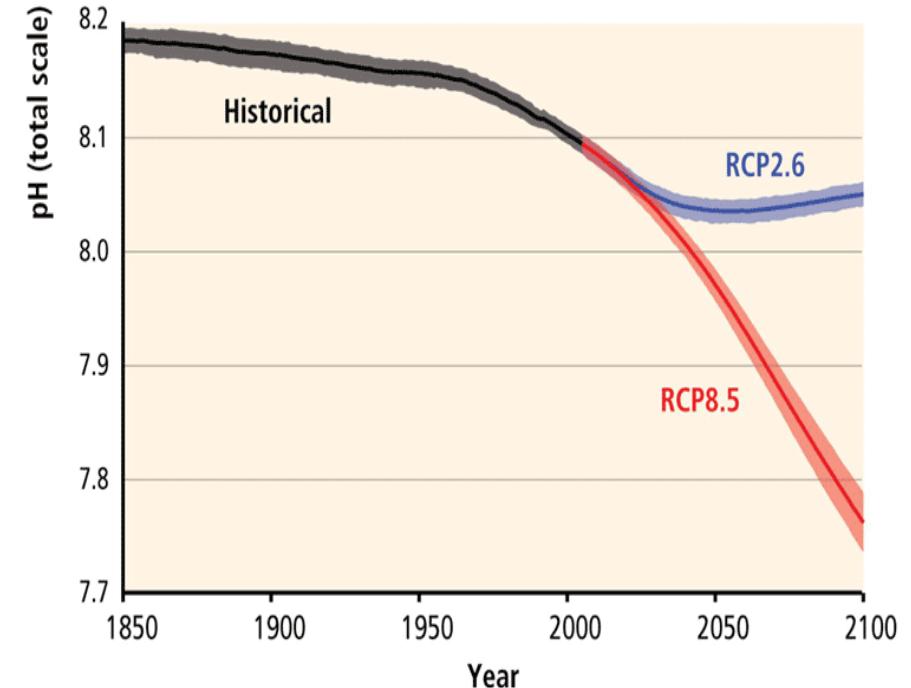
**Figure 4.19** Top: the effect of pH on the specific rate of photosynthesis by *Potamogeton pectinatus* (Pot. pect.), which utilize HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and *Callitriches stagnalis* (Call. stag.), which use only carbon dioxide, at a DIC concentration of 5 mmol l<sup>-1</sup> (from Sand-Jensen 1987). Bottom: distribution of the species of DIC as a function of pH.

## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

**Acidificación del océano. Problema global.**

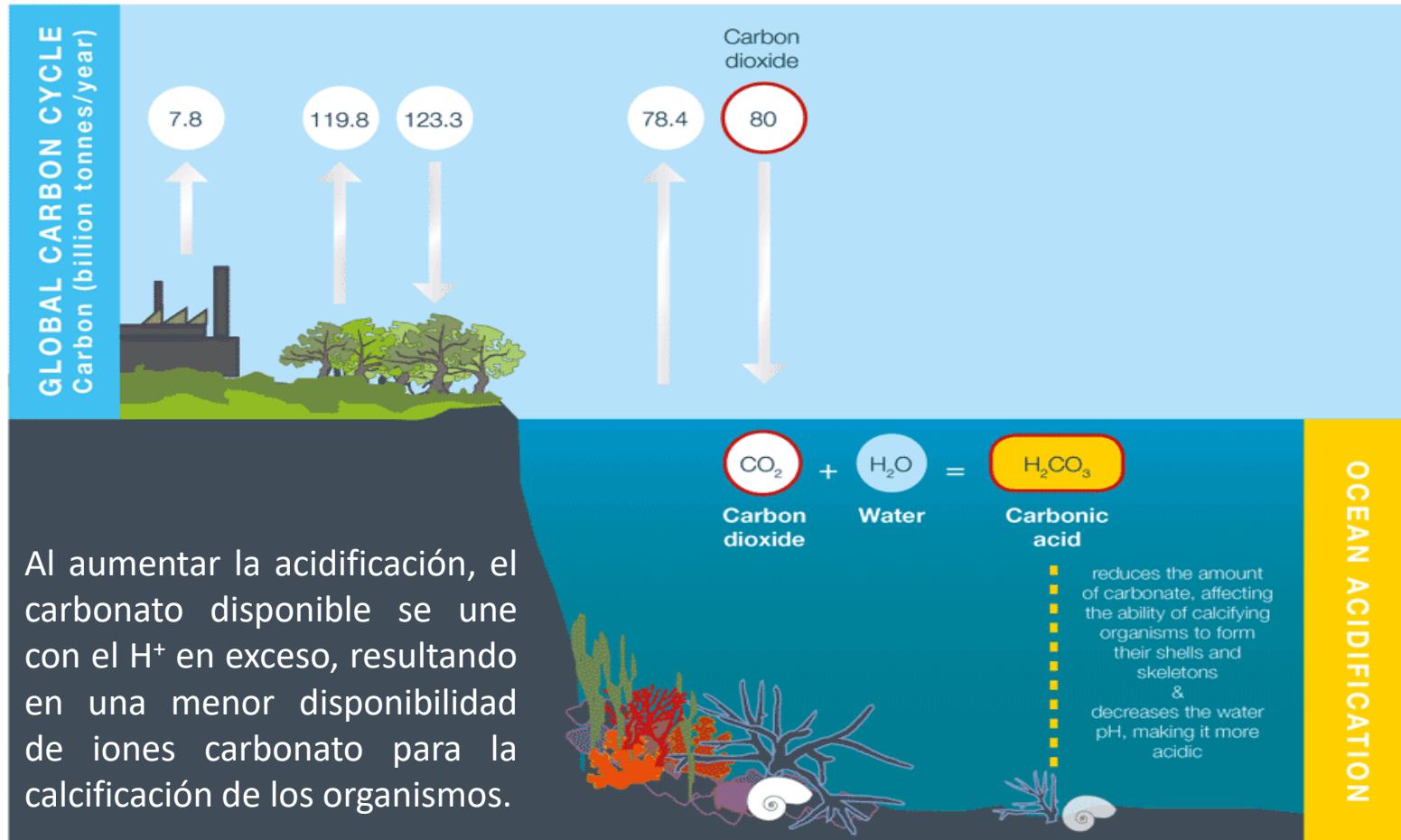


Conforme aumente el CO<sub>2</sub> atmosférico, aumentará el CO<sub>2</sub> disuelto y el pH del agua oceánica disminuirá.



## c) Equilibrio carbónico-carbonatos y pH

**Acidificación del océano. Impactos sobre los constructores de conchas.**



Concha de un pterópodo en agua de mar con pH y niveles de carbonatos estimados para el año 2100.

## d) Nutrientes

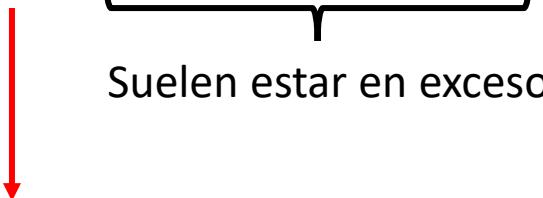
---

### Componentes esenciales, además de C, O y H

Los nutrientes son divididos dependiendo de las cantidades necesarias por los organismos en:

#### MACROELEMENTOS

N, P, S, K, Mg, Ca, Na, Cl, pueden constituir >0.1% de la materia orgánica.



#### Limitantes

#### OLIGOELEMENTOS

Fe, Mn, Cu, Zn, B, Si, Mo, Co, son requeridos en cantidades mucho más pequeñas.

*Algunos oligoelementos como el Fe o el Si también pueden actuar como limitantes...*



## d) Nutrientes: limitación de la actividad primaria

**Nutrientes limitantes para la producción primaria: Redfield ratio.**

El fitoplancton que no esté limitado ni por N ni por P presentará una **estequiometría** para el **CNP** de:

**106 C : 16 N : 1 P      “Redfield ratio”**

Buen indicador del estado nutricional.

*Si el N o el P está presente en la biomasa en una concentración significativamente más baja que lo que predice la ratio Redfield, es muy probable que ese nutriente esté limitando la producción primaria.*

Si  $N/P > 16$  el P es el factor potencialmente limitante de la producción primaria

Si  $N/P < 16$  el N es el factor potencialmente limitante de la producción primaria



## d) Nutrientes: limitación de la actividad primaria

**Nutrientes limitantes para la producción primaria: Redfield ratio.**

El fitoplancton que no esté limitado ni por N ni por P presentará una **estequiometría** para el **CNP** de:

**106 C : 16 N : 1 P      “Redfield ratio”**

Buen indicador del estado nutricional.

*Si el N o el P está presente en la biomasa en una concentración significativamente más baja que lo que predice la ratio Redfield, es muy probable que ese nutriente esté limitando la producción primaria.*

**Carbono:** Hay importante reserva atmosférica, muy soluble en agua

**Nitrógeno:** Formas inorgánicas bastantes solubles, reserva atmosférica alta pero sólo accesible para fijadores (enzima nitrogenasa), pérdidas por desnitrificación ( $NO_3^- \rightarrow N_2$  gas).

**Fósforo:** No hay reserva atmosférica, la disolución de rocas con P es un proceso lento. Sedimentos como sumidero de P ya que es bastante insoluble

→ **Suele ser el principal limitante en lagos.**



## d) Nutrientes: limitación de la actividad primaria

Otros nutrientes limitantes para los productores primarios: Redfield ampliada

El **Fe** como elemento clave limitante.

**106 C: 16 N: 1 P: 0,1-0,001 Fe**

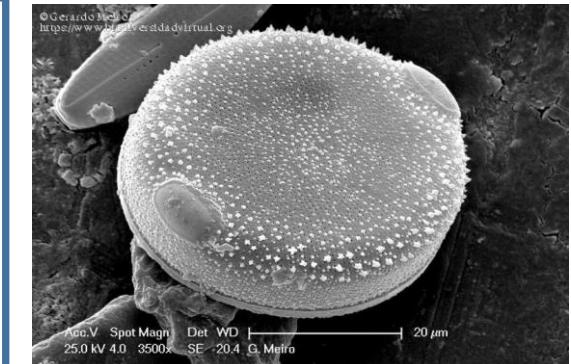
Necesario para el funcionamiento de la nitrogenasa y por consiguiente para la fijación de N atmosférico.

El **Si** como elemento clave limitante para diatomeas.

**106 C: 16 N: 15 Si: 1P**

Necesario para formar los frústulos

Frústulo: Cubierta de sílice de las diatomeas constituida por dos piezas o valvas que encajan.

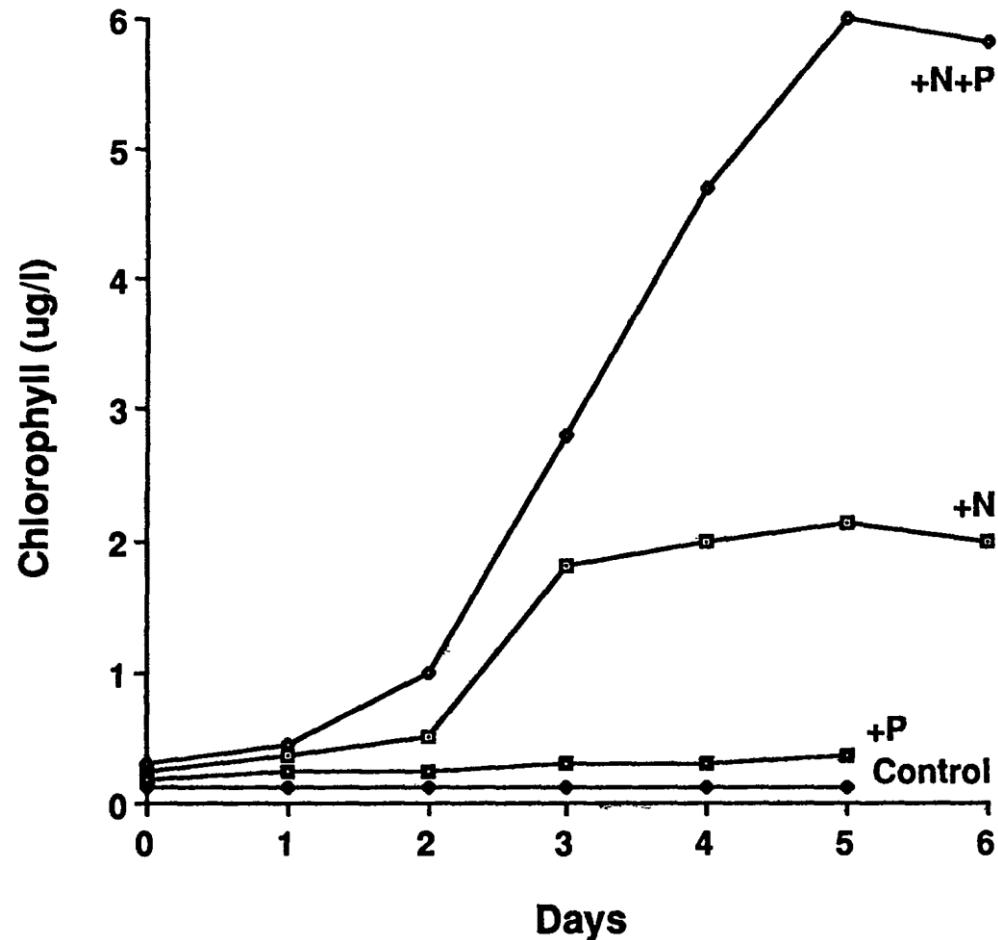


Frústula de diatomea



## d) Nutrientes: limitación de la actividad primaria

### Requerimientos de macronutrientes por los productores primarios: N y P

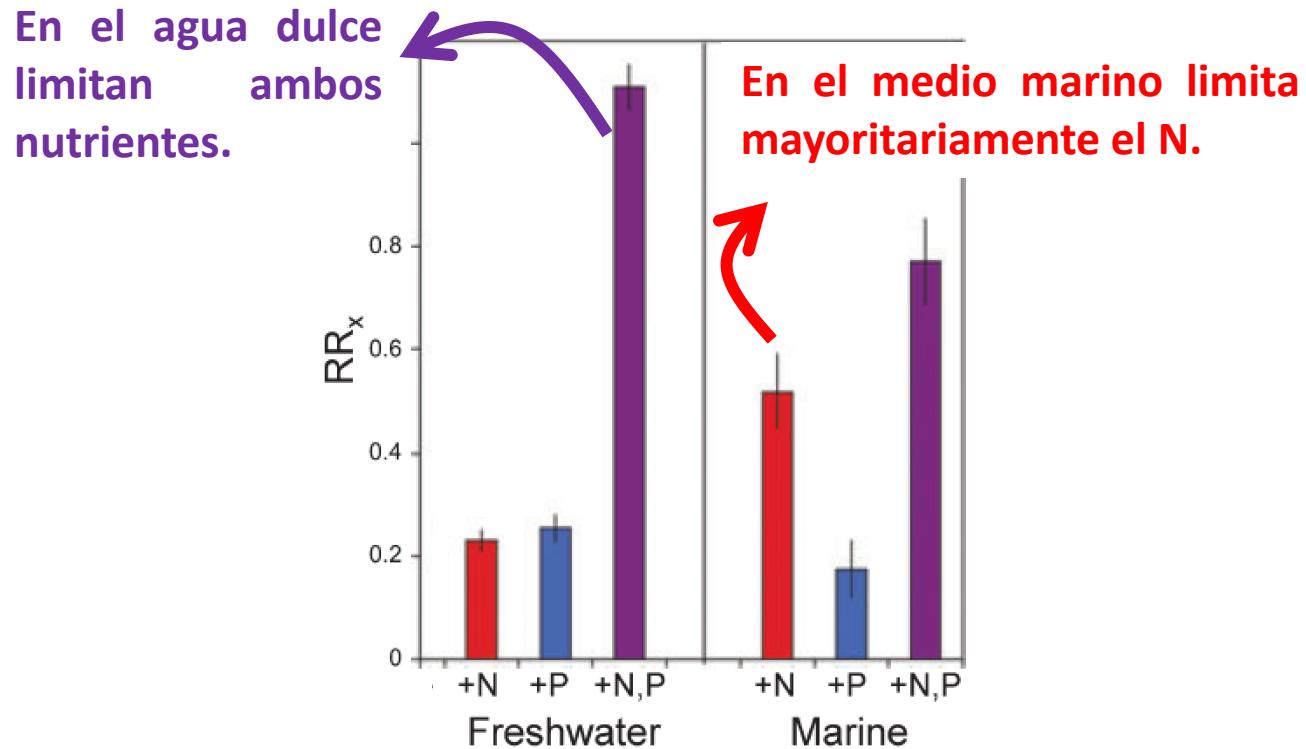


Típica respuesta de la biomasa (clorofila a) de fitoplancton marino en un experimento de fertilización con N y P, mostrando la existencia de una **secuencia de limitación** por nutrientes (primero N, en segundo lugar P).

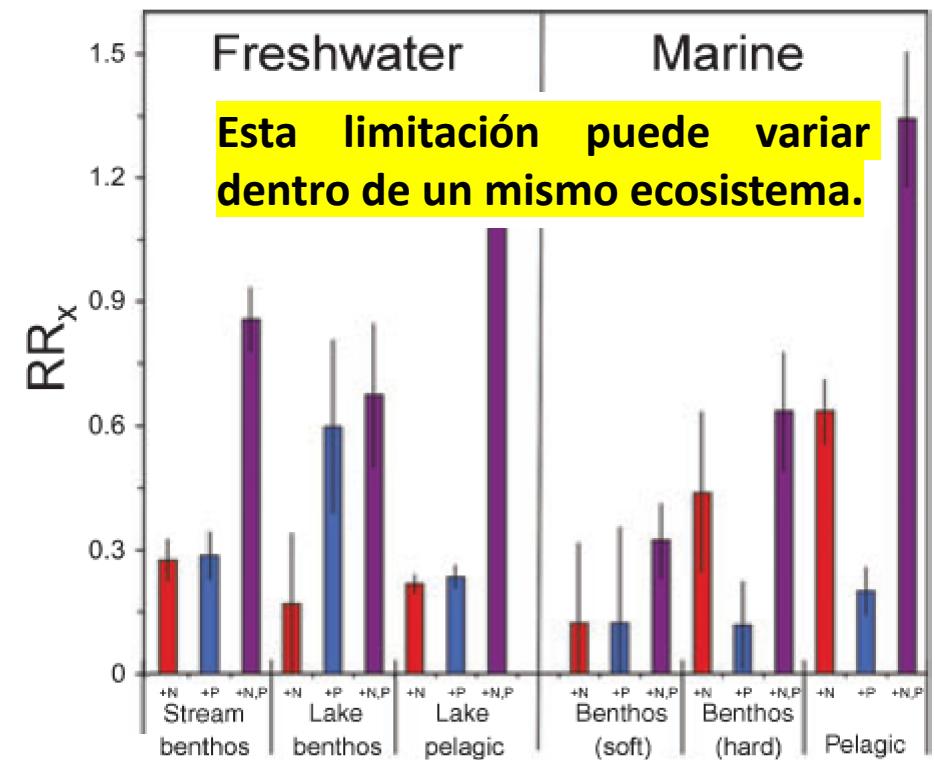
Las pérdidas de N por desnitrificación son mayores que la fijación de N atmosférico, causando limitación de N.

## d) Nutrientes: limitación de la actividad primaria

**Limitación de N y P para los productores primarios en distintos ecosistemas.**



Respuesta de los productores primarios a fertilización con N, P y N+P, en distintos ecosistemas (Elser et al., 2007 Ecological Letters).



Respuesta de los productores primarios a fertilización con N, P y N+P, en diversos compartimentos de distintos ecosistemas.

## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

---

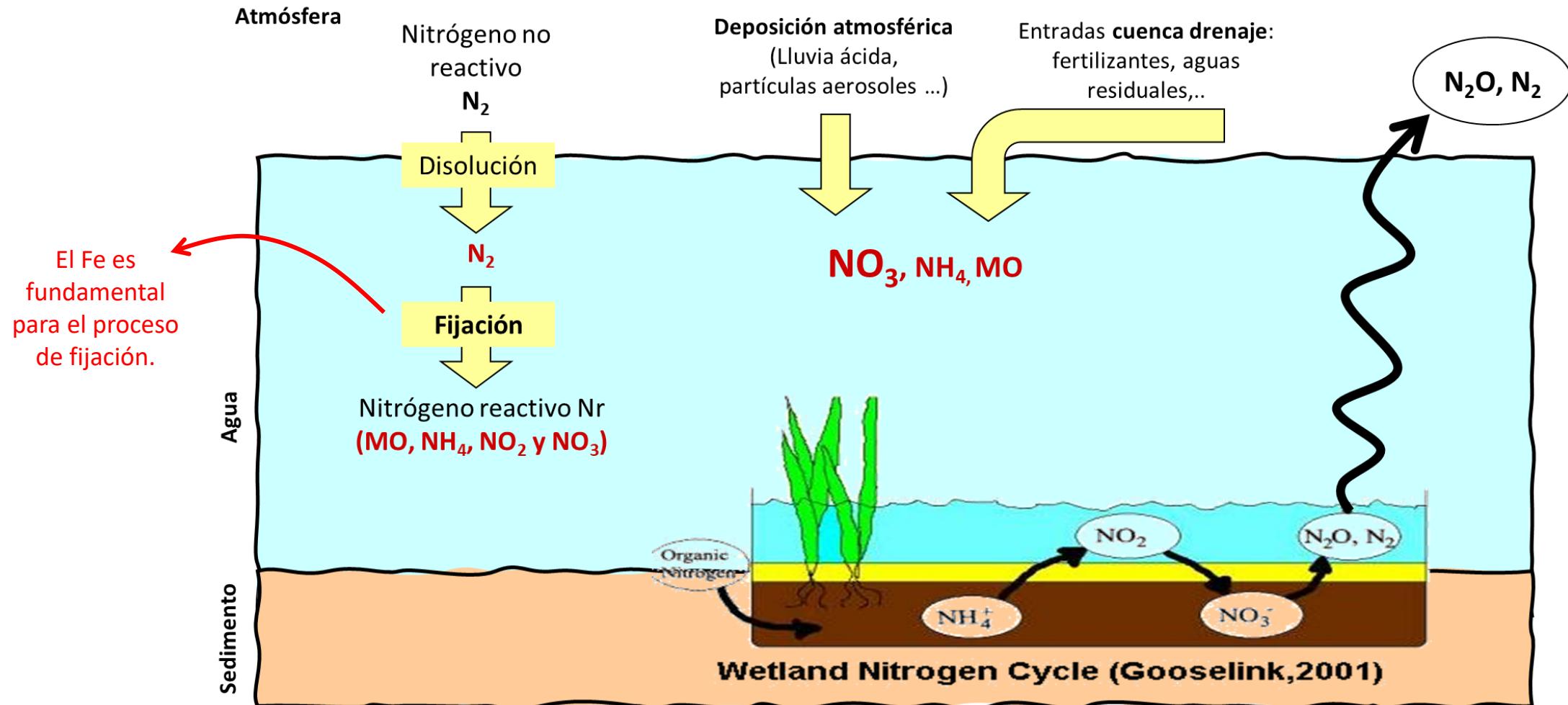
### Limitación de N y P causadas por impactos humanos...

La llegada de vertidos con gran contenido en algún nutriente puede causar una limitación en otro.



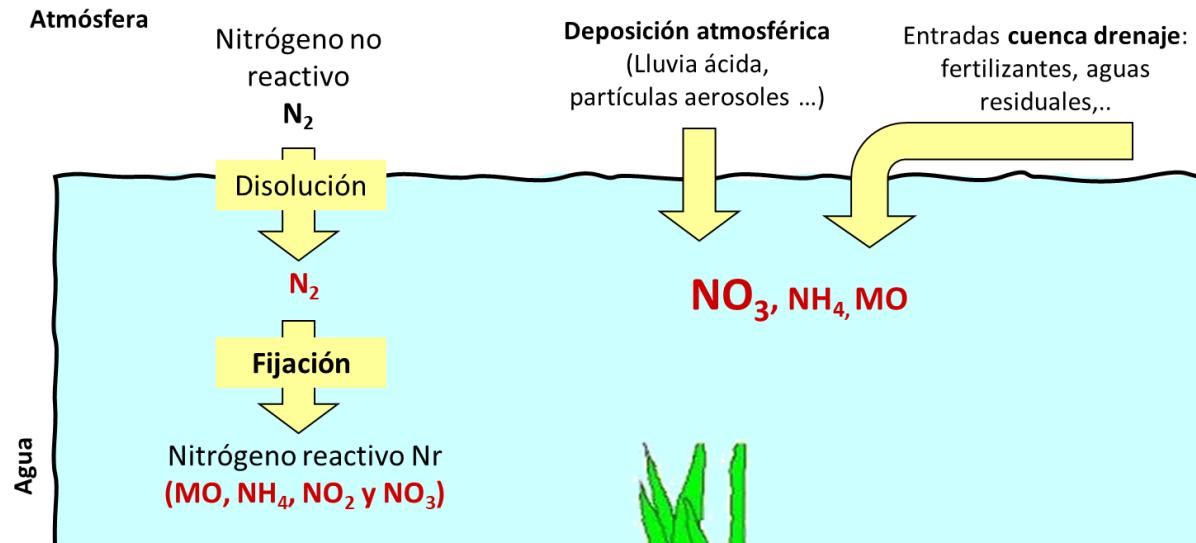
## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Principales formas de N, fuentes y sumideros en ecosistemas acuáticos



# d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

## Fuentes



1. **Atmósfera – disolución.**
2. **Deposición atmosférica húmeda o seca.**
3. **Escorrentía superficial/aguas subterráneas.**
4. **Fijación biológica de  $N_2$  atmosférico** (algas verdes-azuladas; su importancia varía mucho entre lagos eutróficos *donde puede ser la fuente*, y oligotróficos)

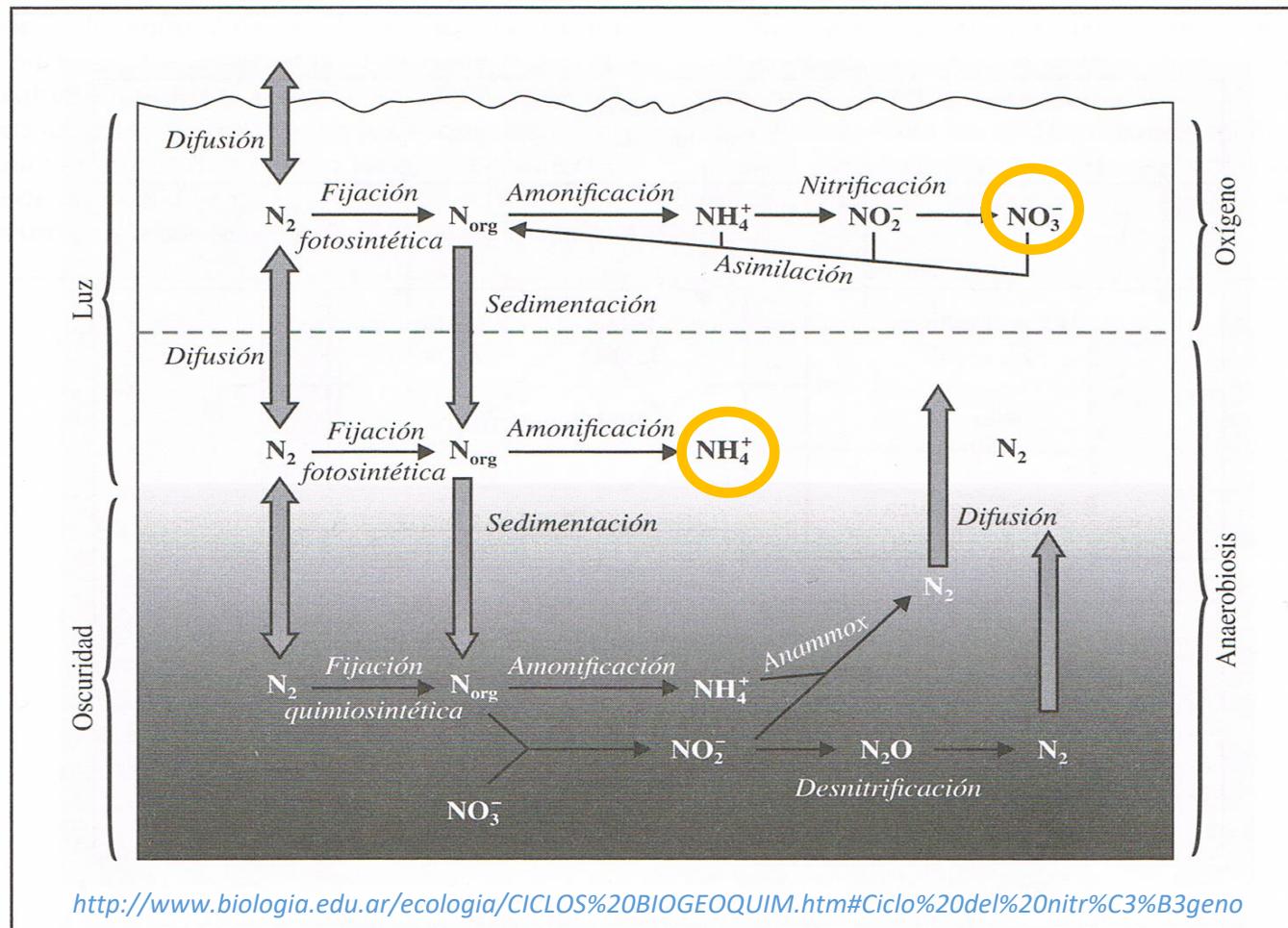
## Sumideros

1. **Enterramiento de organismos en el sedimento.**
2. **Desnitrificación.** Pérdida en la atmósfera.
3.  **$NH_4^+$  se volatiliza a pH alto.**
4. **N orgánico adsorbido (retenido) en los sedimentos.**



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Principales transformaciones del N en medios acuáticos

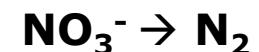


La **NITRIFICACIÓN** genera  $NO_3^-$  a partir de la oxidación del amoniaco (*requiere oxígeno*).



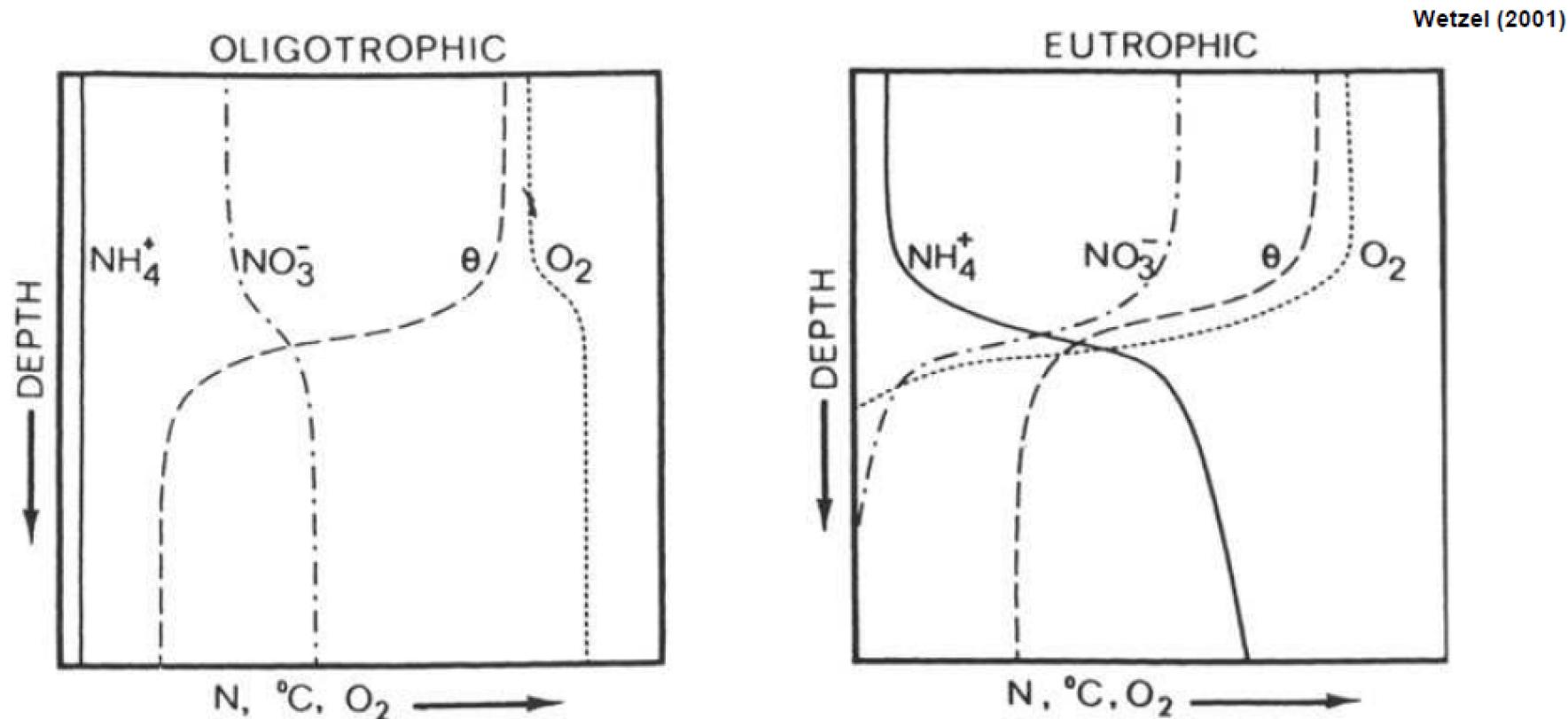
La acción de las bacterias Nitrobacter evita que existan altas concentraciones de nitrito, tóxico para los organismos.

La **DESNITRIFICACIÓN** degrada  $NO_3^-$  liberando  $N_2$  gas (*se produce en ausencia de oxígeno*), a fin de utilizar el O para su respiración.



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Principales transformaciones del N en medios acuáticos



Distribución vertical de las concentraciones de amonio y nitrato en un lago oligotrófico y un lago eutrófico durante la estratificación estival.



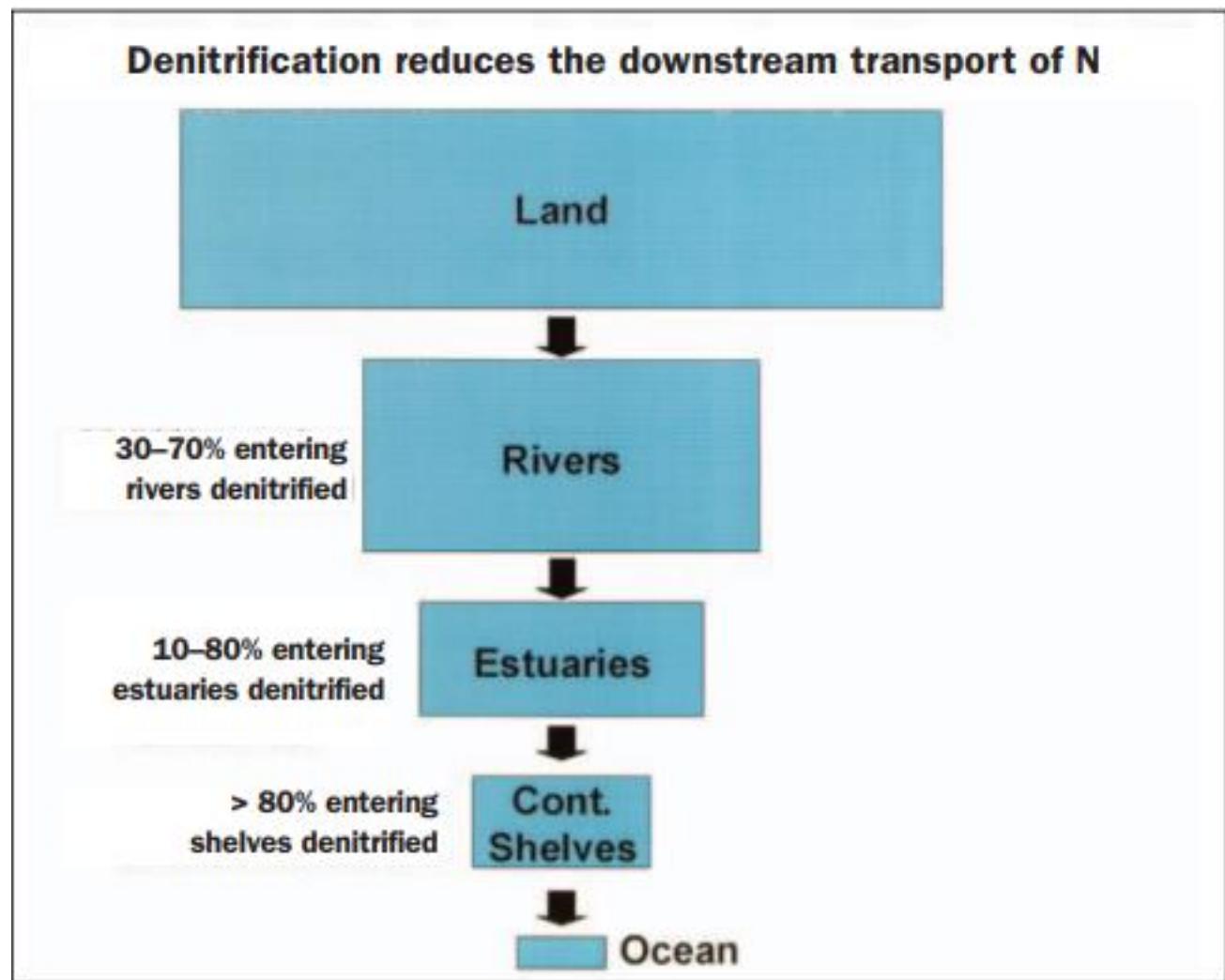
## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Tasas de flujo en el ciclo de N actual

Los ecosistemas acuáticos (ríos, arroyos, lagos y humedales) constituyen el nexo de unión entre ecosistemas terrestres y marinos, siendo el vector de transmisión de los nutrientes que exportan los primeros. Por tanto el papel que desempeñan en la eliminación del N es fundamental para la calidad de nuestro medio ambiente.

La **desnitrificación** puede contrarrestar el proceso de **eutrofización**.

Al océano llega poco N en comparación con los ecosistemas continentales debido al proceso de desnitrificación.

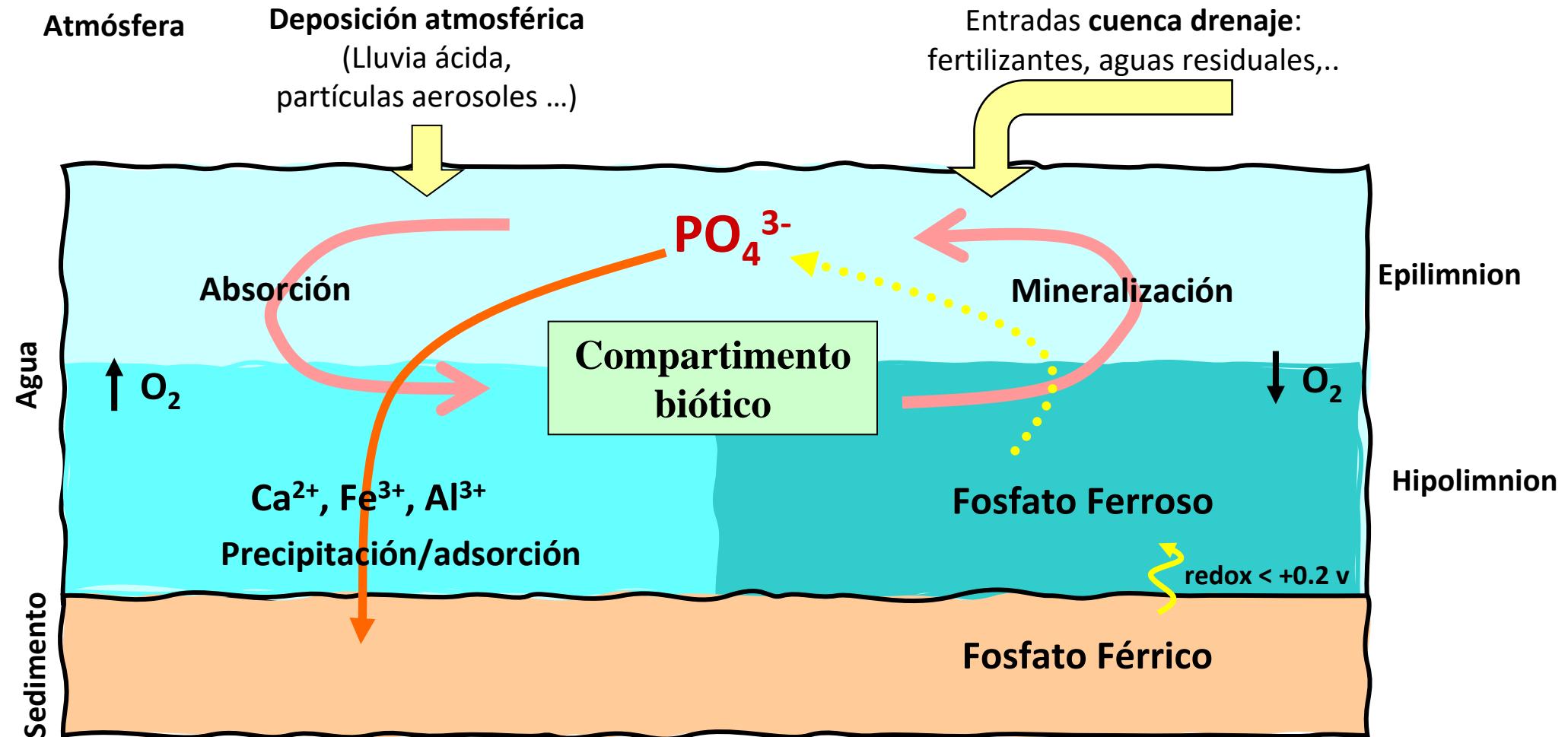


[Galloway et al., 2003. BioScience](#)



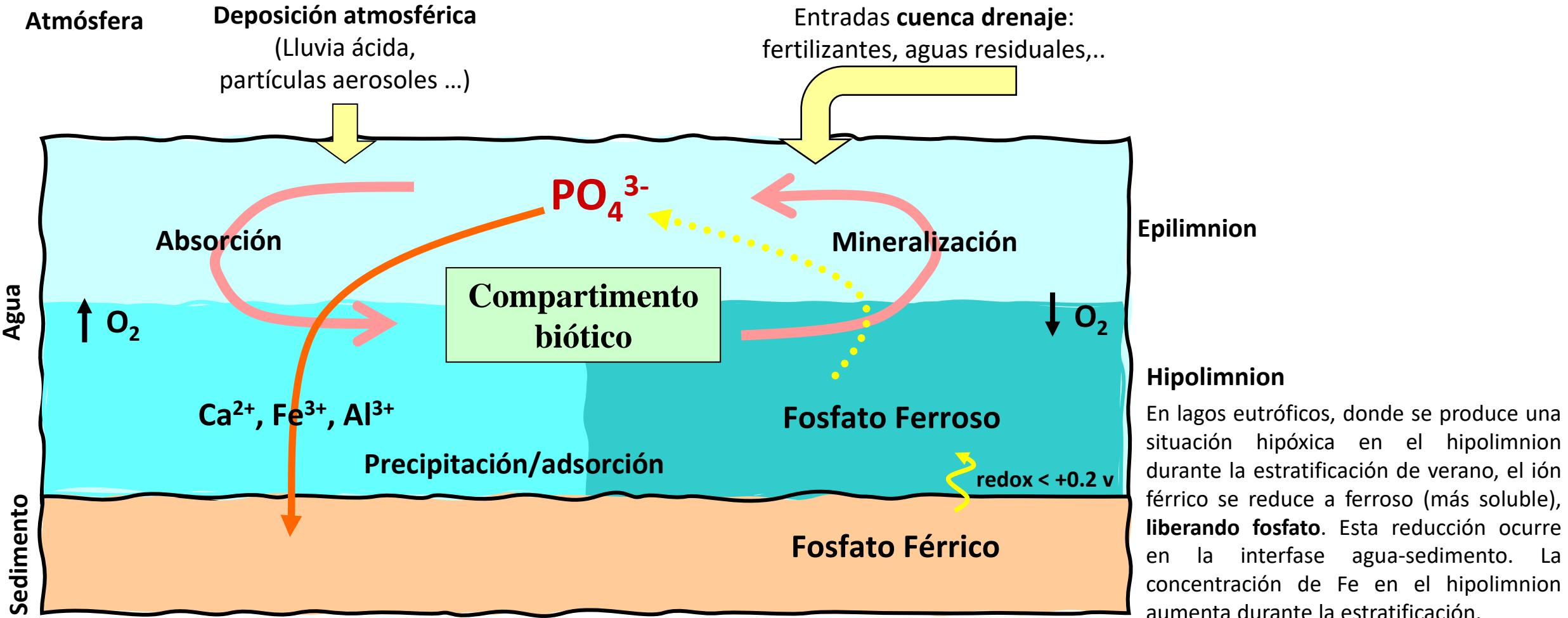
## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Principales formas de P, fuentes y sumideros en ecosistemas acuáticos



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

### Principales formas de P, fuentes y sumideros en ecosistemas acuáticos



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

---

### Fuentes

1. Deposición atmosférica húmeda o seca (escaso).
2. Escorrentía superficial/aguas subterráneas.
3. Reciclado interno desde los sedimentos.

### Sumideros

1. Sedimentación de materia orgánica muerta.
2. Precipitación química con Fe, Ca o Al (**P coloidal**). La precipitación con Fe es parte importante del reciclado cuando ocurre la mezcla otoñal. Acumulación en los sedimentos.



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes

---

El P no es requerido en grandes cantidades para el crecimiento, pero es uno de los elementos limitantes más comunes, por tres razones:

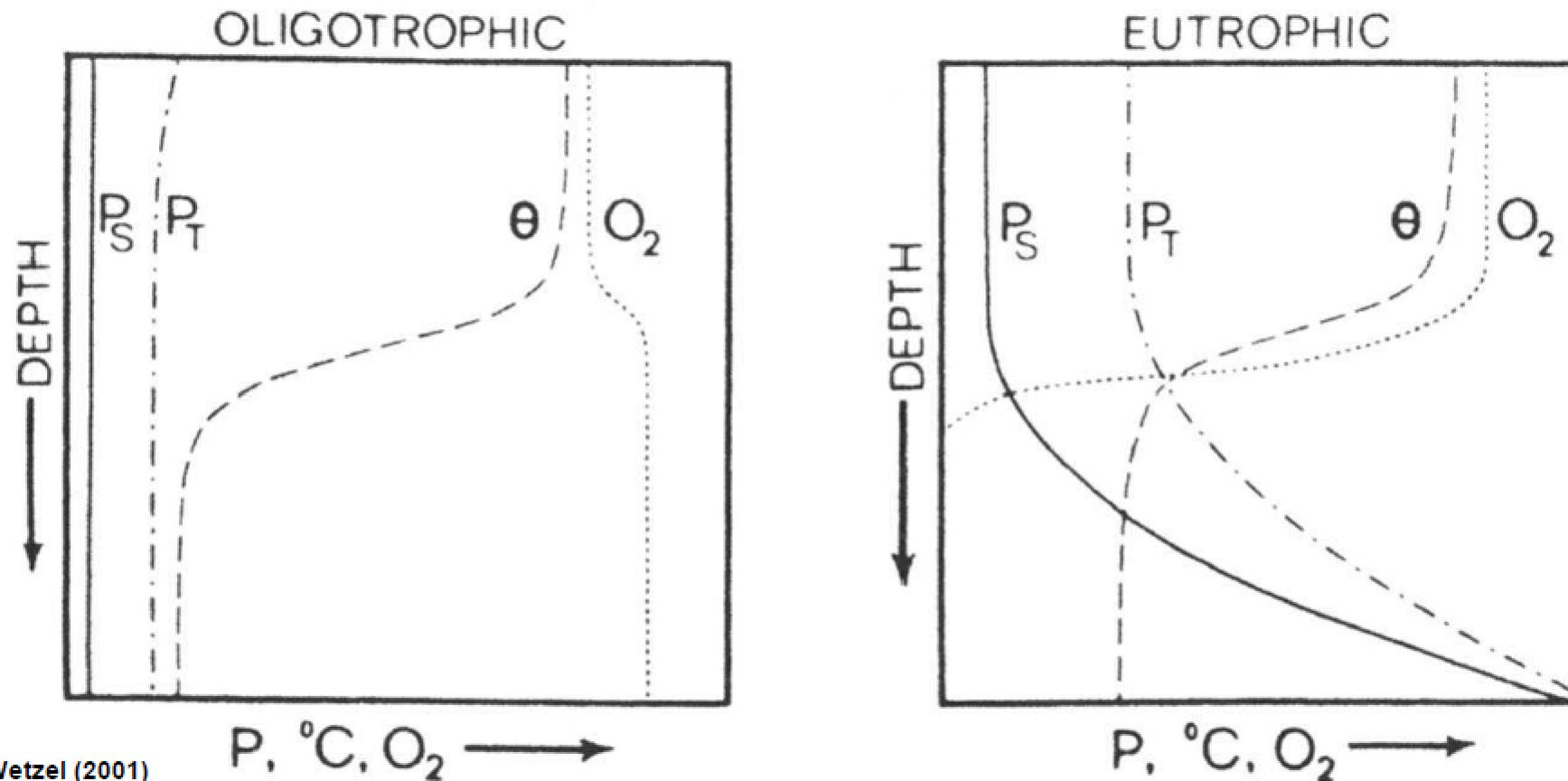
1. Los minerales conteniendo P no son abundantes, por lo tanto el aporte de P como consecuencia de la disolución de las rocas será escaso.
2. No existe en fase gaseosa, por lo tanto, no existe algo equivalente a la fijación del N.
3. El P es muy reactivo, y se encuentra fuertemente unido a los suelos.

### Formas de P

1. **P particulado (PP)**. Incluye todas las partículas que contengan fósforo y superen los 0.45 um de tamaño..
2. **P soluble (SP)**. Ortofósfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Atraviesa un filtro de 0.45 um.
3. **P total**: 90% de PP y 10% SP..



## d) Nutrientes: Sumideros y fuentes de nutrientes



En lagos eutróficos, donde se produce una situación hipóxica en el hipolimnion durante la estratificación de verano, el ión férrico se reduce a ferroso (más soluble), liberando fosfato.

Distribución vertical de las concentraciones de fósforo soluble (Ps) y total (Pt) en un lago oligotrófico y un lago eutrófico durante la estratificación estival.



## d) Nutrientes: Eutrofización

La **eutrofización** es el proceso por el se desarrolla una cadena de múltiples respuestas de un ecosistema acuático a un excesivo enriquecimiento con nutrientes, principalmente N y/o P.



### Natural

Lento (siglos).

Irreversible.

Calidad del agua buena.

Comunidad biológica diversa.

Crecimiento algal mínimo.

### Cultural

Acelerado.

Irreversible.

Escasez de oxígeno.

Homogeneización de la comunidad biológica.

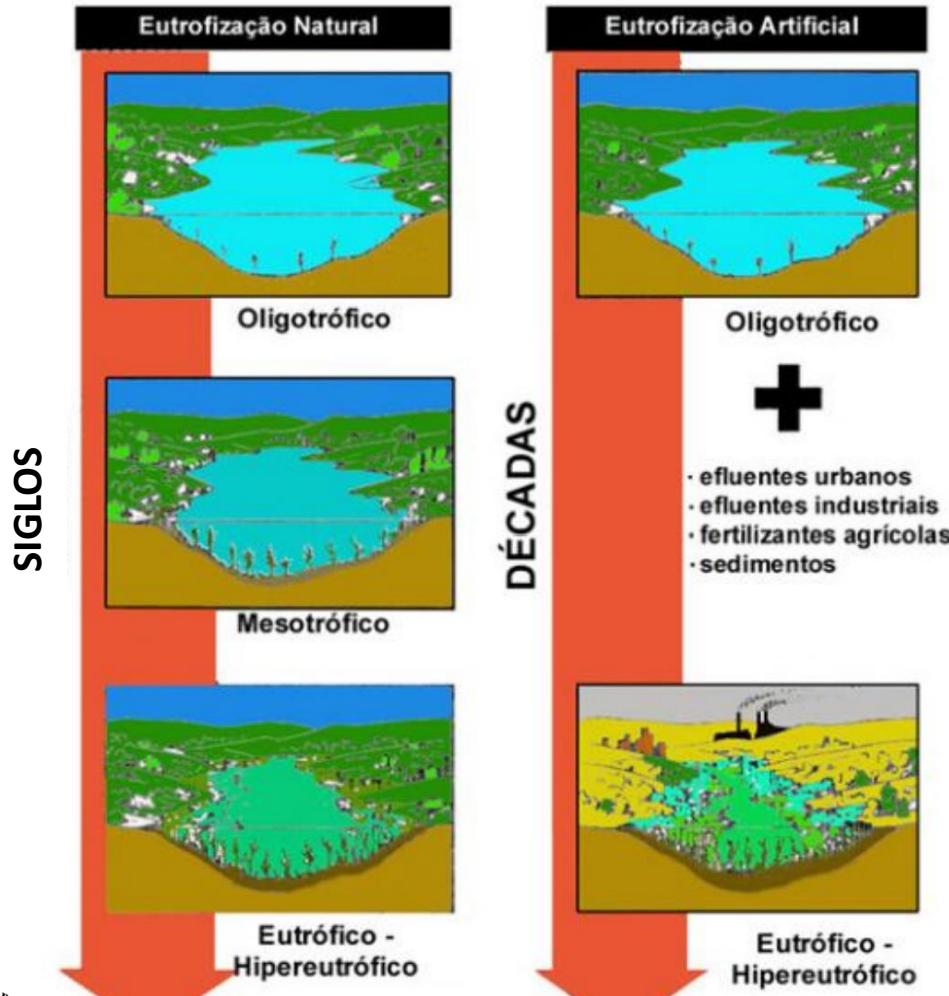
Crecimiento algal excesivo.



## d) Nutrientes: Eutrofización

### Eutrofización natural y cultural.

*Laboratorio de limnología y planeamiento ambiental, UFES 2018*



### Eutrofización natural y cultural.

*Sawyer (1996); Fundamentos de limnología neotropical (Roldán y Ramírez, 2008).*



Los impactos humanos aceleran el proceso de **eutrofización** natural de forma drástica, rebajando el tiempo de siglos a décadas.

## d) Nutrientes: Eutrofización

---

### Causas

#### Contaminación difusa (difícil definir el origen):

- Escorrentía natural de nutrientes desde los suelos y disolución de rocas.
- Escorrentía con transporte de **fertilizantes inorgánicos** o **residuos de granjas** (conteniendo  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{NH}_4$ ).
- Arrastre de **sedimentos** por erosión (agricultura, minería, construcción,...)

#### Contaminación puntual (origen claro):

- Vertidos de **detergentes** (conteniendo fosfatos).
- Vertidos de **aguas residuales urbanas** parcialmente tratadas o sin tratar (con N y P).

### Consecuencias

- **Aumento de la biomasa de algas y bacterias** principalmente, y de su actividad.
- Crecimiento de especies de algas potencialmente tóxicas, o no comestibles (ej. algas filamentosas incomestibles por Daphnia).
- Aumento de la biomasa de plantas emergentes enraizadas (p.e. carrizo) y macrófitos.

- **Aumento de la turbidez del agua.**
- **Aumento de la tasa de sedimentación.**
- Reducción de la concentración de oxígeno(situaciones de **hipoxia y anoxia** más frecuentes).
- **Disminución de la diversidad taxonómica y funcional.**
- Drásticos cambios de la composición taxonómica
- Reducción del valor estético del sistema acuático.



## d) Nutrientes: Eutrofización

¿Cómo se mide la eutrofización?

El **Índice de Estado Trófico (TSI)** de Carlson (0-100)

Variable indicadora	Expresión para calcular el valor de TSI
Chl <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )	TSI = 9.81 ln Clorofila <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> ) + 30.6
SD (m)	TSI = 60 - 14.41 ln Secchi profundidad (m)
TP (mg m <sup>-3</sup> )	TSI = 14.42 ln Fósforo total (mg m <sup>-3</sup> ) + 4.15

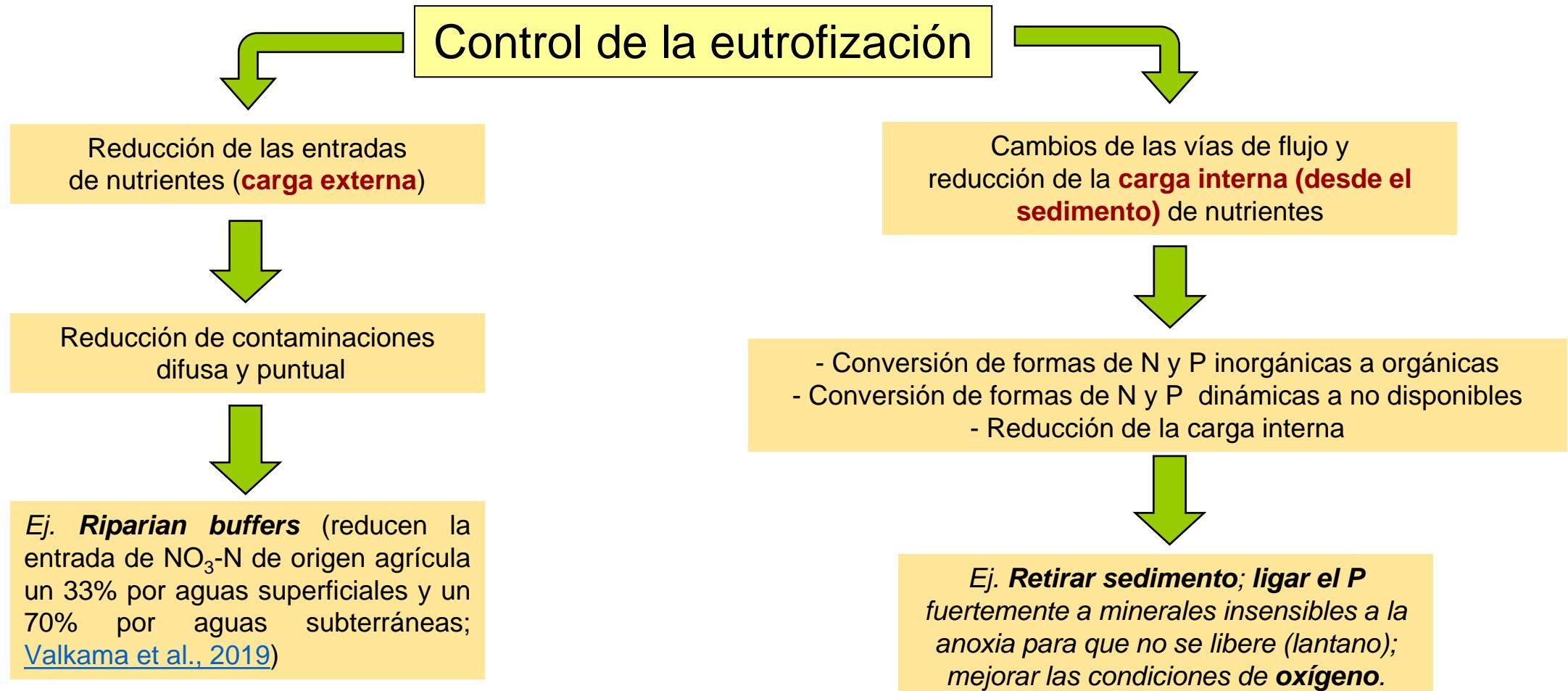
$$\text{TSI} = [\text{TSI (TP)} + \text{TSI (Chl a)} + \text{TSI (SD)}]/3$$

Clases de estado trófico	Valor TSI
<b>Ultraoligotrófico</b>	< 20
<b>Oligotrófico</b>	20-40
<b>Mesotrófico</b>	40-60
<b>Eutrófico</b>	60-80
<b>Hipereutrófico</b>	> 80



## d) Nutrientes: Eutrofización

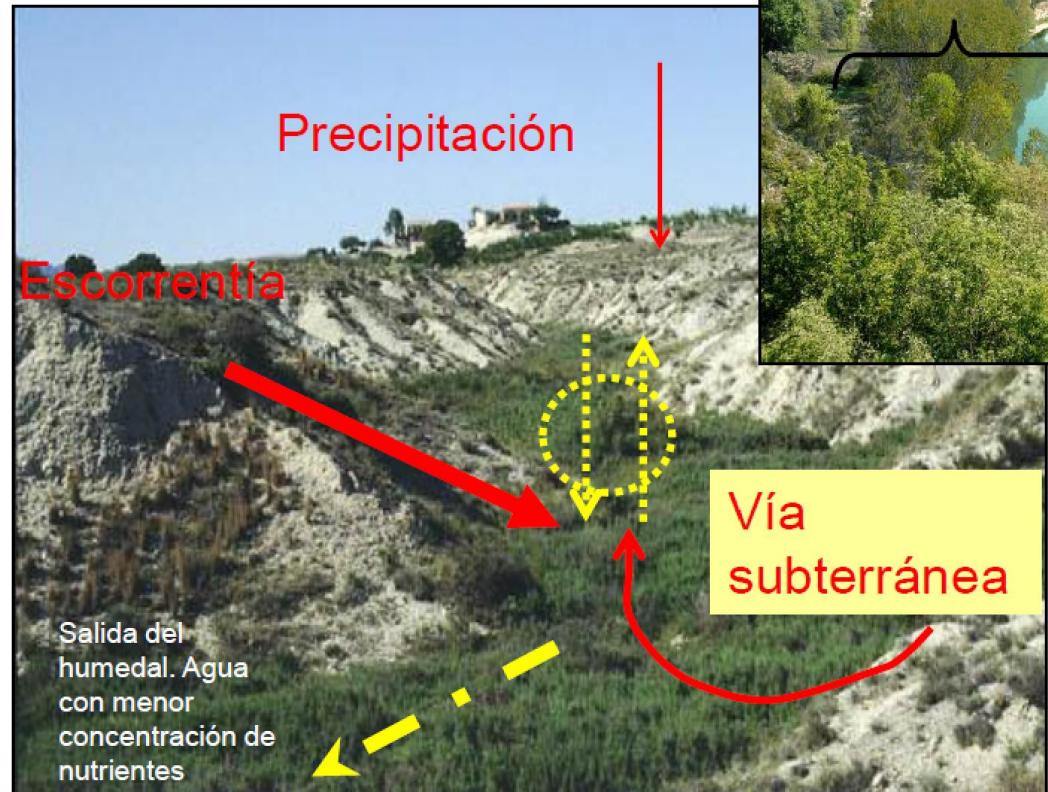
**La eutrofización es un proceso difícil de revertir: Propuesta de medidas generales**



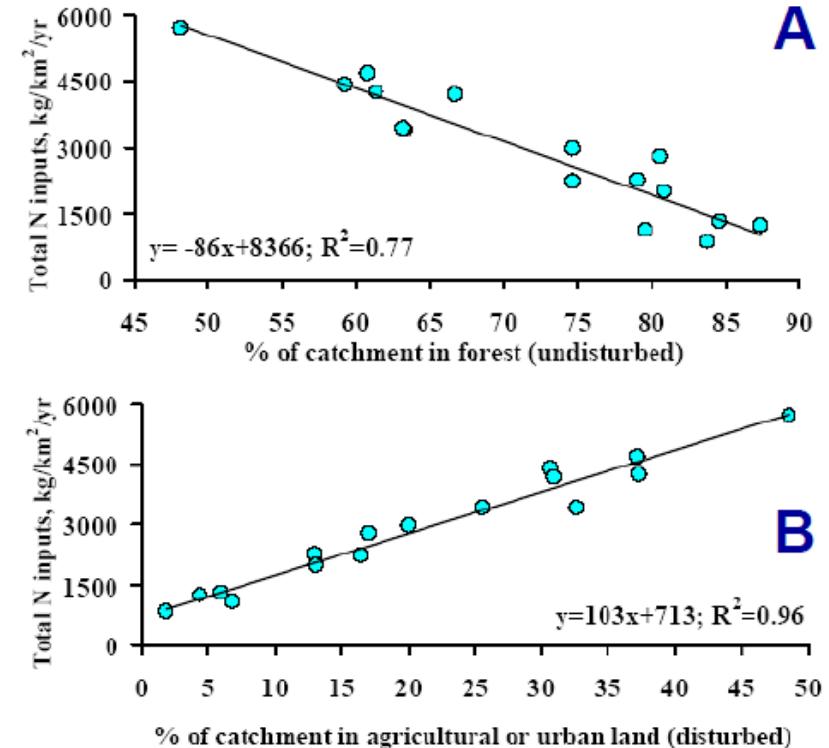
## d) Nutrientes: Eutrofización

### Riparian buffers

Los bosques de ribera, tanto de ríos como de lagos y lagunas, o la vegetación a orillas de un embalse (todos ellos incluidos en la definición de humedal), cumplen igualmente esta importante función "filtro de nutrientes".



### N inputs are related to landuse



A: relación entre las entradas de N total y % de terreno forestal (cuencas no perturbadas)

B: relación entre las entradas de N total y el % de suelo agrícola o urbano (cuencas perturbadas)

## d) Contaminantes emergentes

---

Los **contaminantes emergentes** son contaminantes previamente desconocidos o no reconocidos como tal, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de la misma.

**Tipos más comunes y preocupantes por sus efectos en ecosistemas acuáticos:**

- Fármacos (antibióticos, antinflamatorios, antipiréticos...)
- Compuestos perfluorados (productos de limpieza, tejidos, lubricantes, ....)
- Hormonas y alteradores hormonales
- Drogas de abuso
- Productos de cuidado e higiene personal
- Nanomateriales, nanoplásticos y microplásticos

**Fuente principal: Aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias**

