

## Tema 2: El medio físico

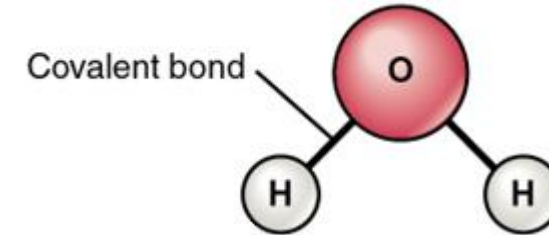
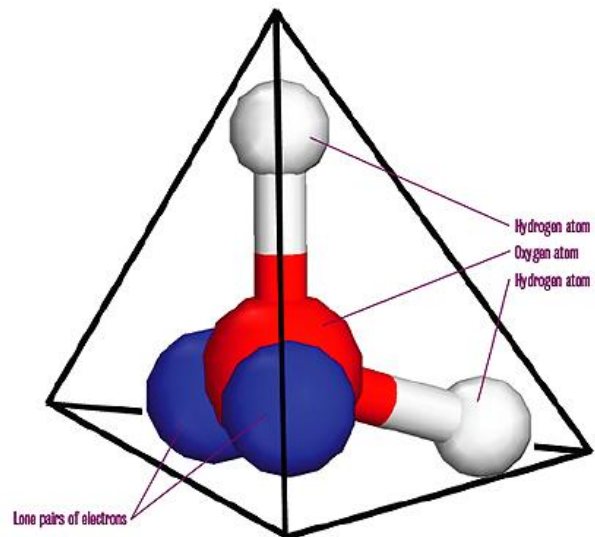
- a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.
- b) Radiación y temperatura: Procesos de estratificación y mezcla.
- c) Circulación termohalina en océanos.
- d) Mareas, mezcla mareal y olas internas. Afloramientos costeros, giros y torbellinos.
- e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes.
- f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica y afótica.



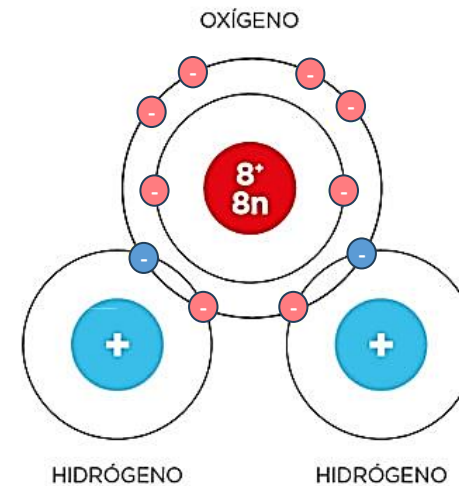
# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## La molécula de agua

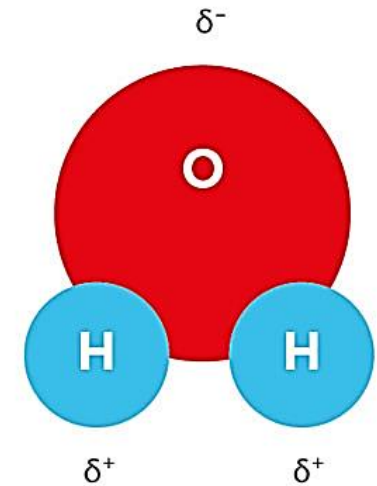
- 2 átomos de H, 1 átomo de O (enlace covalente).
- Molécula dipolar.
- Establecimiento de puentes de hidrógeno en agua líquida.



ELECTRONES EN UNA  
MOLÉCULA DE AGUA



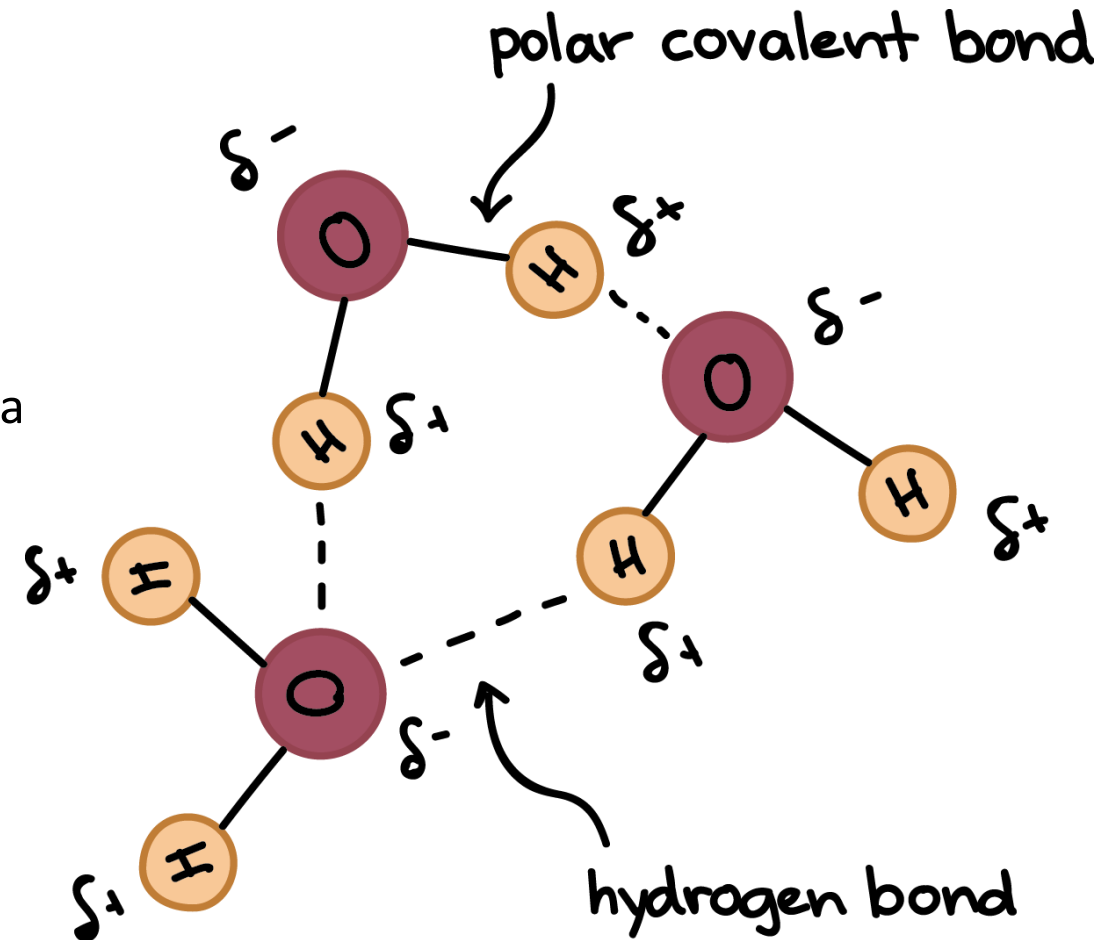
DISTRIBUCIÓN DE LAS  
CARGAS PARCIALES EN UNA  
MOLÉCULA DE AGUA



## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### La molécula de agua

- 2 átomos de H, 1 átomo de O (enlace covalente).
- Molécula dipolar.
- Establecimiento de puentes de hidrógeno en agua líquida.



<https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/hydrogen-bonding-in-water>

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### Propiedades del agua

- 1) Alto calor específico, de evaporación y fusión.
- 2) Densidad: relación con temperatura y salinidad.
- 3) Fuerte absorción de radiación calórica.
- 4) Alta viscosidad.
- 5) Alta tensión superficial.
- 6) Solvente universal.



# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

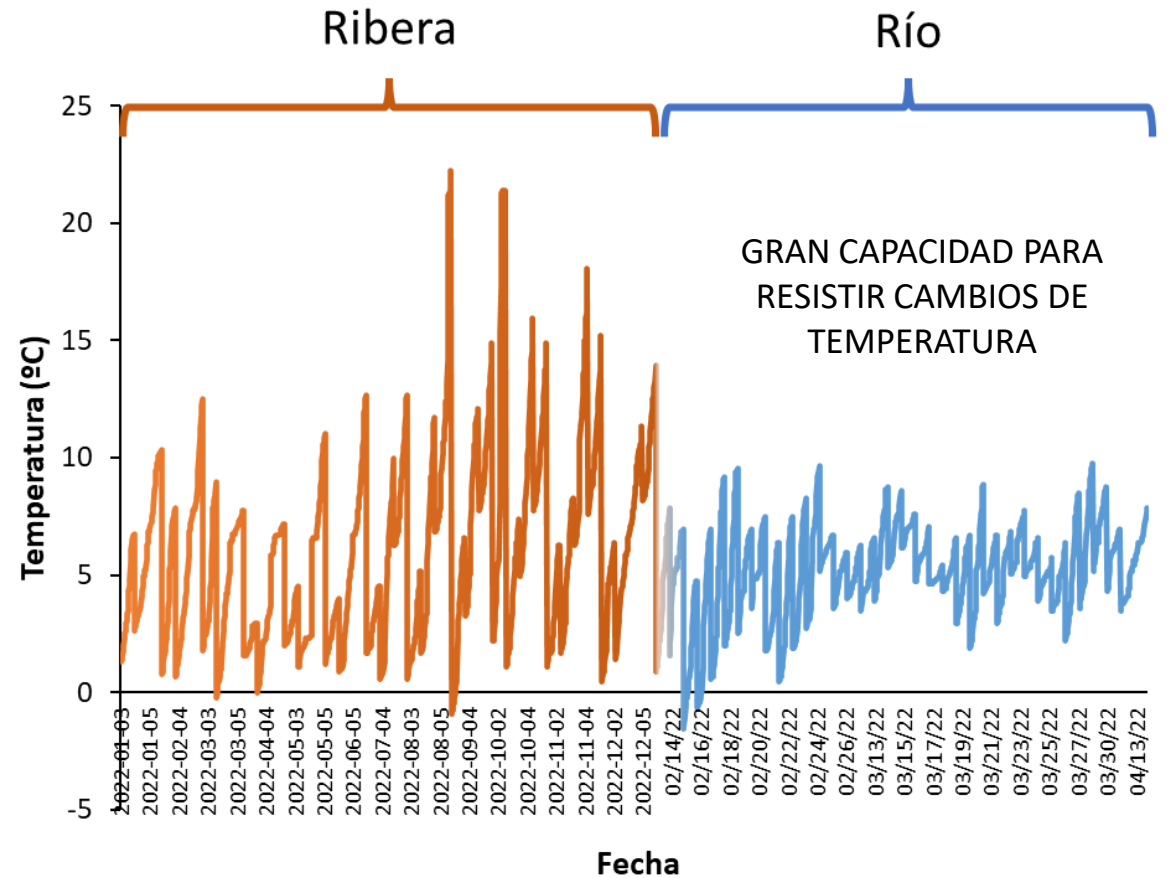
## 1. Propiedades térmicas: alto calor específico, de evaporación y fusión.

- Alto **calor específico** (cantidad de energía necesaria para aumentar 1°C su temperatura)

Sustancia	Calor esp. (J/g°C)	Calor esp. (cal/g°C)
Agua	4.18	1
Aire	0.99	0.24
Tierra	0.83	0.19
Aceite	2.09	0.50
Aluminio	0.84	0.20
Hielo (0°C)	2.09	0.50



Calor específico de distintas sustancias



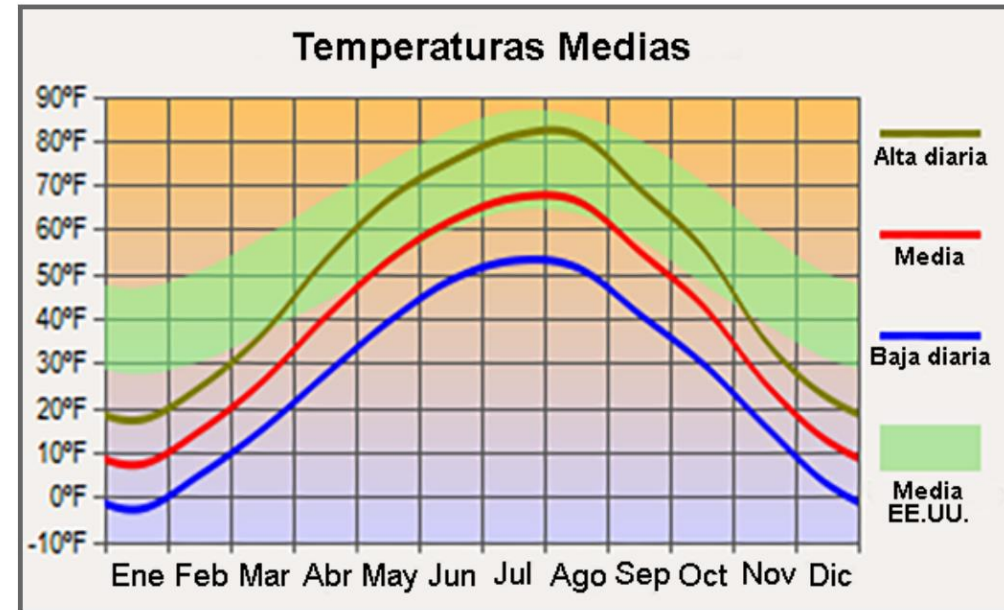
Datos de temperatura de la ribera y del agua del río Lugros (Jérez del Marquesado, Granada). Pertenecientes al proyecto INVASORIAN (<https://invasorian.wixsite.com/invasorian>)

# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 1. Propiedades térmicas: alto calor específico, de evaporación y fusión.



(a)



(b)

Wikimedia Commons

Fig. 11 (a) Ubicación continental del estado de Dakota del Norte, EE.UU.; y (b) su variación típica de temperatura anual.

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### 1. Propiedades térmicas: alto calor específico, de evaporación y fusión.

**¿Qué se calienta más rápido, el aire o el agua?**

El aire.

**¿La fluctuación diaria de la temperatura del aire será más grande o más pequeña que la de la temperatura del agua de un lago?**

Más grande.

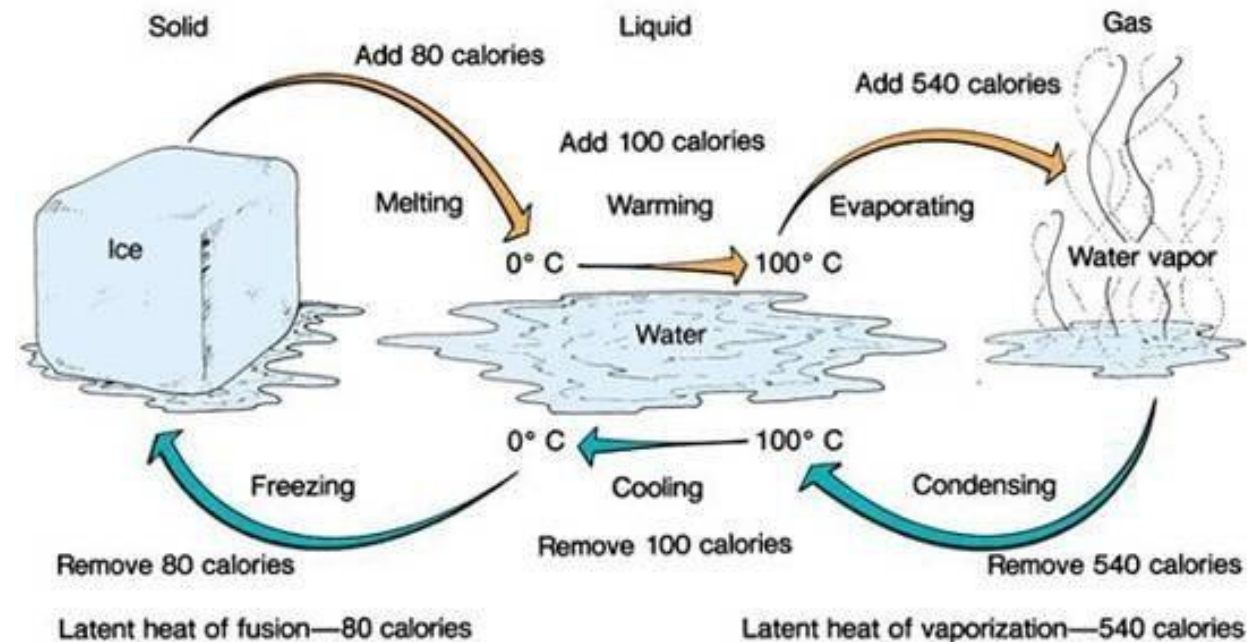


## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 1. Propiedades térmicas: alto calor específico, de evaporación y fusión.

- Alto **calor de vaporización** (cantidad de energía necesaria para transformar 1 g de sustancia líquida en gas a una temperatura cte.) =  $\sim 2272 \text{ J/g}$  (540 cal/g)

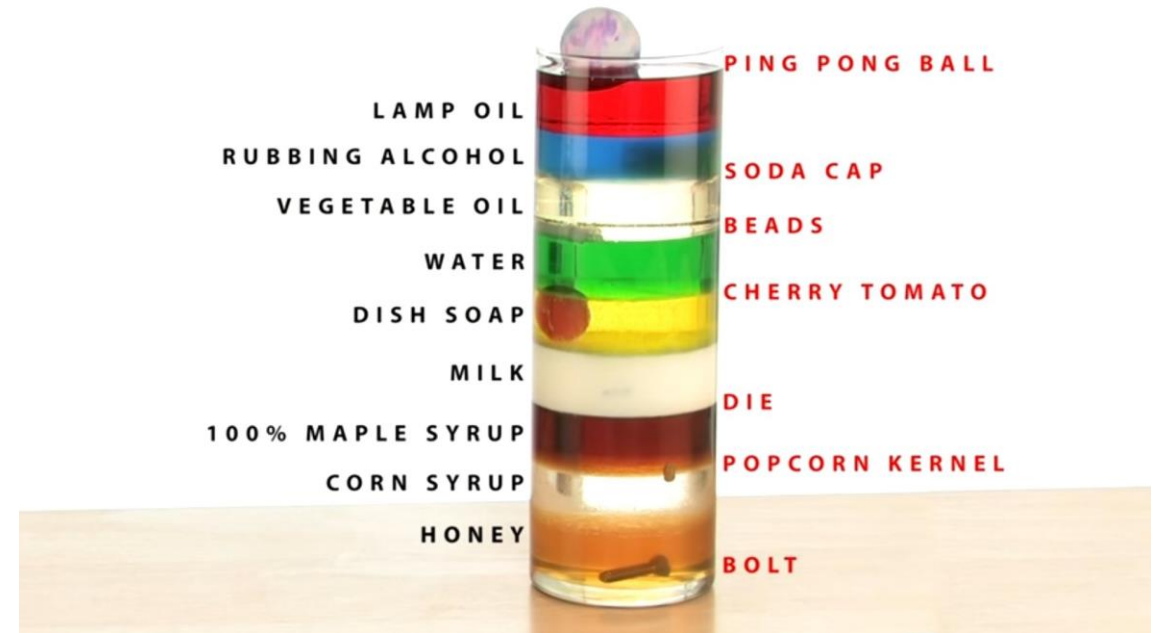
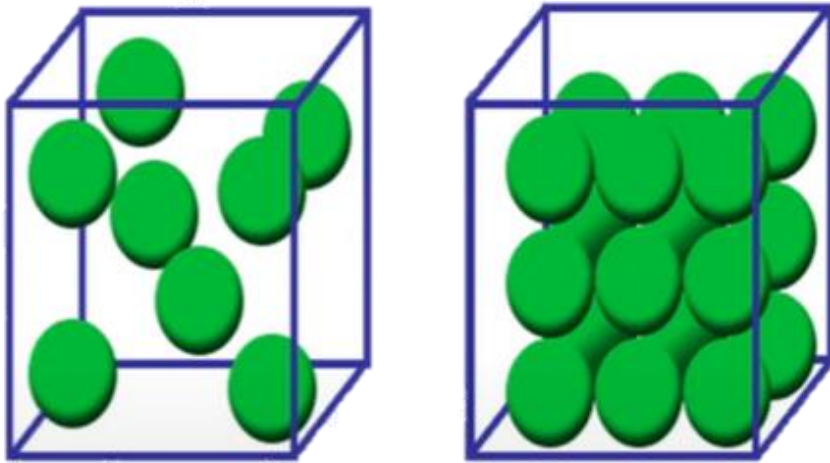
- Alto **calor de fusión** (cantidad de energía necesaria para transformar 1 g de sustancia sólida en líquida a una temperatura cte.) =  $\sim 334 \text{ J/g}$  (80 cal/g)



## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 2. Densidad

- Capacidad de compactarse de una sustancia.
- Masa/volumen

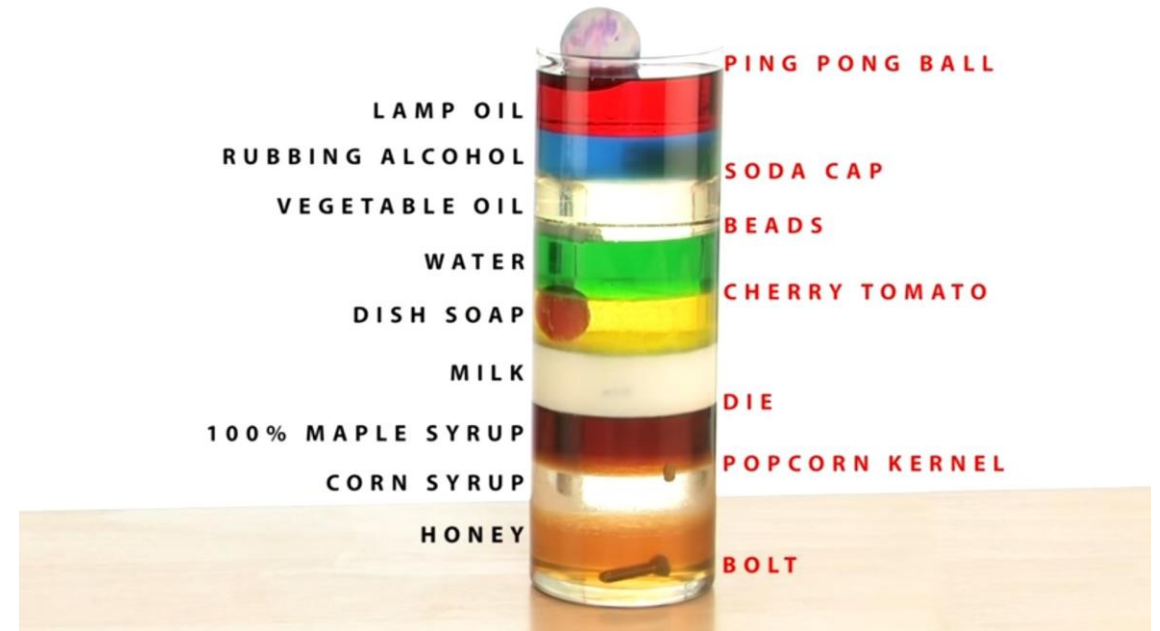


Estratificación de sustancias con diferentes densidades.

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 2. Densidad

- Capacidad de compactarse de una sustancia.
- Masa/volumen
- El **agua** es **775 veces más densa que el aire** (~1kg/L, Implica escaso efecto de la gravedad sobre los organismos acuáticos (mayor sustentación)).



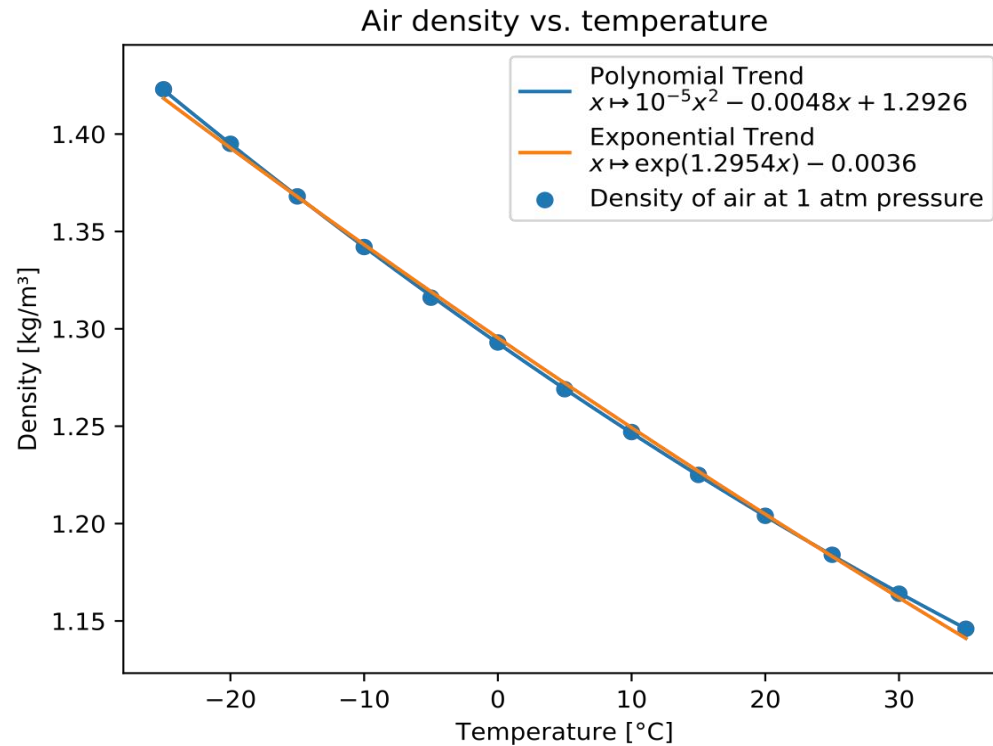
*Estratificación de sustancias con diferentes densidades.*



# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 2. Densidad y temperatura

- La densidad de la mayoría de sustancias disminuye con la temperatura.



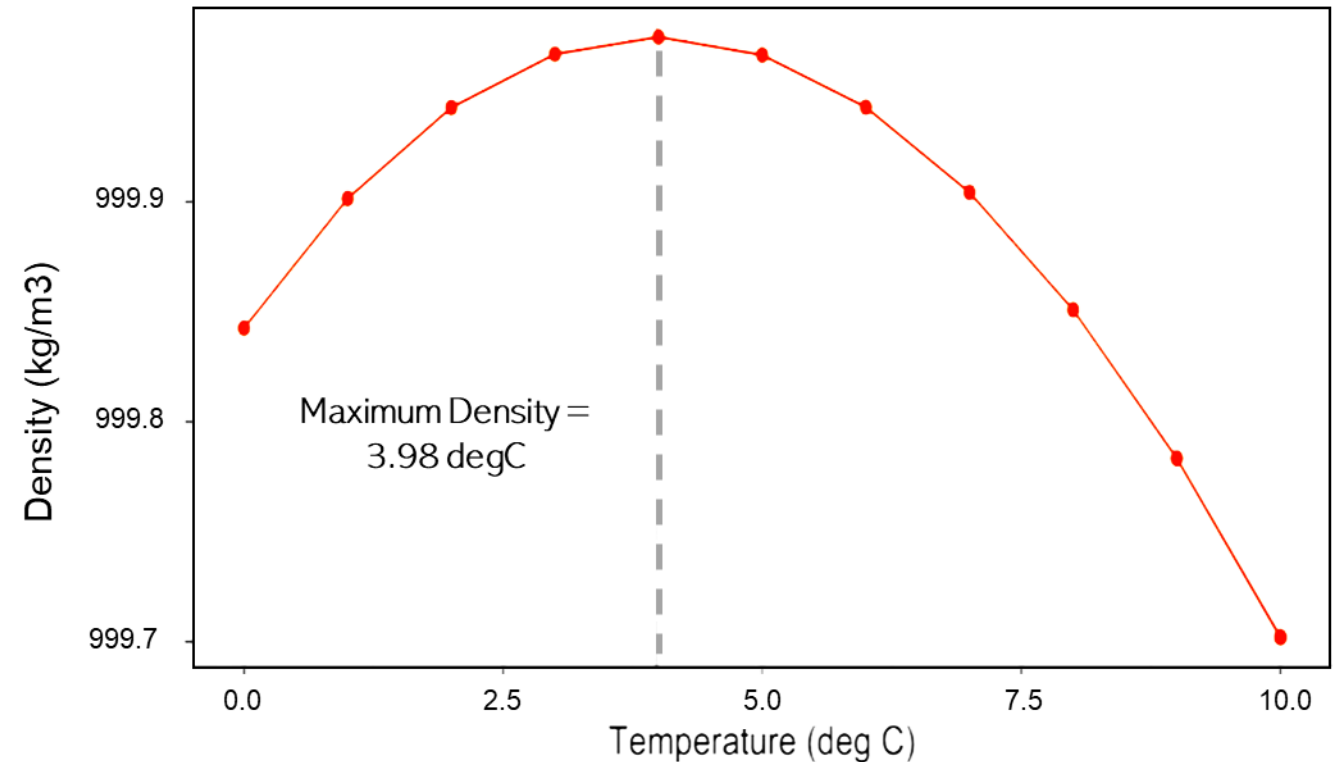
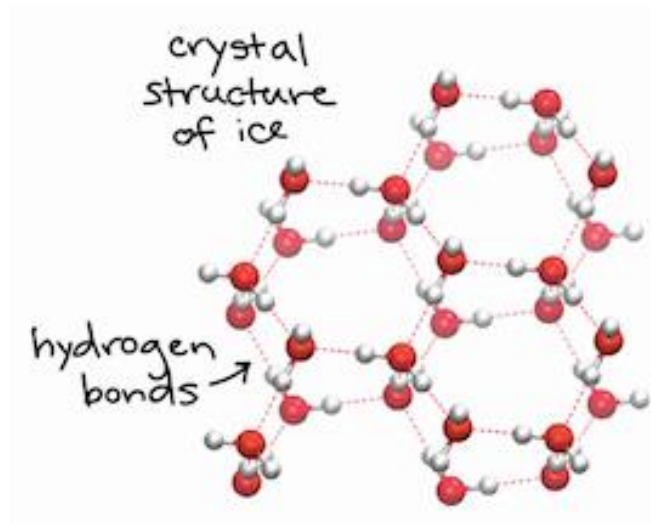
*Al calentar el aire del globo este se expande, disminuye densidad, y asciende.*



# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 2. Densidad y temperatura

- El **agua** es única, y presenta su máxima densidad a  $\sim 4^{\circ}\text{C}$ .



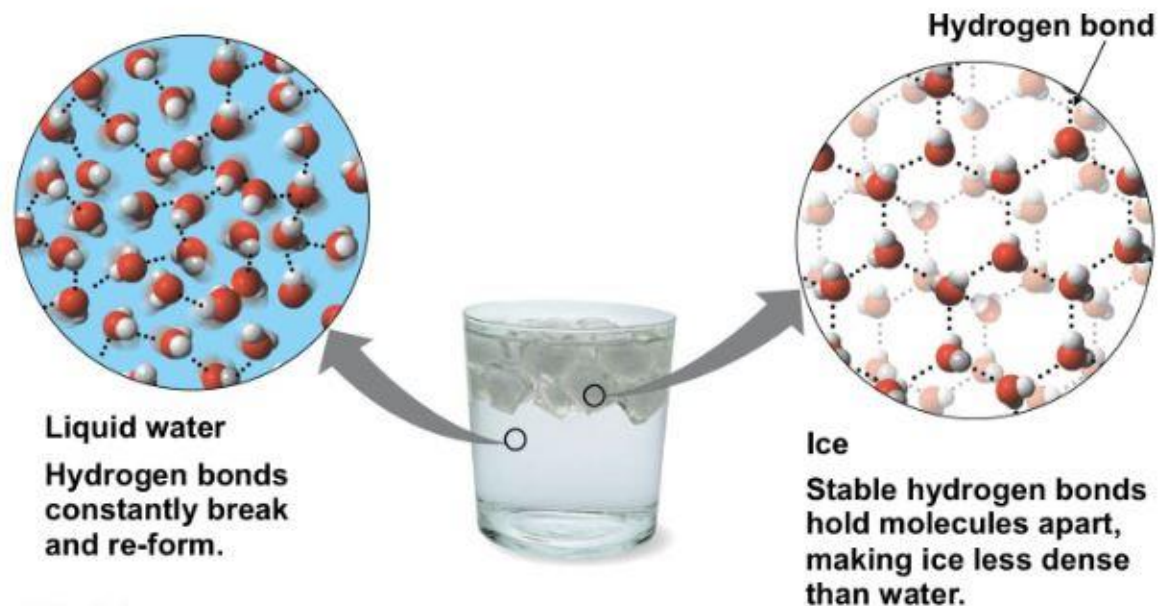
Las moléculas se agrupan en una estructura cristalina.

Aumenta la distancia entre moléculas.

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 2. Densidad y temperatura

- El **agua** es única, y presenta su máxima densidad a  $\sim 4^{\circ}\text{C}$ .
- Se expande hasta un 9% al congelarse.
- Mayor distancia entre moléculas = disminución de la densidad.
- Estructura de baja densidad  $\rightarrow$  **El hielo flota.**



© 2010 Pearson Education, Inc.



*Ejemplo de la expansión del agua al congelarse.*

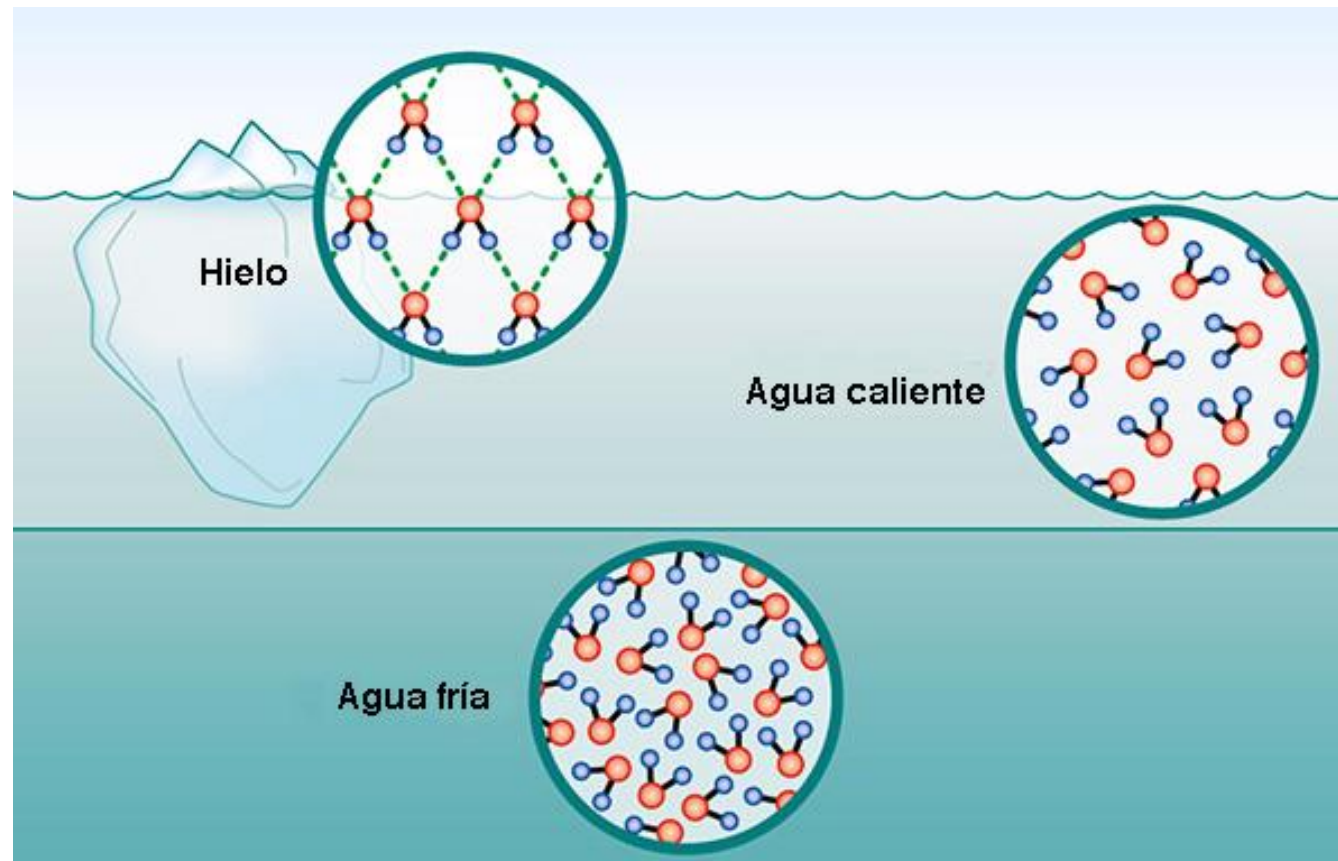


## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### 2. Densidad y temperatura

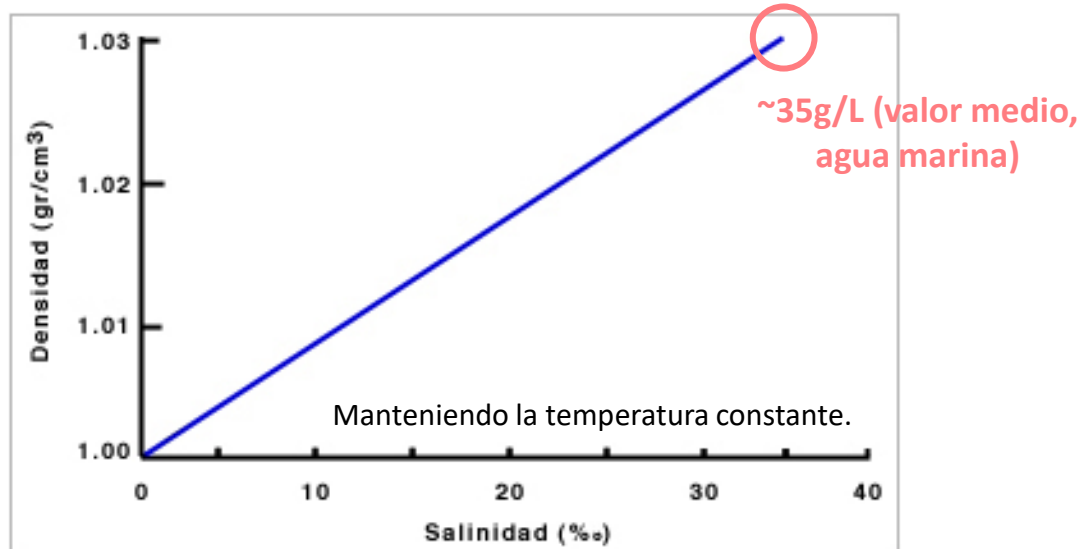
¿Qué pasaría si el hielo se hundiera?



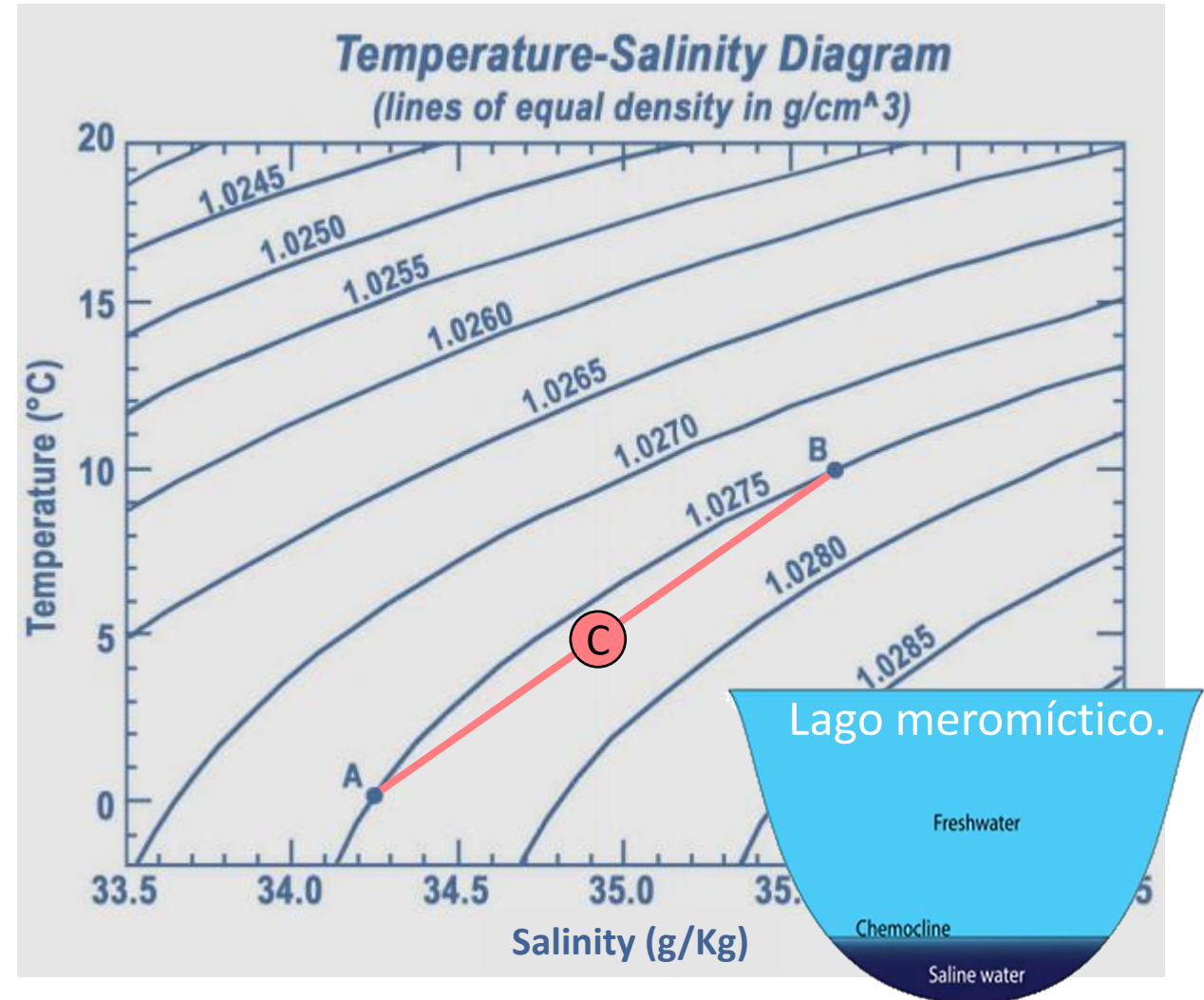
# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 2. Densidad y salinidad

- El **agua** salada es más densa que el agua dulce.



Persona flotando en el Mar Muerto donde la densidad del agua es de **1.24 kg/L** (Densidad media de una persona, 0.93kg/L).

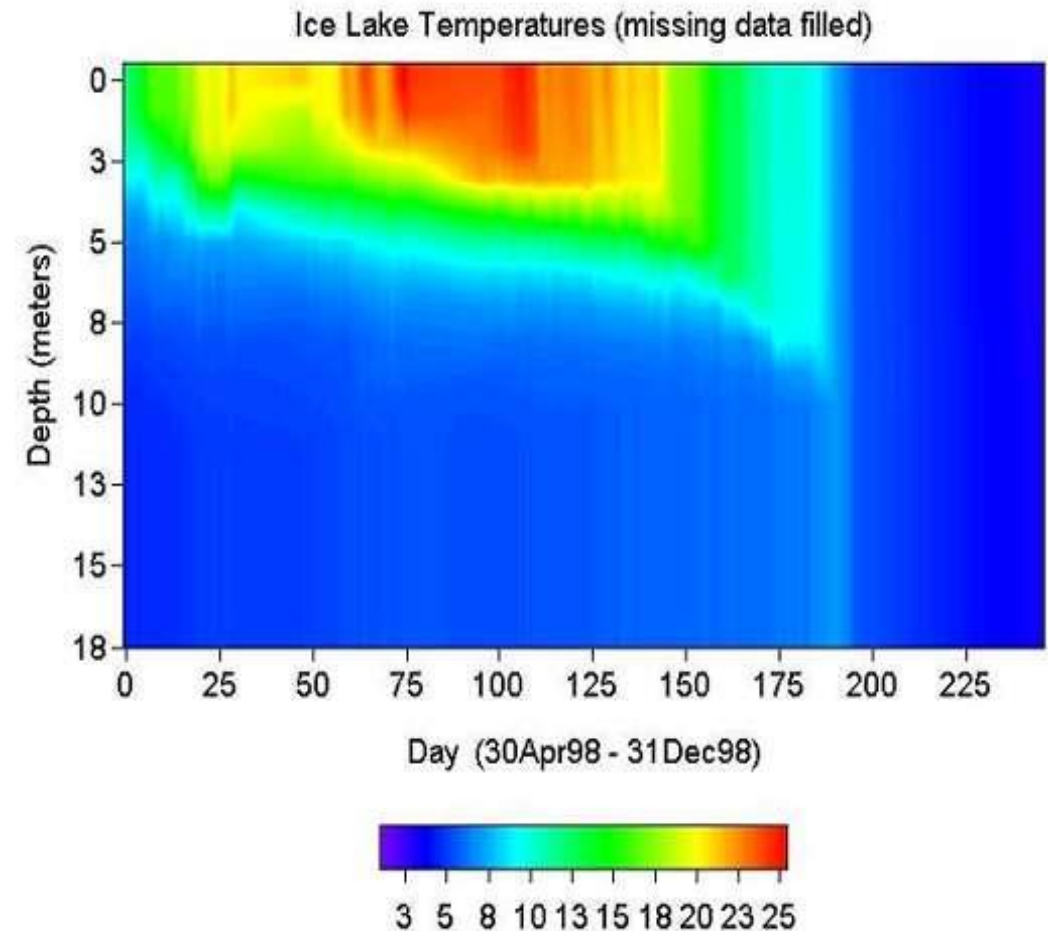
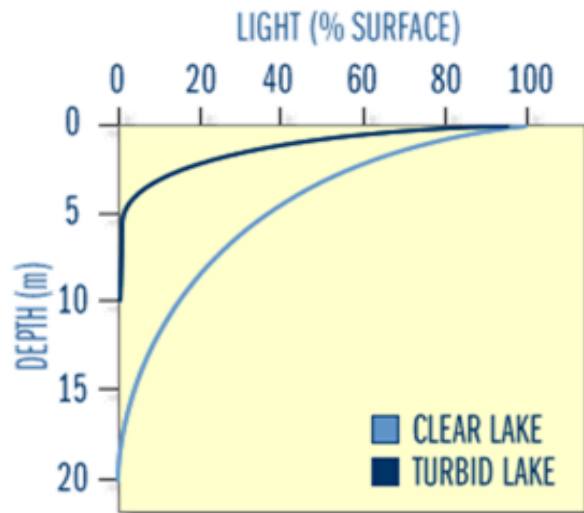


Lago meromítico.

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 3. Fuerte absorción de radiación térmica: estratificaciones en sistemas acuáticos

- El **agua** absorbe radiación solar, transformándola en calor.
- El **agua** dispersa la luz 1000 veces más que el aire.
- La radiación solar es la mayor fuente de energía para los ecosistemas acuáticos.



## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 4. Viscosidad: Implicaciones para el desplazamiento de organismos acuáticos

- **Viscosidad** = resistencia al movimiento.
- La **viscosidad** del **agua** produce una resistencia de fricción aproximadamente **50-100 veces superior a la del aire**.
- El desplazamiento en el medio acuático requiere mayor gasto energético que en el medio terrestre.

Miel > Agua > Aire



Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

Formas  
hidrodinámicas



# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 4. Viscosidad: Implicaciones para el desplazamiento de organismos acuáticos

- La viscosidad del **agua** disminuye con la temperatura.

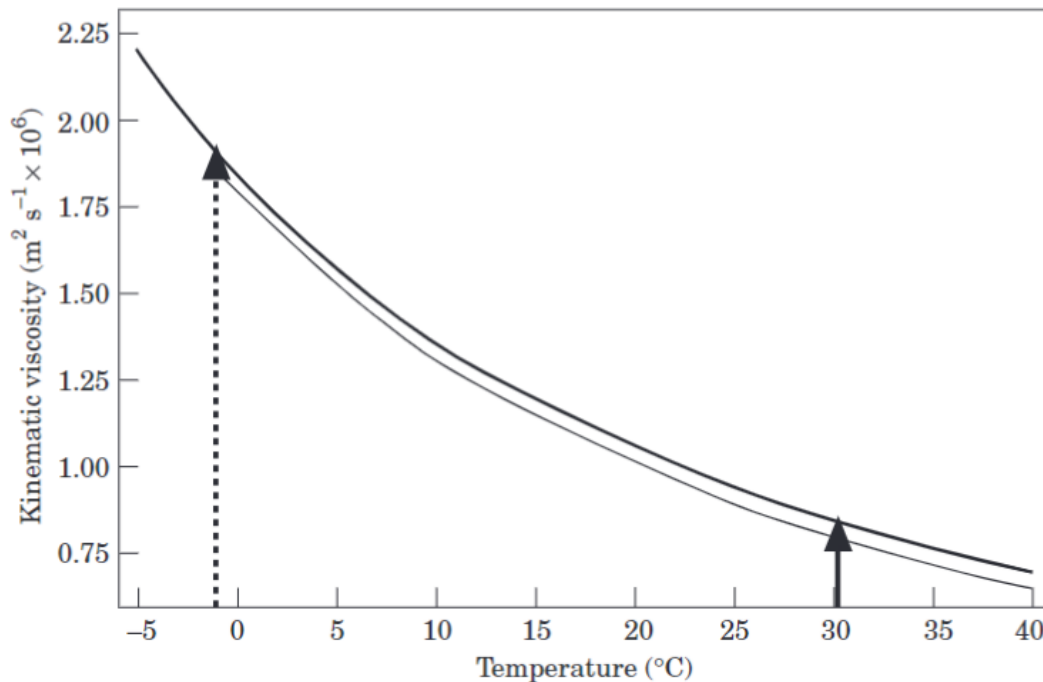


FIG. 1. Relationship between kinematic viscosity ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) and temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) as calculated from equations in Sengers & Watson (1986). The upper curve represents changes of kinematic viscosity with temperature in seawater, while the lower curve represents changes in freshwater (after Jumars *et al.* 1993). Arrow (dashed) indicates example of the viscosity at  $-2.0^{\circ}\text{C}$  and arrow (solid) indicates the viscosity at  $30^{\circ}\text{C}$ .

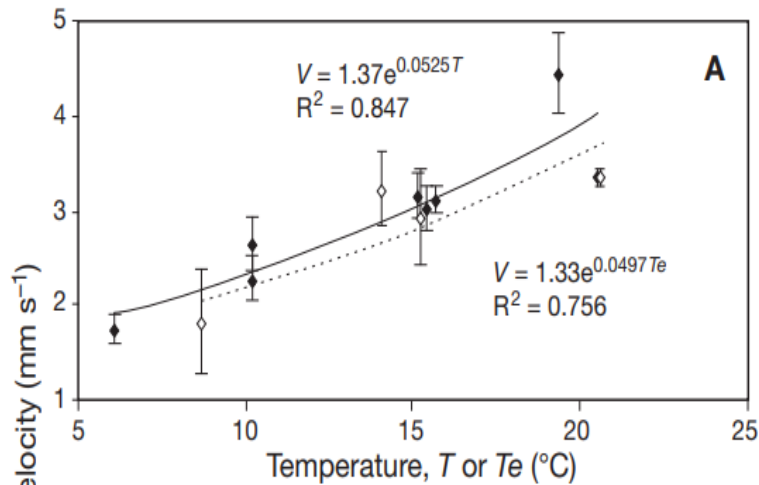
*Hunt von Herbin et al., 2002. Journal of Fish Biology*

# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

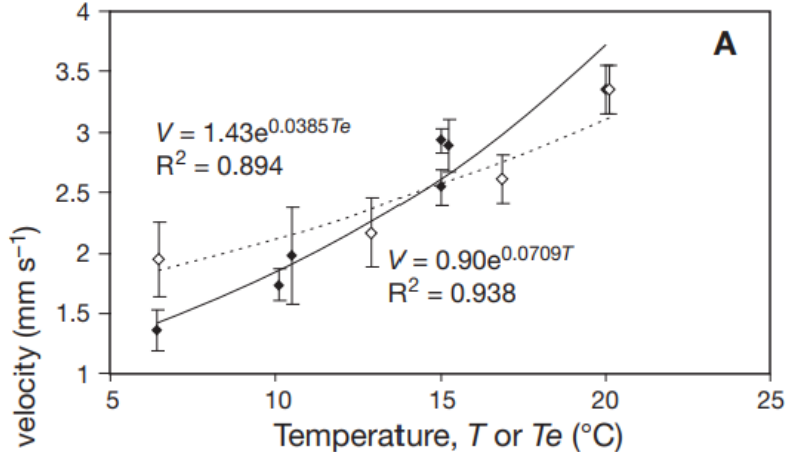
## 4. Viscosidad: Implicaciones para el desplazamiento de organismos acuáticos



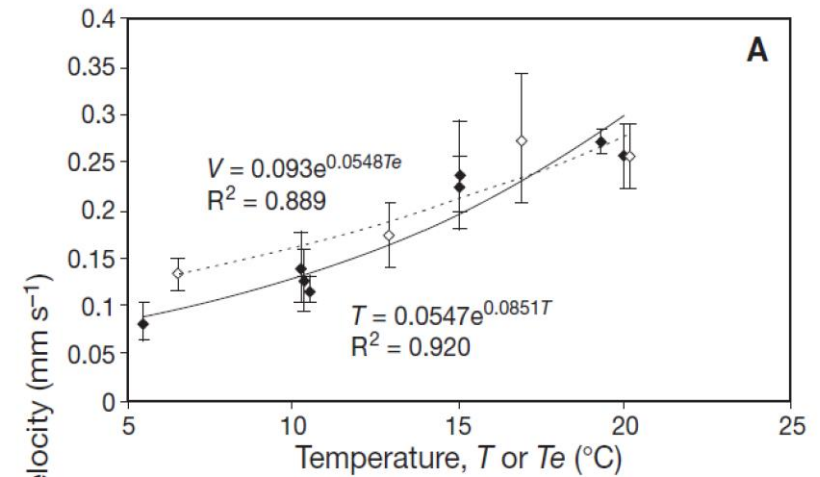
Copépodo (*Acartia artonsa*)



Braquiópodo (*Artemia salina*)



Rotífero (*Brachionus plicatilis*)



Larsen et al., 2008. *Aquatic Biology*

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### 4. Viscosidad: Implicaciones para el desplazamiento de organismos acuáticos

- En la naturaleza, la **viscosidad** interactúa con las **fuerzas de inercia** (fuerza que aparece cuando un cuerpo experimenta una aceleración o deceleración), afectando al desplazamiento de los organismos.
- Su relación es caracterizada por el **número de Reynolds** (adimensional):

$$\text{Re} = \frac{\text{Fuerza de Inercia}}{\text{Fuerza de viscosidad}} = \frac{\delta \times U \times L}{\mu}$$

$\delta$  = Densidad del fluido;  $U$  = velocidad;  $L$  = longitud del cuerpo;  $\mu$  = viscosidad del fluido

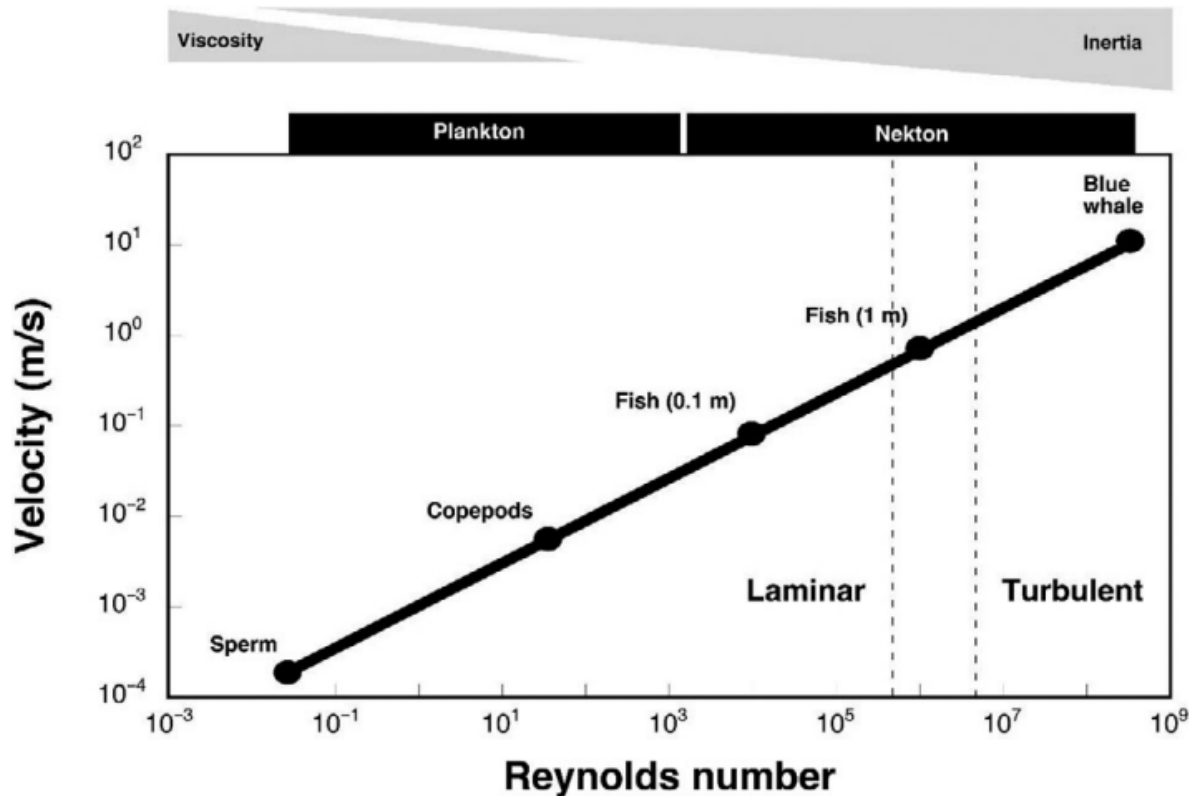
$\text{Re} \gg 1$ , macroworld

$\text{Re} \ll 1$ , microworld

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 4. Viscosidad: Implicaciones para el desplazamiento de organismos acuáticos

Desplazamientos a **alta velocidad** y **cuerpos mayores** producen mayores números de *Reynolds*.



*“Los organismos pequeños viven en el mundo de la viscosidad y los grandes en el mundo de las turbulencias”.*

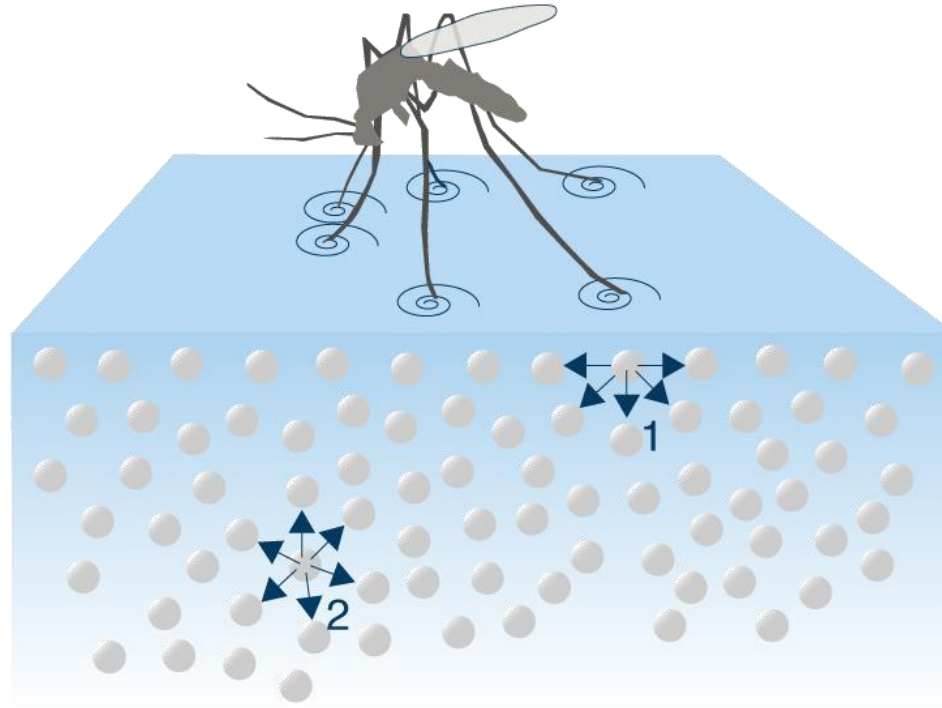
Para *Re* inferior a 1 se puede ignorar la influencia del movimiento en el agua (inercia), influye más la viscosidad de esta.



## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 5. Alta tensión superficial: mayor que la de cualquier otro líquido

- **Tensión superficial**: capacidad de la superficie de un líquido de resistir una fuerza externa debido a la **cohesión** de sus moléculas.



La propiedad de tensión superficial.

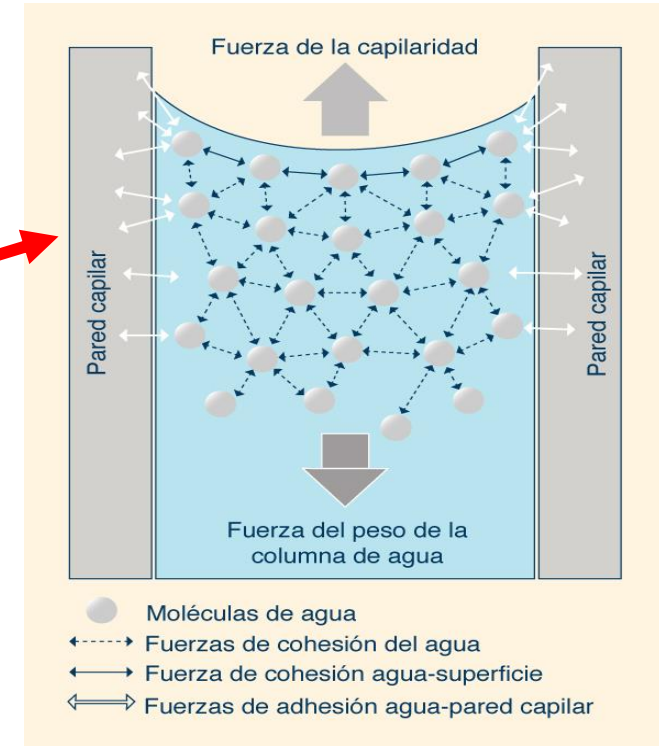
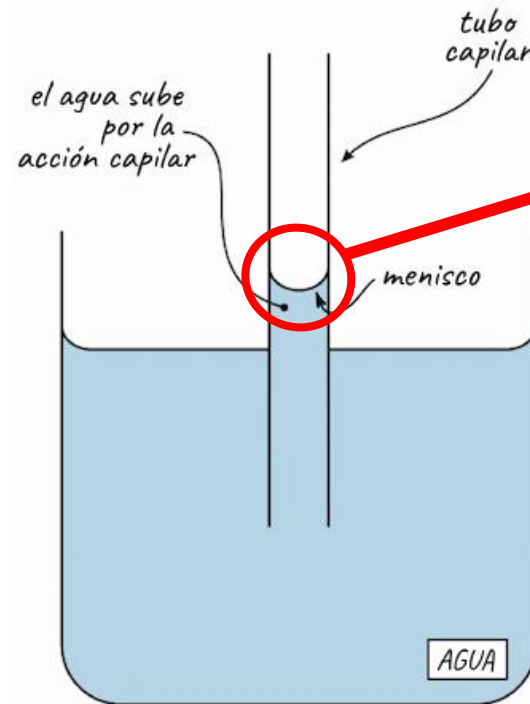
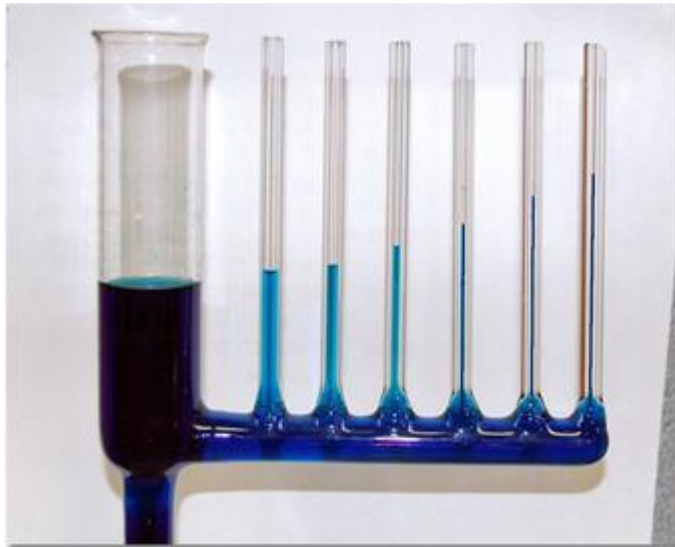
[https://ponce.sdsu.edu/propiedades\\_del\\_agua.html](https://ponce.sdsu.edu/propiedades_del_agua.html)



# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 5. Alta tensión superficial: mayor que la de cualquier otro líquido

- **Cohesión**: atracción entre moléculas del mismo tipo.
- **Adhesión**: atracción de moléculas de un tipo por moléculas de otro tipo (ej. agua y vidrio).



Si cohesión > adhesión...

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### 5. Alta tensión superficial: mayor que la de cualquier otro líquido

**¿Qué utilidad puede tener la capilaridad en la naturaleza?**

# a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

## 6. Solvente universal ... pero no de todo

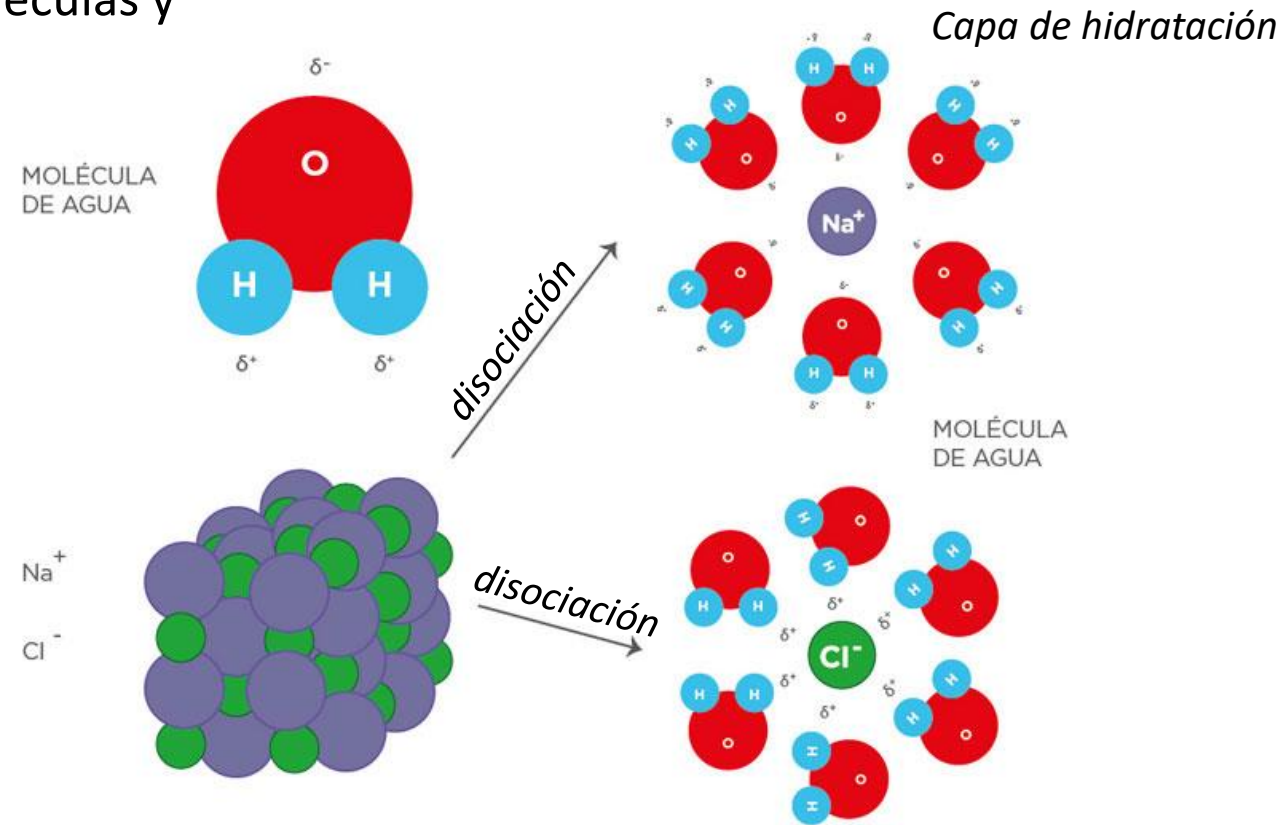
- **Solvente:** sustancia que puede disolver otras moléculas y compuestos (*solutos*).

- Solvente + soluto = **solución**

Si el solvente es el **agua**, **soluciones acuosas**.



Sustancia no polar en agua.



*“lo semejante disuelve a lo semejante”*



## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

### 6. Solvente universal.

- Alta constante dieléctrica.

El agua es un medio **dieléctrico** fuerte, lo que significa que las fuerzas electrostáticas que actúan entre dos cargas en el agua se reducen drásticamente.

Material	Constante dieléctrica
Aceite	2,24
Agua a 20 °C	80
Aire	1,0006
Baquelita	4,9
Mica	5,4
Neopreno	6,9
Papel	3,7
Parafina	2,3
Plexiglás	3,4
Porcelana	7
Vidrio pyrex	5,6

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

---

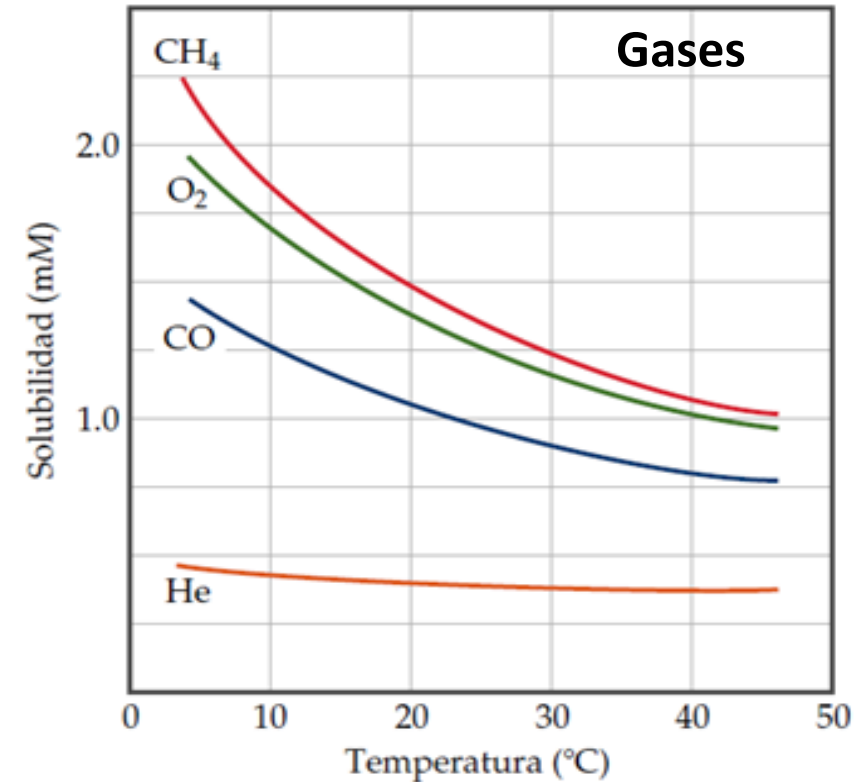
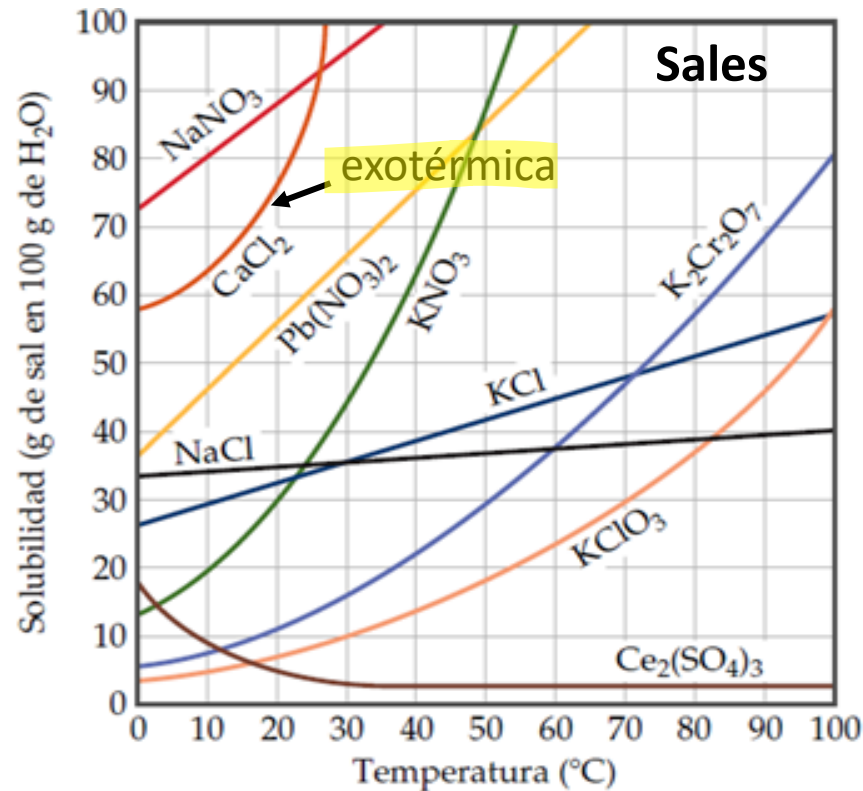
### 6. Solubilidad y temperatura.

**¿Cómo varía la solubilidad de un compuesto en agua con la temperatura?**

Depende

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 6. Solubilidad y temperatura.



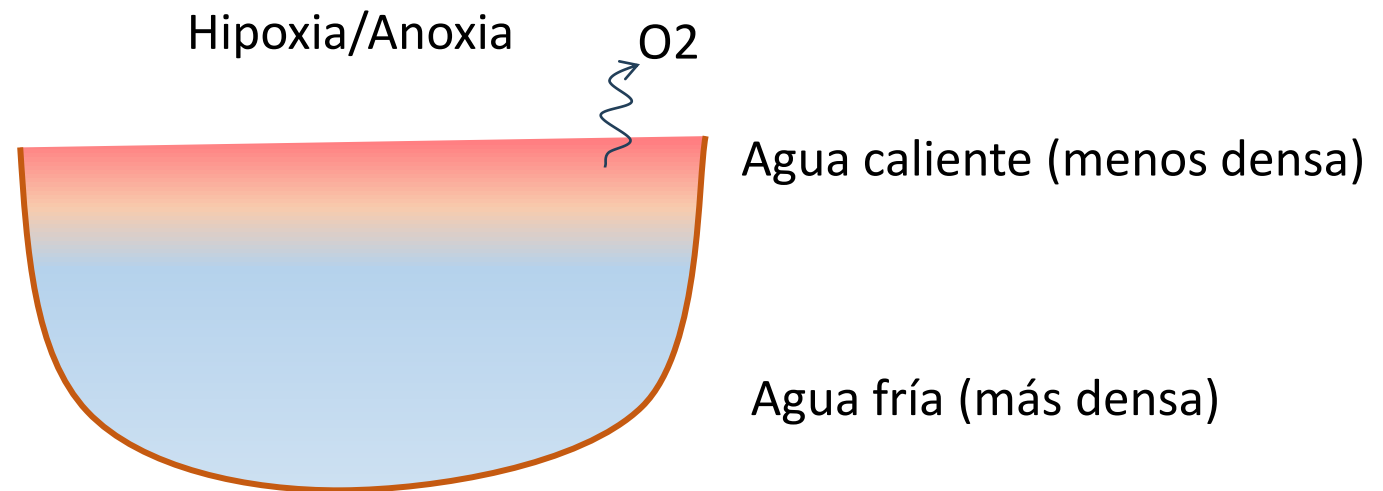
Si la **reacción es endotérmica** (el calor generado no es suficiente para separar las moléculas del sólido), la adición de calor facilita la disolución, al proveer energía para romper los enlaces del sólido.

Al aumentar la temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas, causando mayor agitación de estas rompiendo los enlaces, propiciando su escape de la solución.

## a) Propiedades del agua con trascendencia ecológica.

### 6. Solubilidad y temperatura: implicaciones para los ecosistemas.

¿Qué podría pasar en un lago al que se devuelve agua utilizada para refrigerar un reactor a una temperatura muy superior a la original?



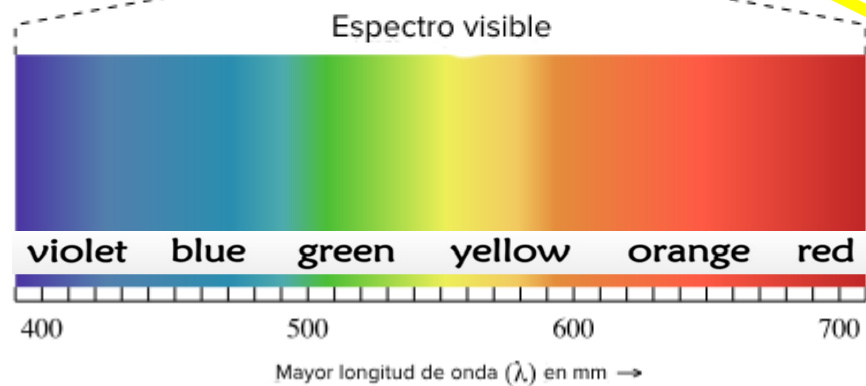
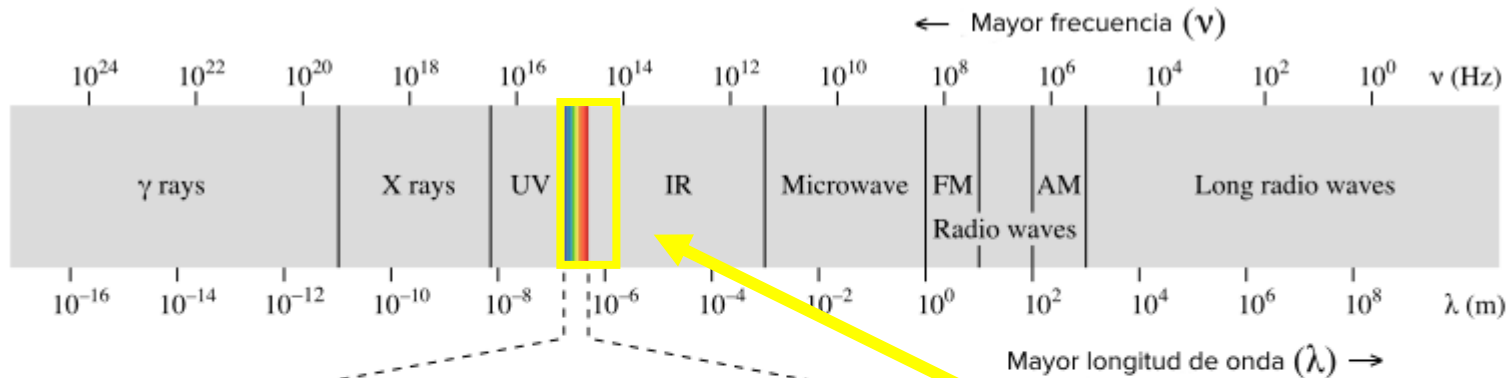
Estrés térmico en organismos de sangre fría



# b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

## Propiedades de la luz.

- **Luz:** parte de la energía radiante de un espectro electromagnético.



Luz que entra en los sistemas acuáticos

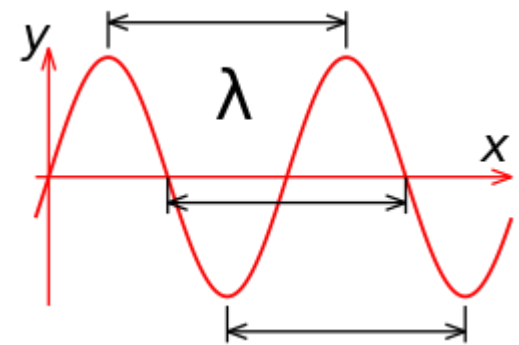
Luz que usan los organismos

Photosynthetically Active Radiation (PAR)

- Luz = flujo de ondas electromagnéticas

- La **longitud de onda** (o su color) es una medida cualitativa de la energía de la luz.

- Longitud de onda corta = alta energía.



Longitud de onda

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

¿Qué factores determinan la cantidad de luz que llega y entra en un **ecosistema acuático**?

### - Hora del día.

Al medio día entra más luz que durante la mañana o la tarde.

### - Clima.

Las nubes son muy efectivas bloqueando la luz solar.

### - Terreno local.

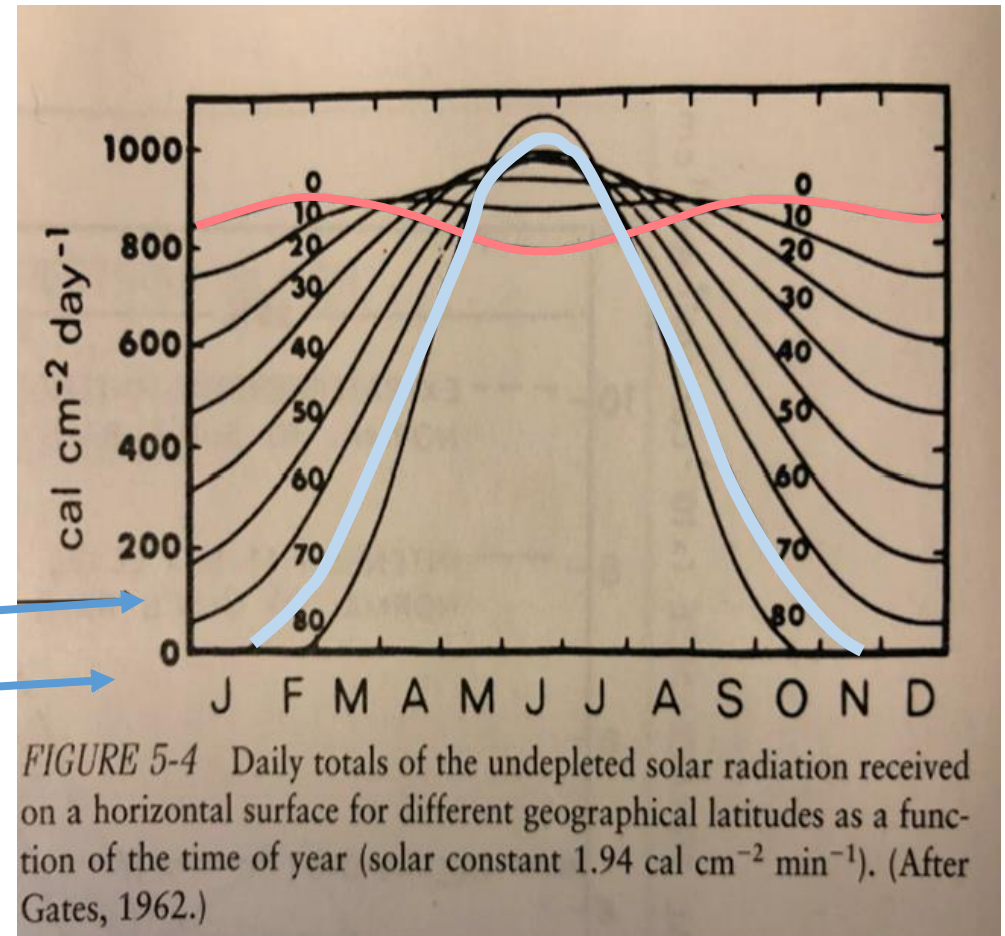
Ej. un pequeño lago con grandes árboles alrededor.

### - Latitud.

### - Estación.

### - Hielo

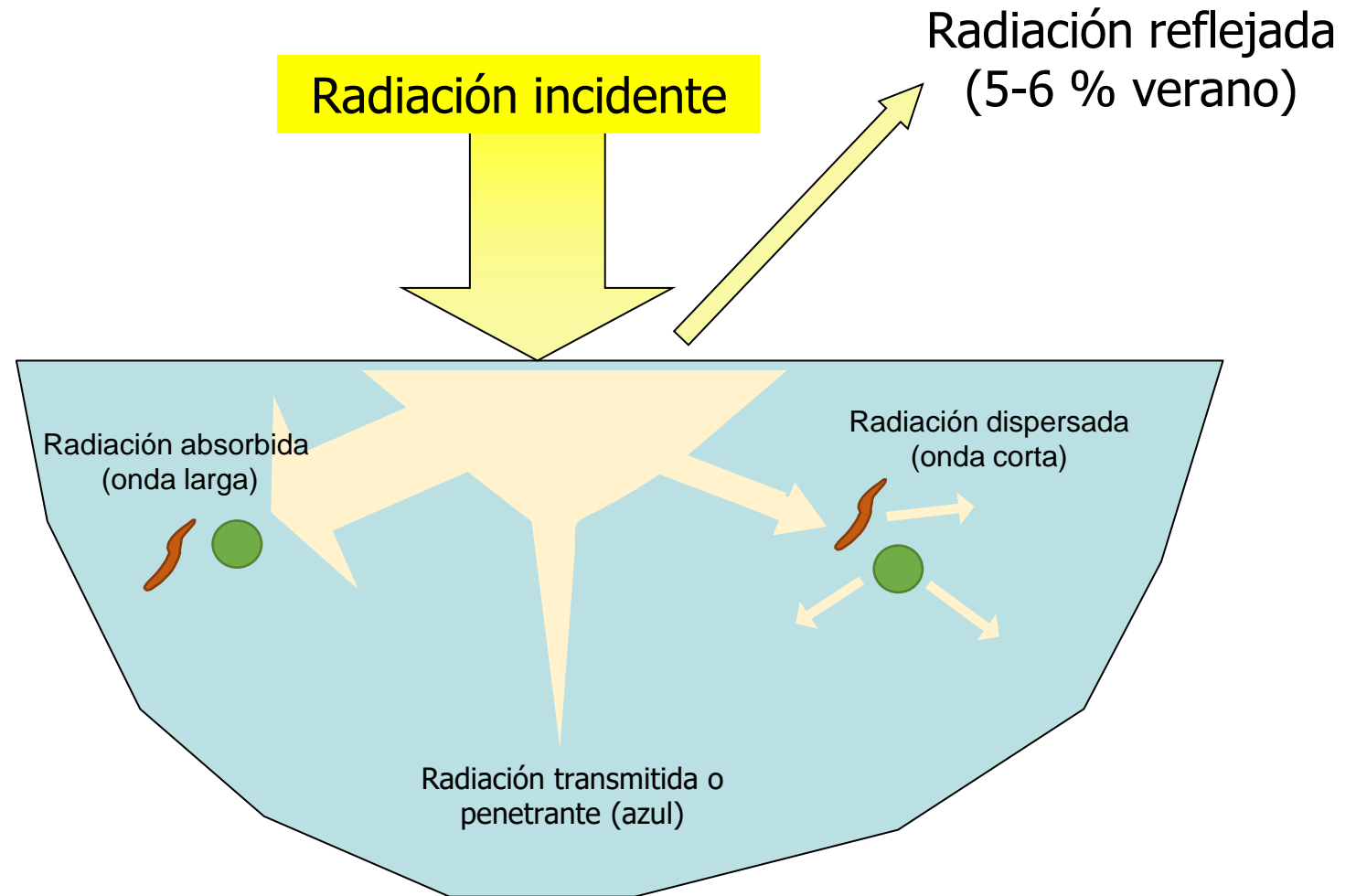
El hielo, y sobre todo la nieve reducen la cantidad de luz disponible bajo la capa de hielo.



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Destinos de la luz una vez que llega al ecosistema acuático...

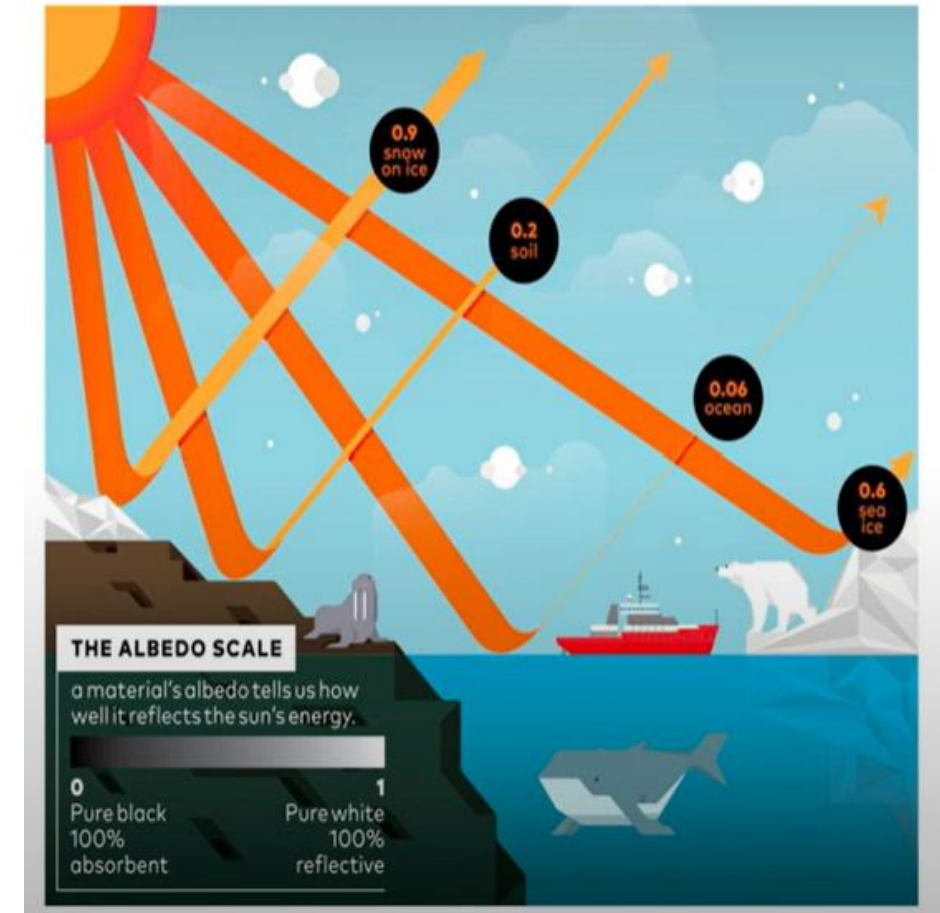
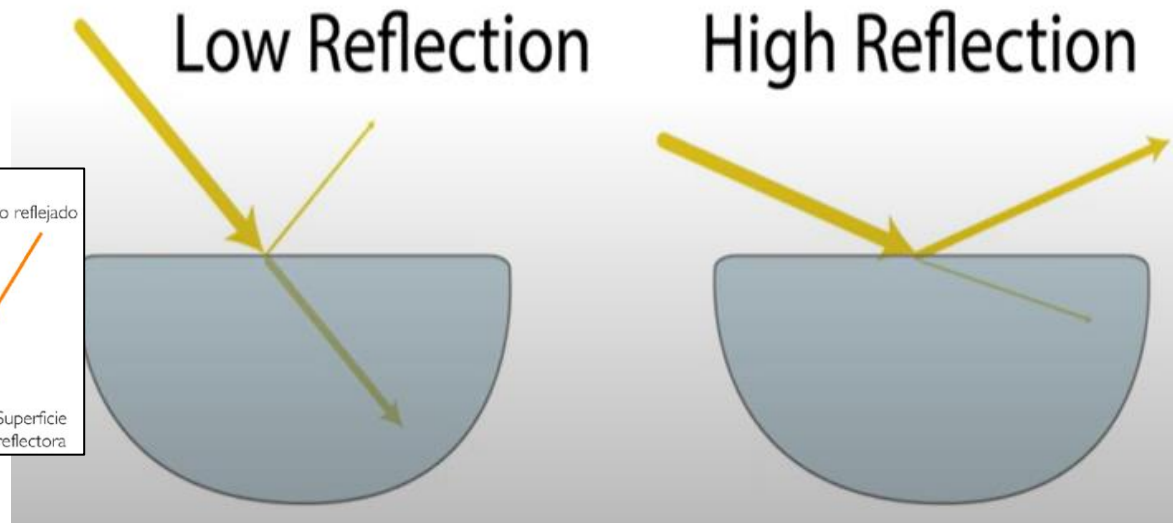
- REFLEJADA
- ABSORBIDA
- DISPERSADA
- TRANSMITIDA



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Radiación reflejada o Albedo

- El color de la superficie tiene un alto control sobre el albedo.  
Ej. el hielo que es blanco tiene alto % de albedo.
- Ángulo de incidencia.  
Más inclinación = más albedo.



**Margalef (1983)** calcula los siguientes valores de reflexión en función del ángulo  $\phi$ :  
 $\phi$  90° → 2%; 30° → 6%; 5° → 40%

Porcentajes medios de **radiación reflejada** (albedo) por distintas superficies.

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Radiación reflejada o Albedo

- El color de la superficie tiene un alto control sobre el albedo.

Ej. el hielo que es blanco tiene alto % de albedo.

- Ángulo de incidencia.

Más inclinación = más albedo.

- "Rugosidad"

El oleaje provoca grandes variaciones en la cantidad de radiación reflejada (puede aumentar o disminuir).

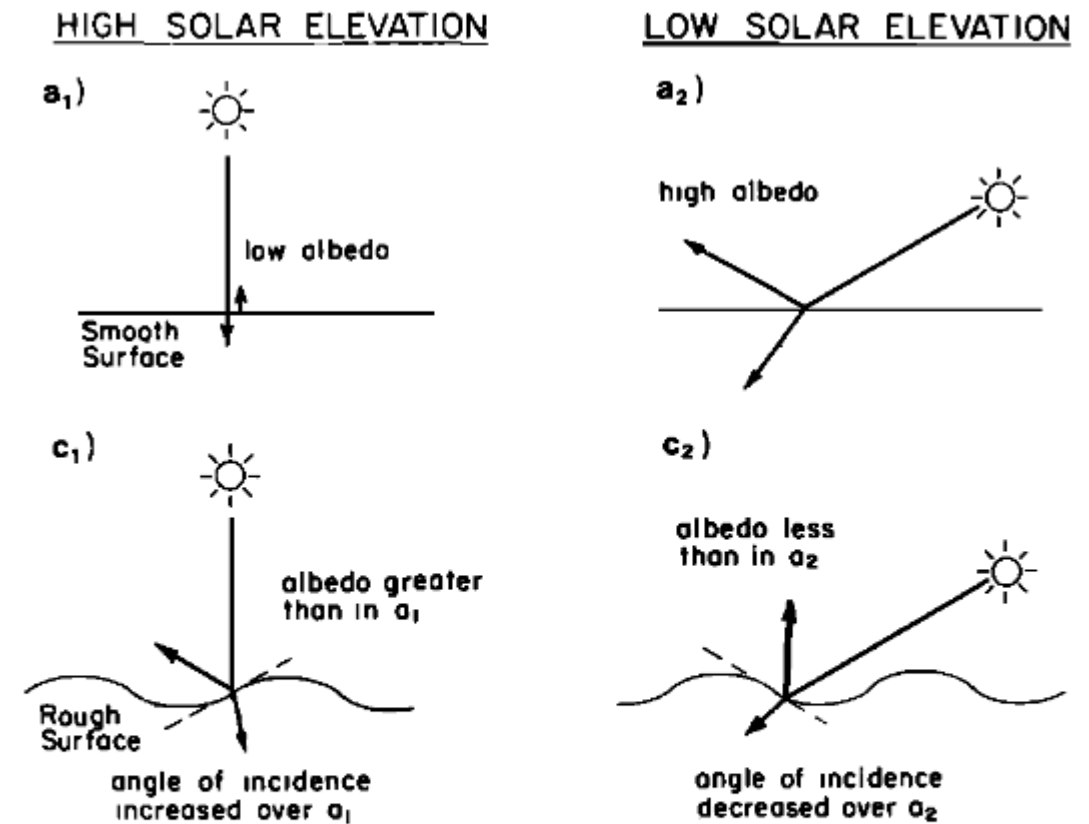


Fig. 1. Schematic illustration showing how angles of incidence are expected to change owing to solar altitude: ( $a_1$ ,  $a_2$ ) from consideration of the Fresnel law of reflection for clear skies and smooth surfaces, ( $b_1$ ,  $b_2$ ) for cloudy skies and smooth surface, and ( $c_1$ ,  $c_2$ ) for clear skies with roughened surface.

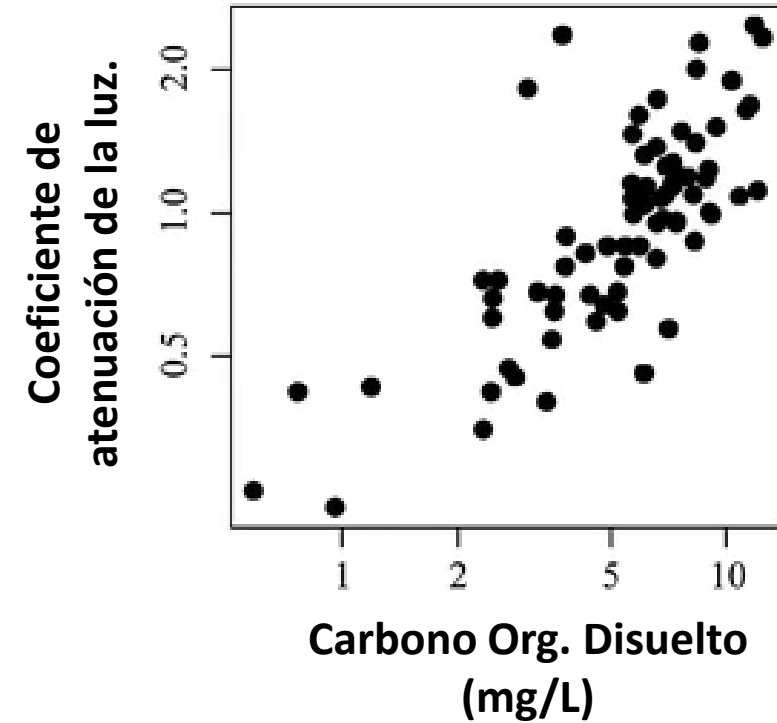


## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

---

### Radiación absorbida

- Moléculas de agua → calor
- Moléculas orgánicas disueltas (ej. DOC).
- Partículas fotosintéticas (ej. fitoplancton)



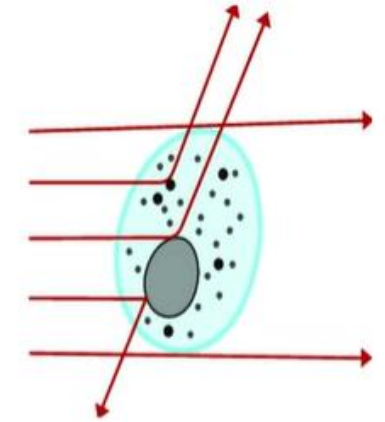
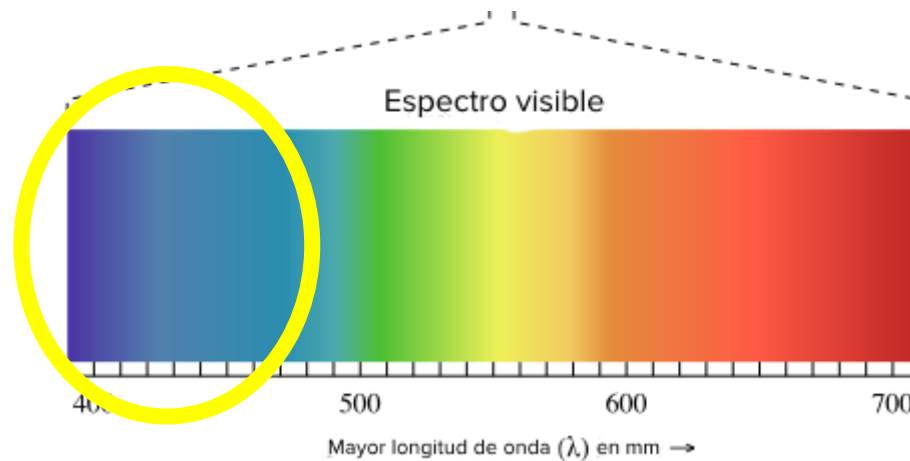
*Thrane et al., 2014. Ecosystems*

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

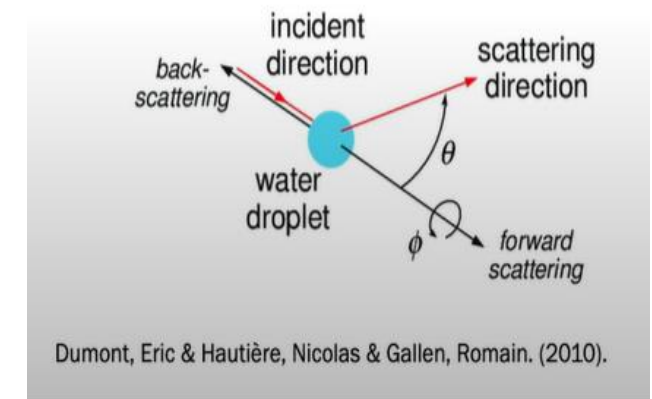
### Radiación dispersada

- Moléculas de agua
- Partículas en suspensión.
- Cada tipo de partícula o molécula dispersa diferentes longitudes de onda.

Longitudes de onda cortas se dispersan mejor...



Kumar, Pranav & Mina, Usha. (2016).



Dumont, Eric & Hautière, Nicolas & Gallen, Romain. (2010).

*Light scattered by a water droplet.*

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

---

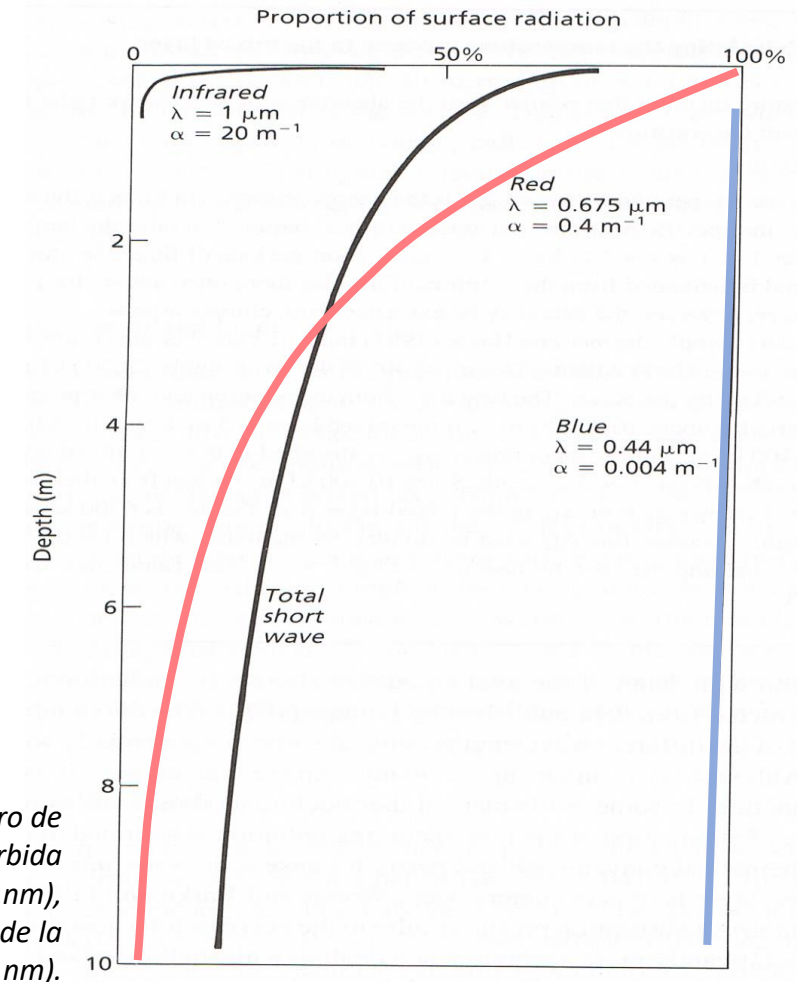
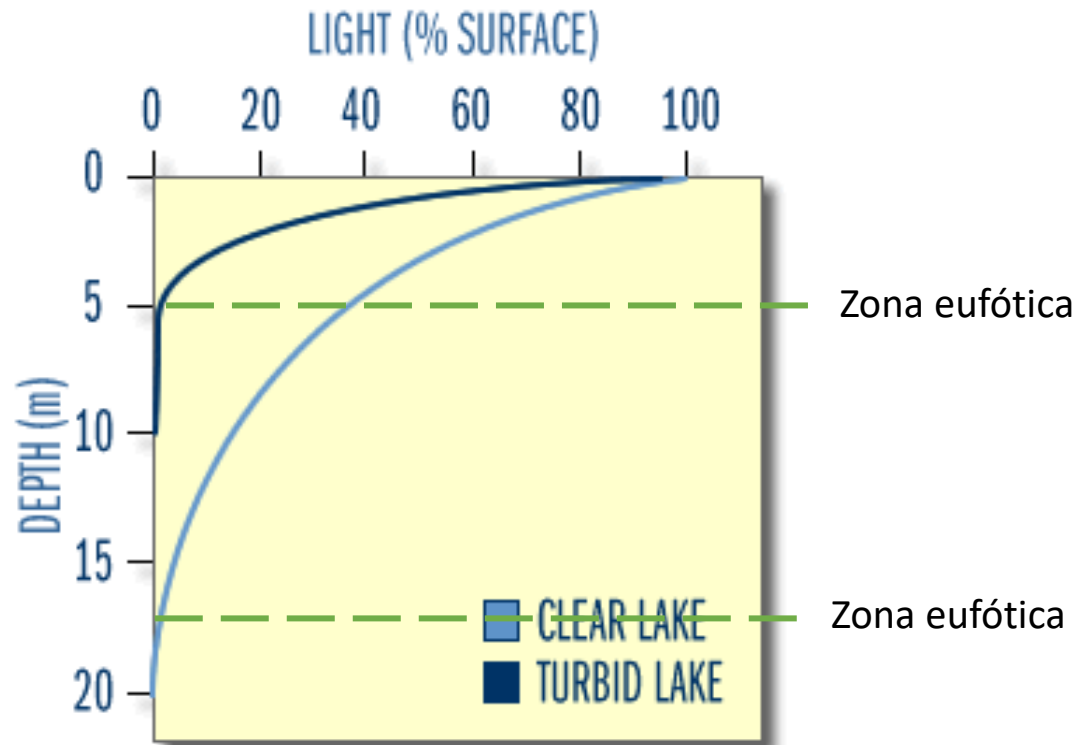
### Radiación transmitida

- El resto de luz que no ha sido reflejada, dispersada o absorbida es transmitida a través de la columna de agua.

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz

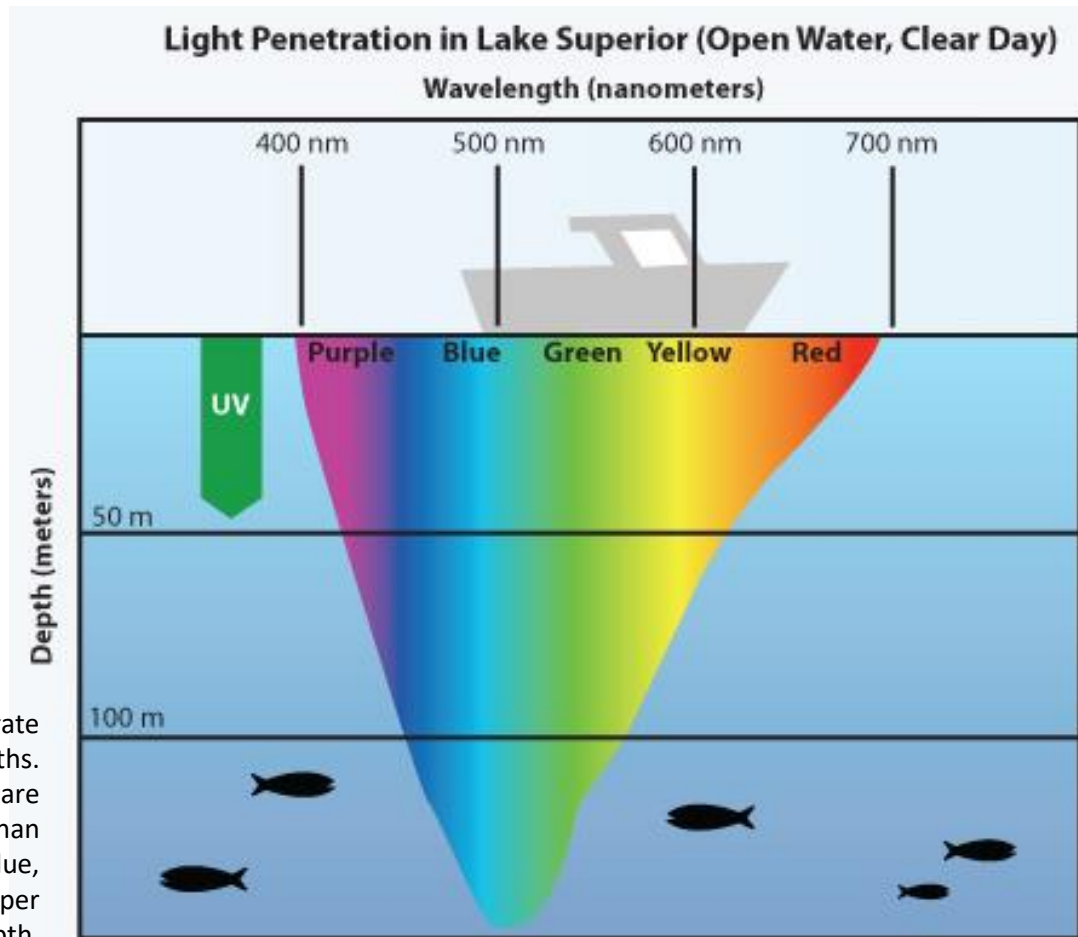
- Menos disponibilidad de luz con la profundidad (descenso exponencial).



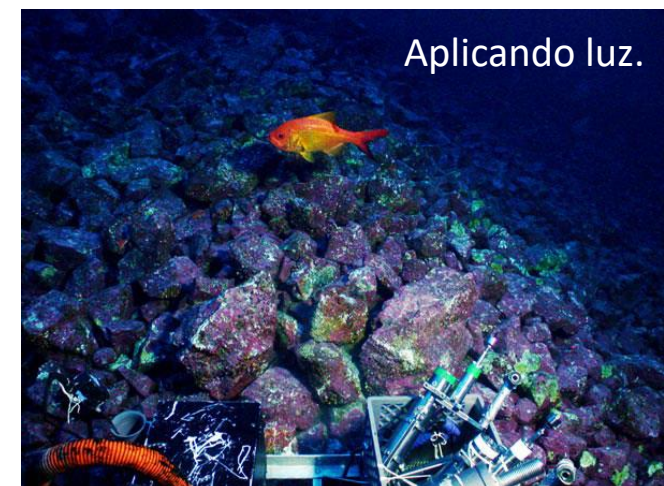
En el primer metro de profundidad, es absorbida ~65% de la luz roja (700 nm), mientras que sólo el 0.5% de la luz azul (475 nm).

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz



Visible colors of light penetrate differently into the ocean depths. Longer wavelengths such as red are absorbed at a shallower depth than shorter wavelengths such as blue, which penetrates to a deeper depth.





## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo

Para una determinada longitud de onda en una masa de agua uniforme la atenuación será exponencial siguiendo la **ecuación de Beer-Lambert**:

$$I_z = I_0 e^{-k_d z}$$

$I_z$  = Intensidad de la luz a una profundidad  $z$ ;  $I_0$  = Intensidad de la luz en la superficie;  $k_d$  = **Coefficiente de atenuación vertical**;  $z$  = Profundidad

Esta ecuación la podemos despejar para estimar la  $K_d$ .

$$\begin{aligned} I_z / I_0 &= e^{-k_d z} \\ \text{Ln} (I_z / I_0) &= \text{Ln} e^{-k_d z} \\ \text{Ln} (I_z / I_0) &= -k_d z \cdot \text{Ln} e \\ \text{Ln} (I_z) - \text{Ln} (I_0) &= -k_d z \\ k_d z &= -\text{Ln} (I_z) + \text{Ln} (I_0) \end{aligned}$$

$$K_d \text{ (m}^{-1}\text{)} = (\text{Ln} (I_0) - \text{Ln} (I_z)) / z$$

(CANTIDAD DE LUZ ABOSORBIDA POR METRO DE AGUA)

$$\text{Ln} e = 1$$



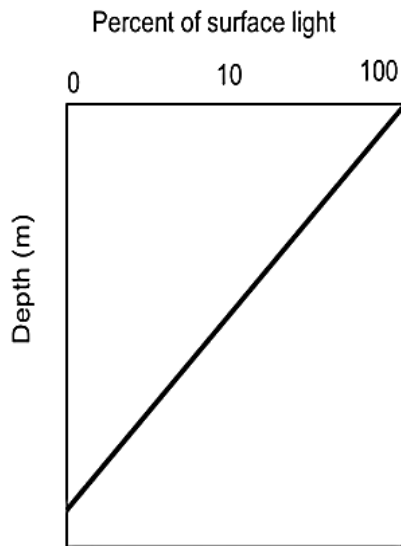
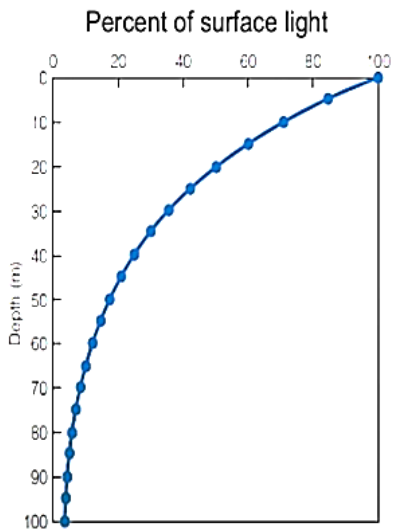
## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo

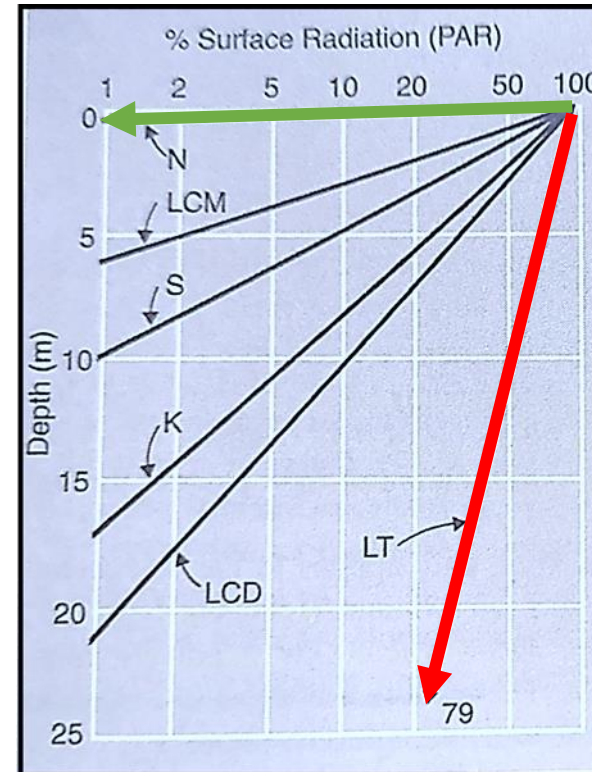
$K_d$  es un valor logarítmico.

$$I_z = I_0 e^{-k_d z}$$

$$k_d = (\ln I_0 - \ln I_z) / z$$



$k_d$  = slope of the line



$K_d N =$   
(estimado a los 25 cm de profundidad)

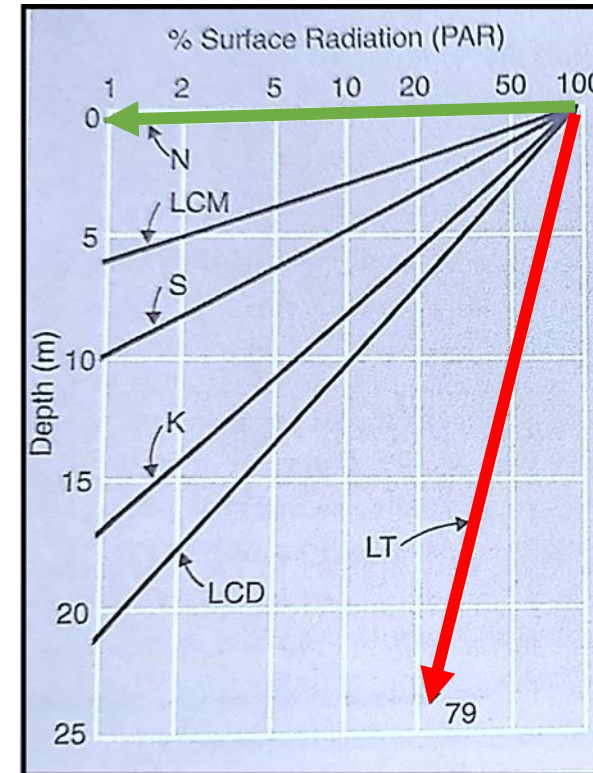
$K_d LT =$   
(estimado a los 10 m de profundidad)

Descenso en la radiación active fotosintéticamente (PAR) con la profundidad en diferentes.

La atenuación de la luz puede ser muy variable de un lago a otro.

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo



$K_d N = 18.42$   
(estimado a los 25 cm de profundidad)

$K_d LT = 0.058$   
(estimado a los 10 m de profundidad)

Descenso en la radiación active fotosintéticamente (PAR) con la profundidad en diferentes.

La atenuación de la luz puede ser muy variable de un lago a otro.



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo

Schweiz. Z. Hydrol. 50/1, 1988

7

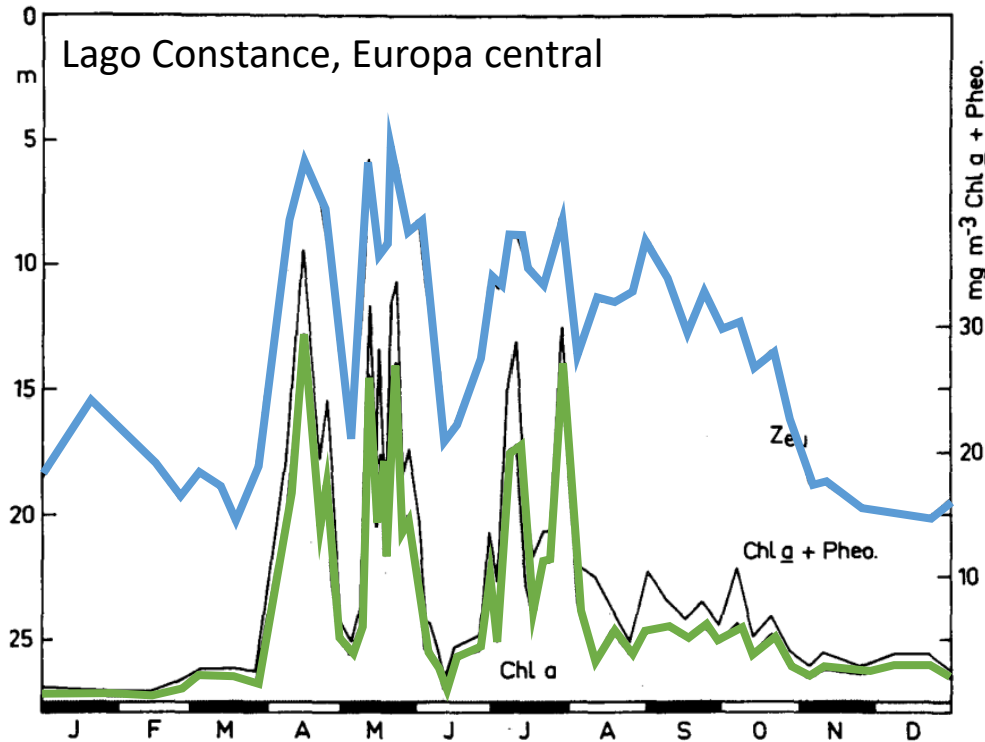
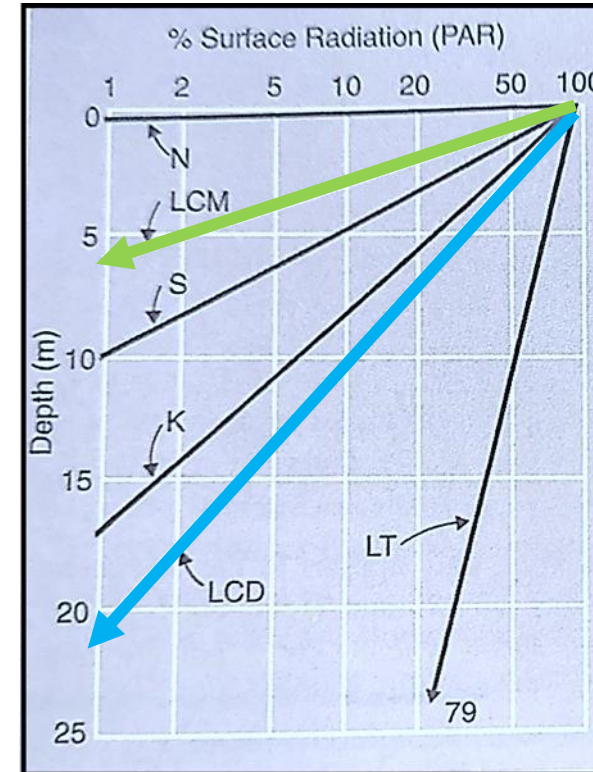


Figure 3. Seasonal variations of the euphotic depth ( $Z_{eu}$ ) as defined by the 1-% surface irradiance level (left scale) and mean euphotic concentration of photosynthetic pigments (shaded: chlorophyll a) in 1981. The mean contribution of pheopigments in total pigments within the euphotic zone was  $27.4 \pm 8.2\%$ .

Tilzer and Beese 1988. Schweiz. Z. Hydrol.



$K_d$  LC may = 0.78  
(estimado a los 5 m de profundidad)

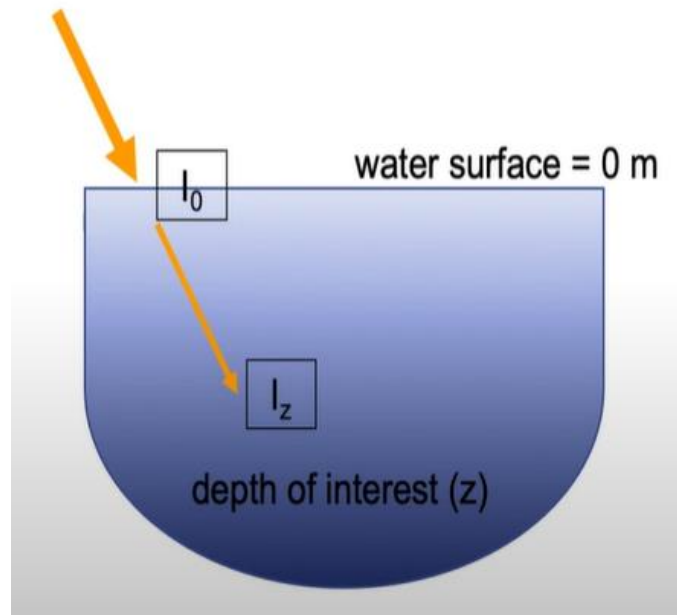
$K_d$  LC dec = 0.23  
(estimado a los 10 m de profundidad)

Descenso en la radiación activa fotosintéticamente (PAR) con la profundidad en diferentes.

La atenuación de la luz puede ser muy variable de una estación a otra.

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

Ejercicio práctico, cálcula el alcance de la radiación penetrante en los siguientes tipos de lagos.



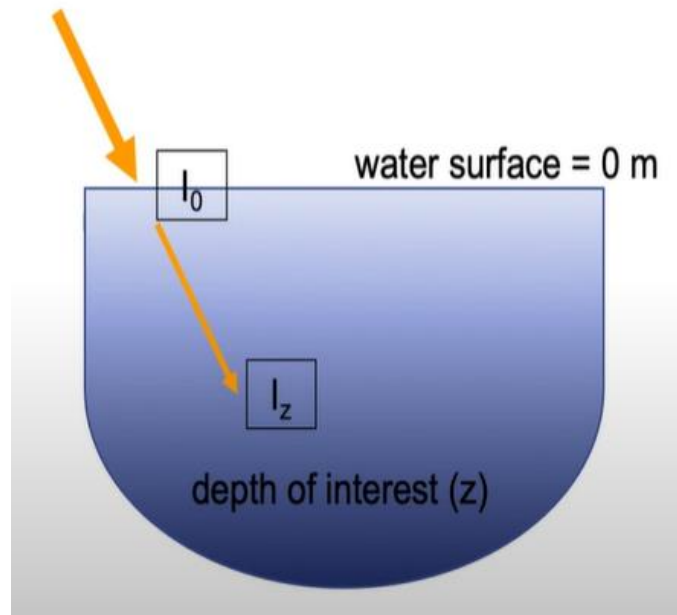
$z = 1 \text{ m}$

Cálculos	lago muy poco productivo	lago muy productivo
$I_0$ intensidad ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) en superficie	1500	1500
$I_x$ intensidad a $Z_x$	1200	1
% transmisión ( $\text{m}^{-1}$ )		
$\eta$ ( $\text{m}^{-1}$ )		



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

Ejercicio práctico, cálcula el alcance de la radiación penetrante en los siguientes tipos de lagos.



$z = 1 \text{ m}$

Cálculos	lago muy poco productivo	lago muy productivo
$I_0$ intensidad ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) en superficie	1500	1500
$I_x$ intensidad a $Z_x$	1200	1
% transmisión ( $\text{m}^{-1}$ )	80	0,071
$\eta$ ( $\text{m}^{-1}$ )	0,22	7,31

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### ¿Cómo se mide la atenuación de la luz?

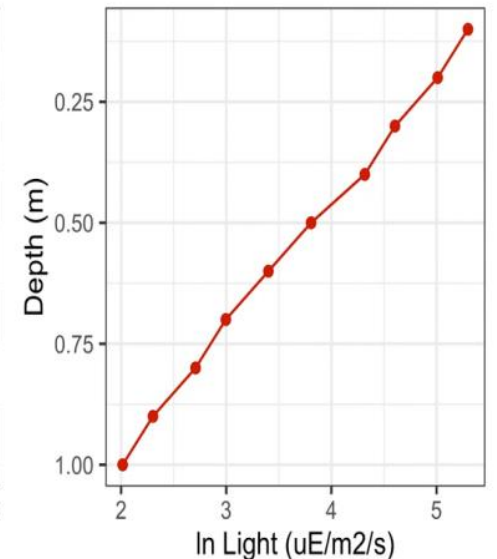
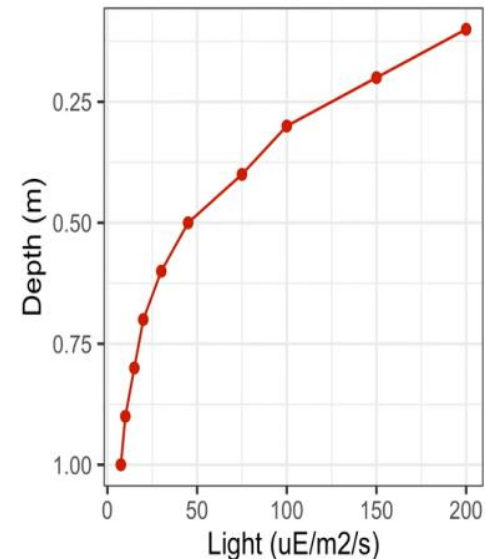
La intensidad de la luz se mide con un **fotómetro** o medidor de luz.

*Caros, delicados,...*



HOBO lightmeter.

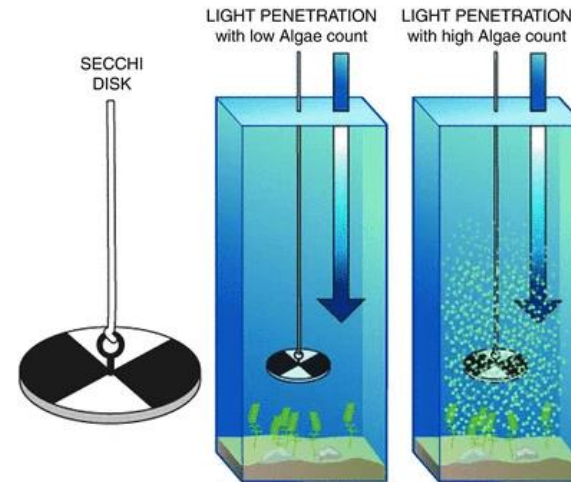
Depth (m)	I (uE/m2/s)	ln(I)
Gunston Cove 20-Sep-97		
Station 7 13:30		
Air	520	6.25
0.1	200	5.30
0.2	150	5.01
0.3	100	4.61
0.4	75	4.32
0.5	45	3.81
0.6	30	3.40
0.7	20	3.00
0.8	15	2.71
0.9	10	2.30
1	7.5	2.01
Air	500	6.21



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

¿Cómo se mide la atenuación de la luz?

Una forma **sencilla, rápida y barata** de medir la transparencia del agua: el **disco de Secchi**



Se estima la profundidad a la que se deja de ver el disco ( $Z_{SD}$ ).

$$K_d \sim 1.7 / Z_{SD}$$

Factores que pueden influir: **condiciones de luz, agudeza visual del observador, reflectividad del material**, etc.

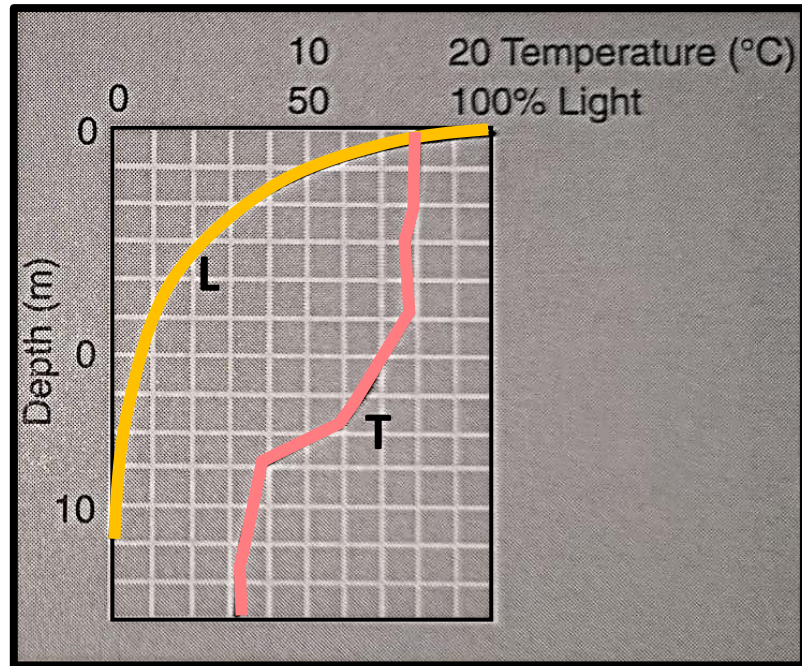
**Distintos observadores suelen conseguir medidas muy similares.**



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura

- El **agua** absorbe radiación solar, transformándola en calor.
- Transmisión de calor despreciable.



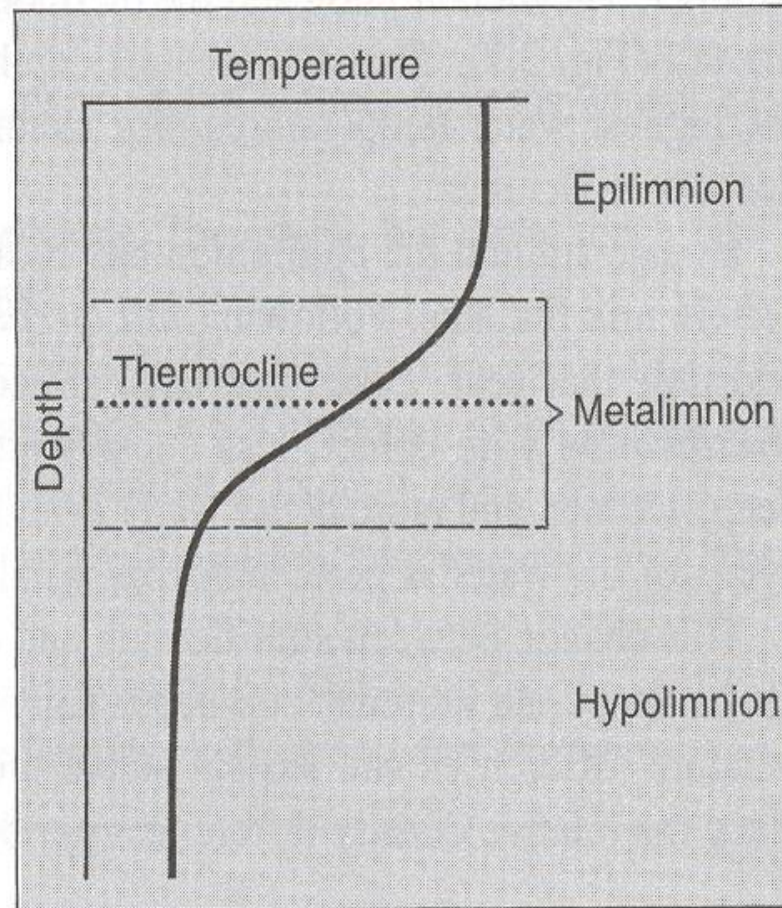
- La temperatura no sigue el mismo patrón exponencial que la luz con la profundidad debido al anómalo comportamiento de la **densidad** del agua y al efecto del **viento**.

Gradiente térmico → Gradiente químico  
→ Distribución de los organismos

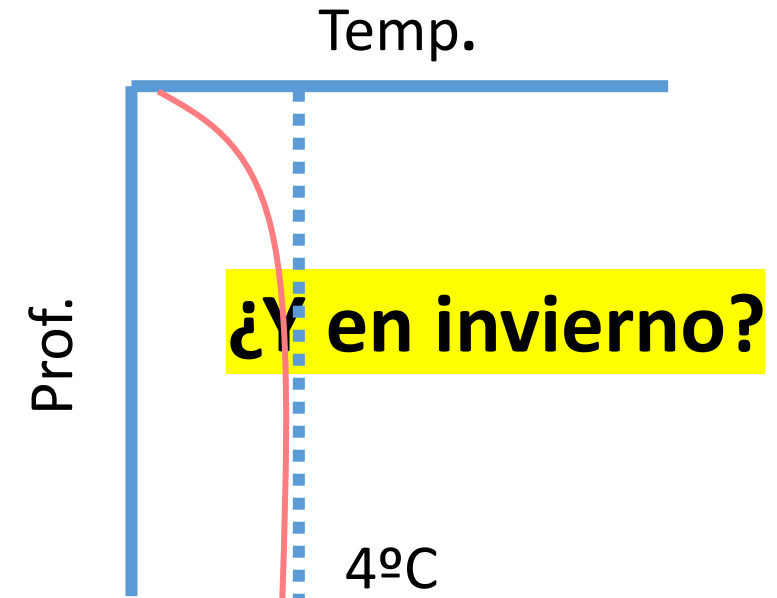
*Perfiles de profundidad de la luz (L) y la temperatura (T) en un lago.*

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación



*Típico perfil de temperatura estival en un lago de latitudes templadas.*





## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación

Resistencia a la mezcla ( $RTRM = 8 \cdot 10^{-6} = 0.000008$ )

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	RTRM
2.5	22.0	0.997770	14.0
3	21.5	0.997882	
4	16.0	0.998943	69.4
4.5	12.0	0.999498	

La RTR es mayor cuanto mayor es el **cambio de densidad** por grado centígrado.

Ej. Para un cambio de 1°C la RTR es 30 veces mayor para una columna de agua entre 24 y 25°C que para una entre 4 y 5°C.

[https://www.simetric.co.uk/si\\_water.htm](https://www.simetric.co.uk/si_water.htm)

Aquí puedes revisar la densidad del agua entre los 0 y los 30.9°C.

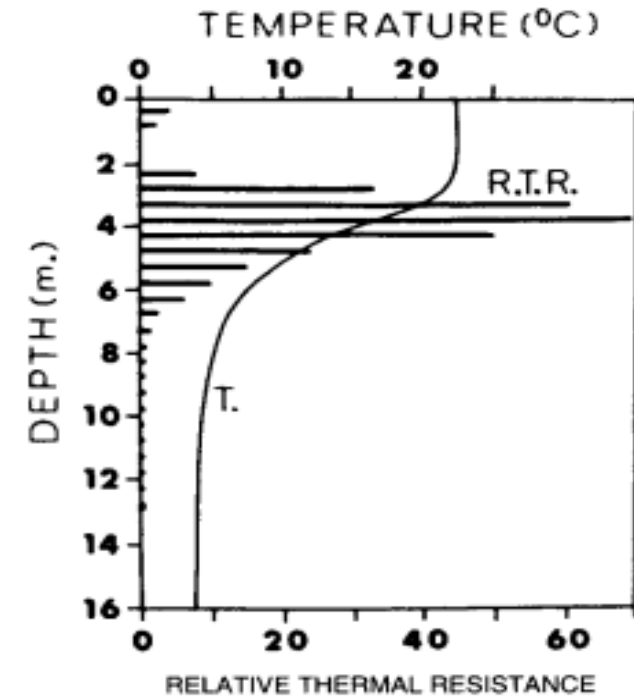


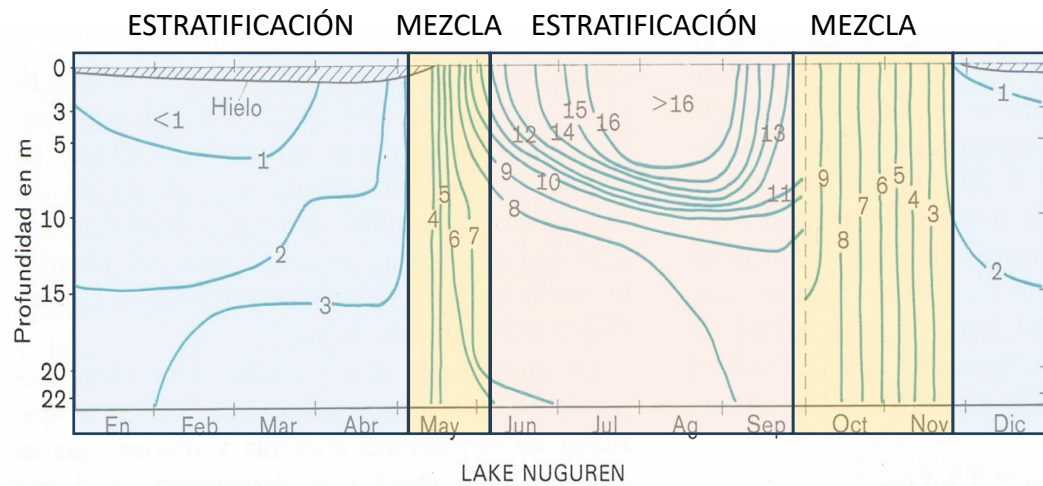
FIGURE 6-2 A summer temperature profile (single line) and relative thermal resistance to mixing (bars) for Little Round Lake, Ontario. The relative thermal resistance (R.T.R.) to mixing is given for columns of water 0.5 m deep. One unit of R.T.R. =  $8 \times 10^{-6}$ , that is the density difference between water at 5 and at 4°C. The R.T.R. of the lake water columns is expressed as the ratio of the density difference between water at the top and bottom of each column to the density difference between water at 5 and 4°C. (Modified from Vallentyne, 1957.)

# b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

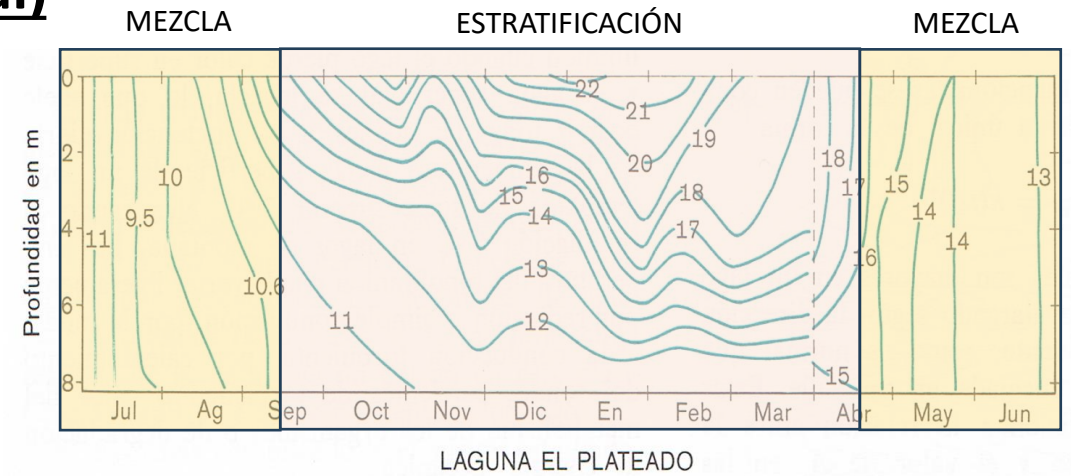
## Temperatura: estratificación (proceso estacional)

Existe una **sucesión estacional** de los procesos de estratificación y mezcla en lagos.

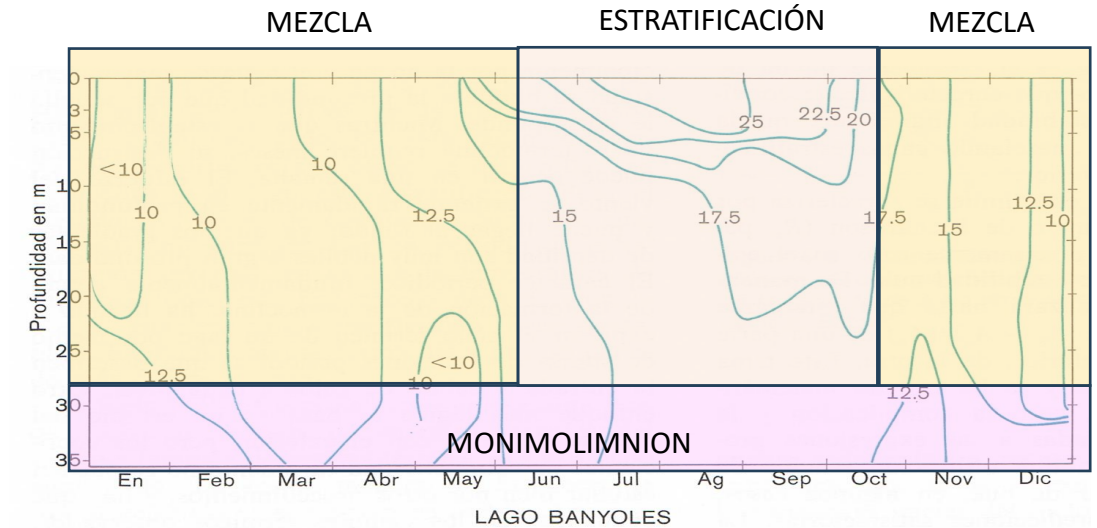
### Dimíctico



### Monomíctico



### Meromíctico



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación según latitud y altitud.

Clasificación de los lagos en función de la **latitud** y **altitud** como principales determinantes de la incidencia de los procesos de **estratificación y mezcla**

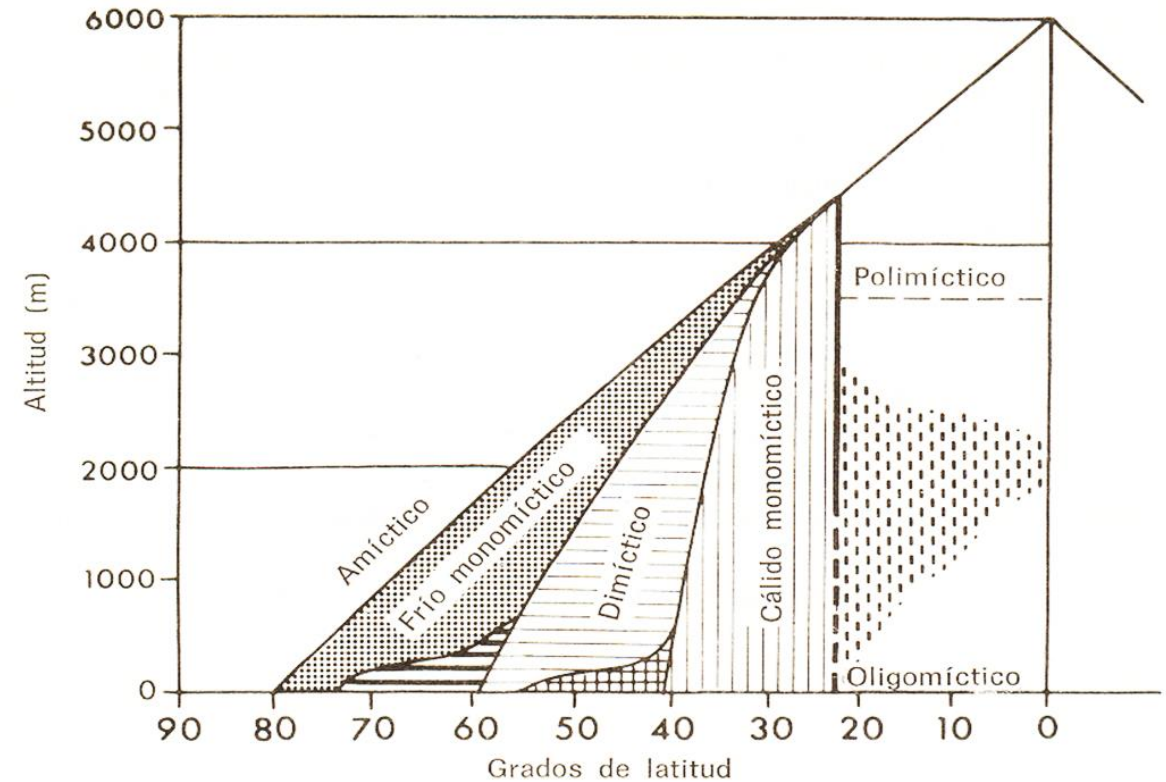


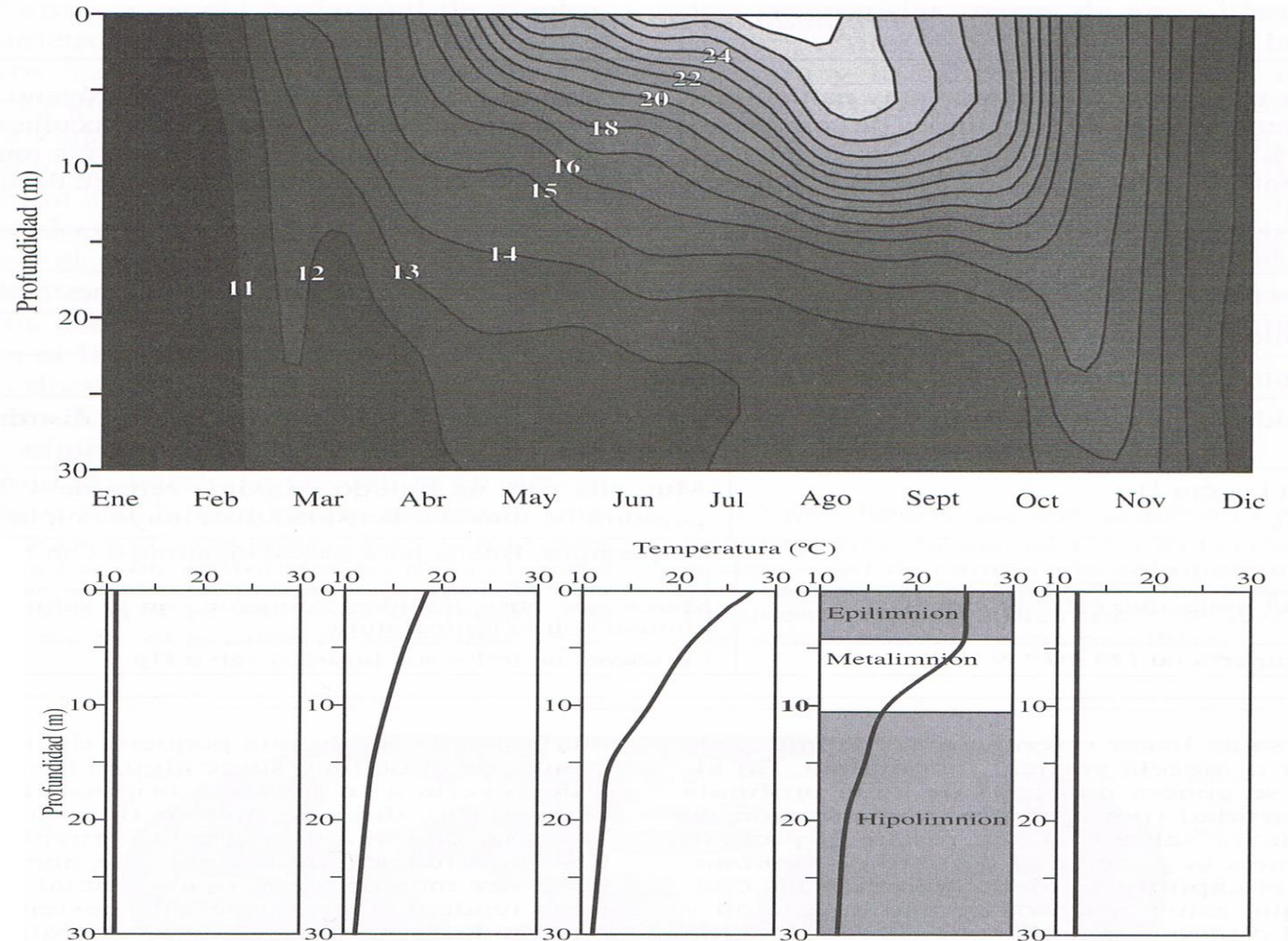
Figura 6-6. Esquema de los tipos termales de lagos según la latitud y la altura. Punteado negro: frío monomíctico; barras horizontales blancas y negras: regiones transicionales; líneas horizontales: dimíctico; cuadrículado: regiones transicionales; líneas verticales: cálido monomíctico. Los dos tipos ecuatoriales ocupan las zonas no marcadas en las que se encuentran los rótulos oligomíctico y polimíctico, separados por una región de tipos mixtos, en especial variantes de tipo cálido monomíctico (líneas discontinuas verticales). (En parte, según Hutchinson y Löffler, 1956.)



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación según latitud y altitud.

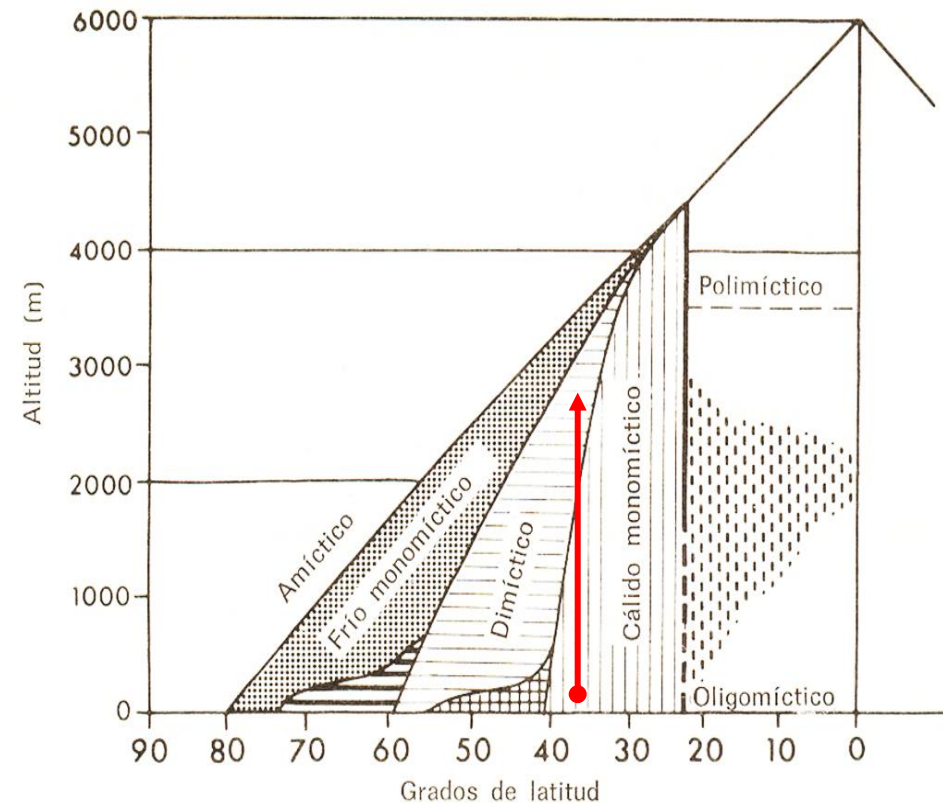
En latitudes subtropicales el ciclo térmico **cálido monomíctico** suele ser lo común (p.e. *embalse de el Gergal, Sevilla*), siempre que la profundidad sea suficiente.



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación según latitud y altitud.

En latitudes subtropicales el ciclo térmico **cálido monomíctico** suele ser lo común (p.e. *embalse de el Gergal, Sevilla*), siempre que la profundidad sea suficiente.



Si se encontrara a más altitud, su comportamiento podría ser totalmente distinto.



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Temperatura: estratificación según profundidad y viento.

A parte de la latitud y altitud, la **profundidad** del ecosistema acuático y su **exposición al viento** son determinantes clave de los procesos de estratificación y mezcla.



Albuferas de Adra, Almería.

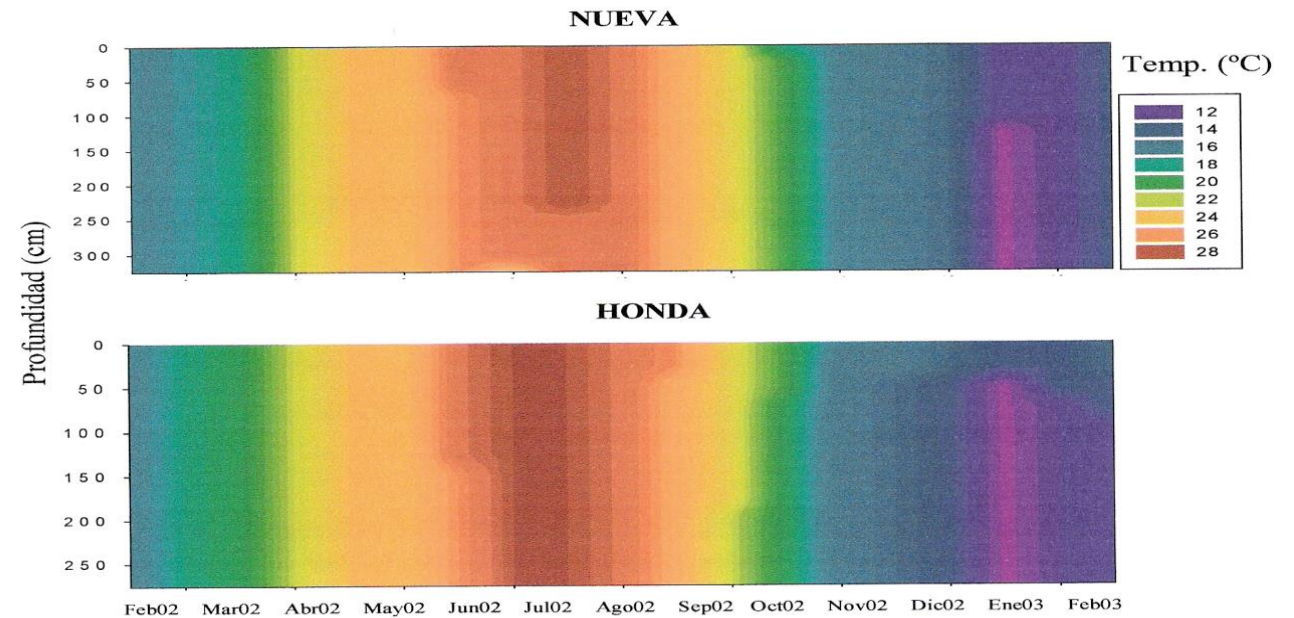
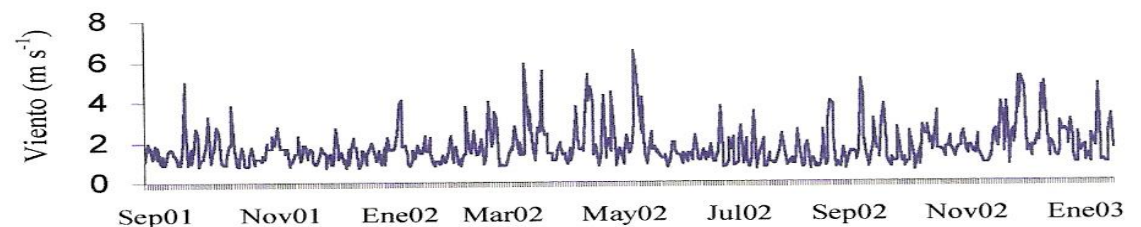


Figura 3.3.2.2.: Perfil vertical de temperatura (°C) en las albuferas Nueva y Honda a lo largo de un ciclo anual



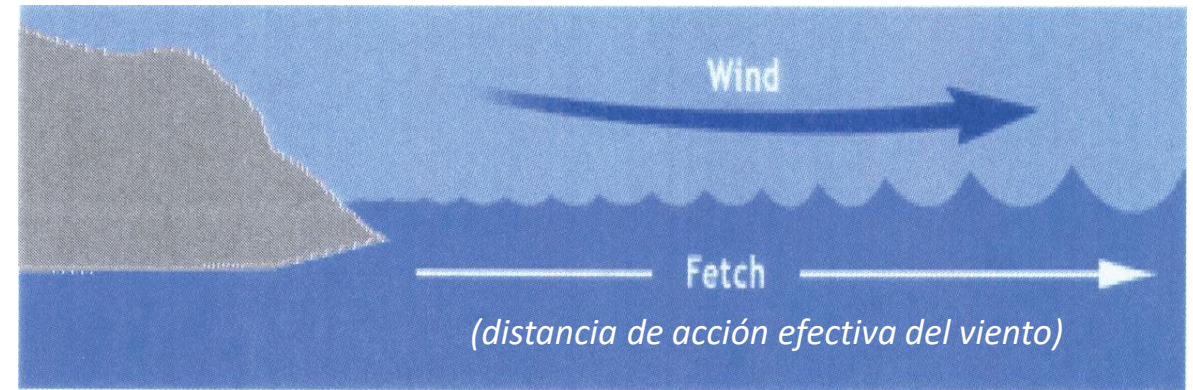
## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Formación de las olas

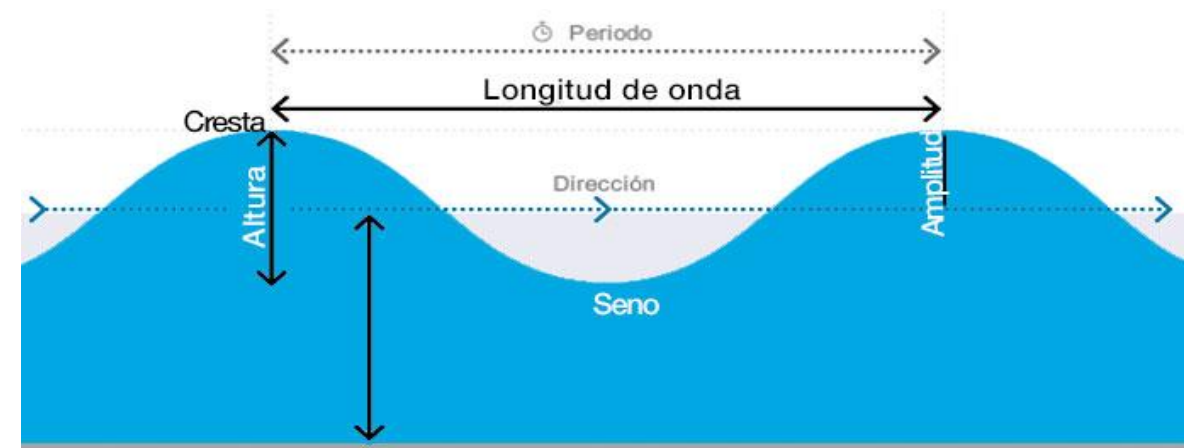
Tamaño {  
Velocidad  
*Fetch*  
Tiempo

Magnitud {  
Tamaño  
Longitud  
Frecuencia (periodo)

En ecosistemas someros, el viento es responsable de una **mezcla efectiva de la columna de agua y resuspensión de sedimentos.**



El tamaño de una ola depende de la velocidad del viento, la longitud del fetch y la duración del viento soplando en la misma dirección.



El tamaño de una ola es la altura desde el seno a la cresta de la ola. La longitud de una ola es la distancia entre crestas o senos sucesivos.

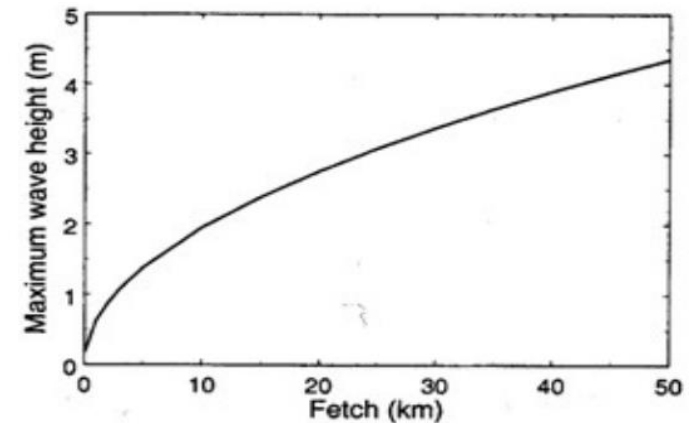
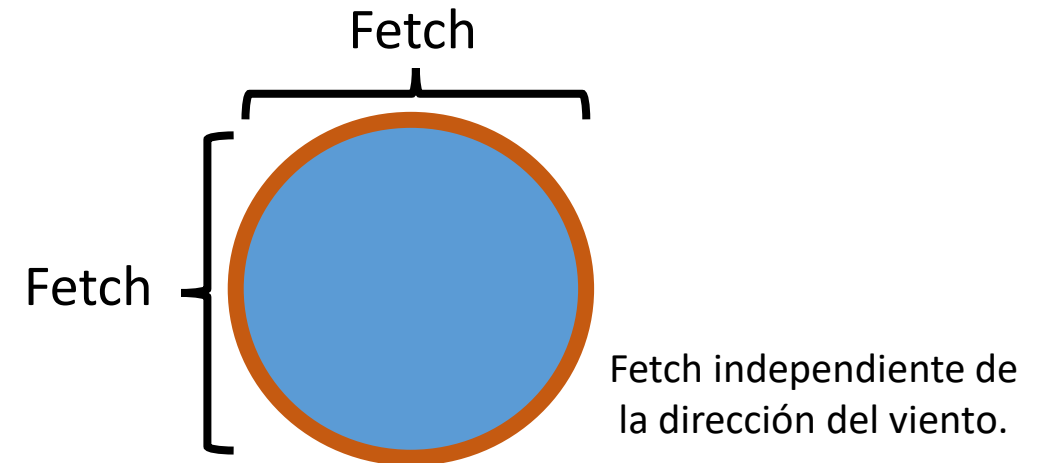
## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Formación de las olas



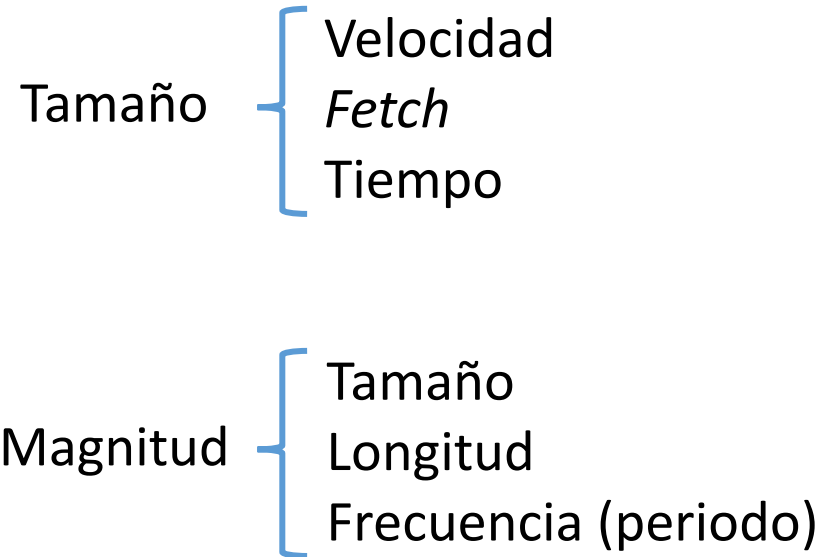
En ecosistemas someros, el viento es responsable de una **mezcla efectiva de la columna de agua y resuspensión de sedimentos.**

La forma del lago puede afectar a la mezcla.



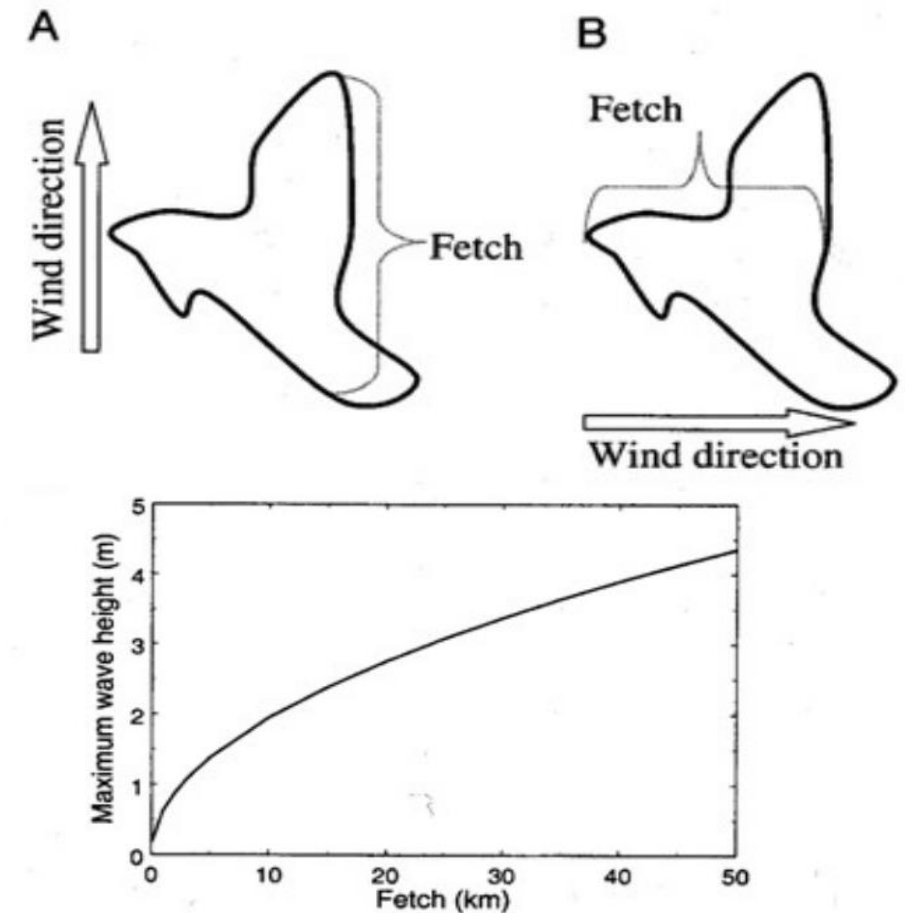
## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Formación de las olas



En ecosistemas someros, el viento es responsable de una **mezcla efectiva de la columna de agua y resuspensión de sedimentos.**

La forma del lago puede afectar a la mezcla.





## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

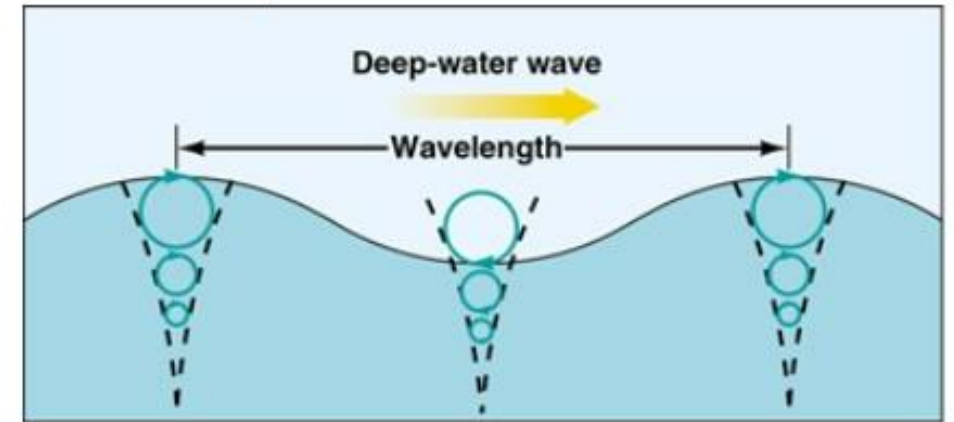
### Resuspensión de **sedimentos**

Las olas pueden ser de **aguas profundas** y de **aguas poco profundas**.

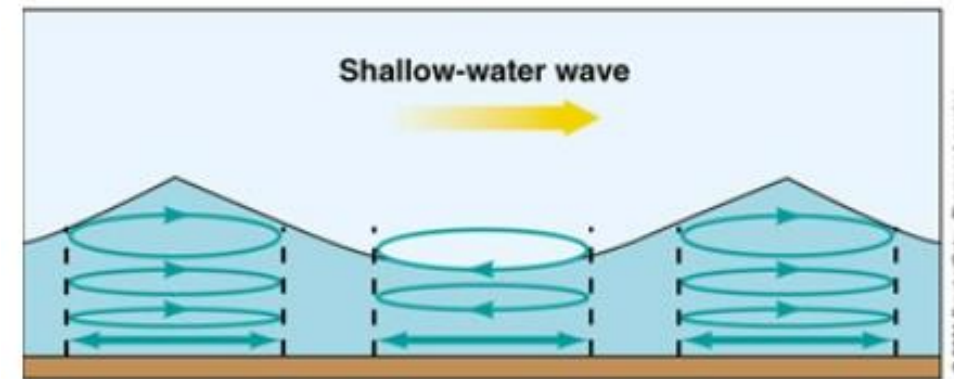
La base de la ola se sitúa a una profundidad igual a  $\frac{1}{2}$  su longitud (i.e. mayor longitud = mayor profundidad).



Si la profundidad  $< \frac{1}{2}$  longitud... las olas **“tocan fondo”**. Al tocar fondo, las olas provocan una **resuspensión de sedimentos**.



a Depth  $\geq \frac{1}{2}$  wavelength



b Depth  $\leq \frac{1}{20}$  wavelength

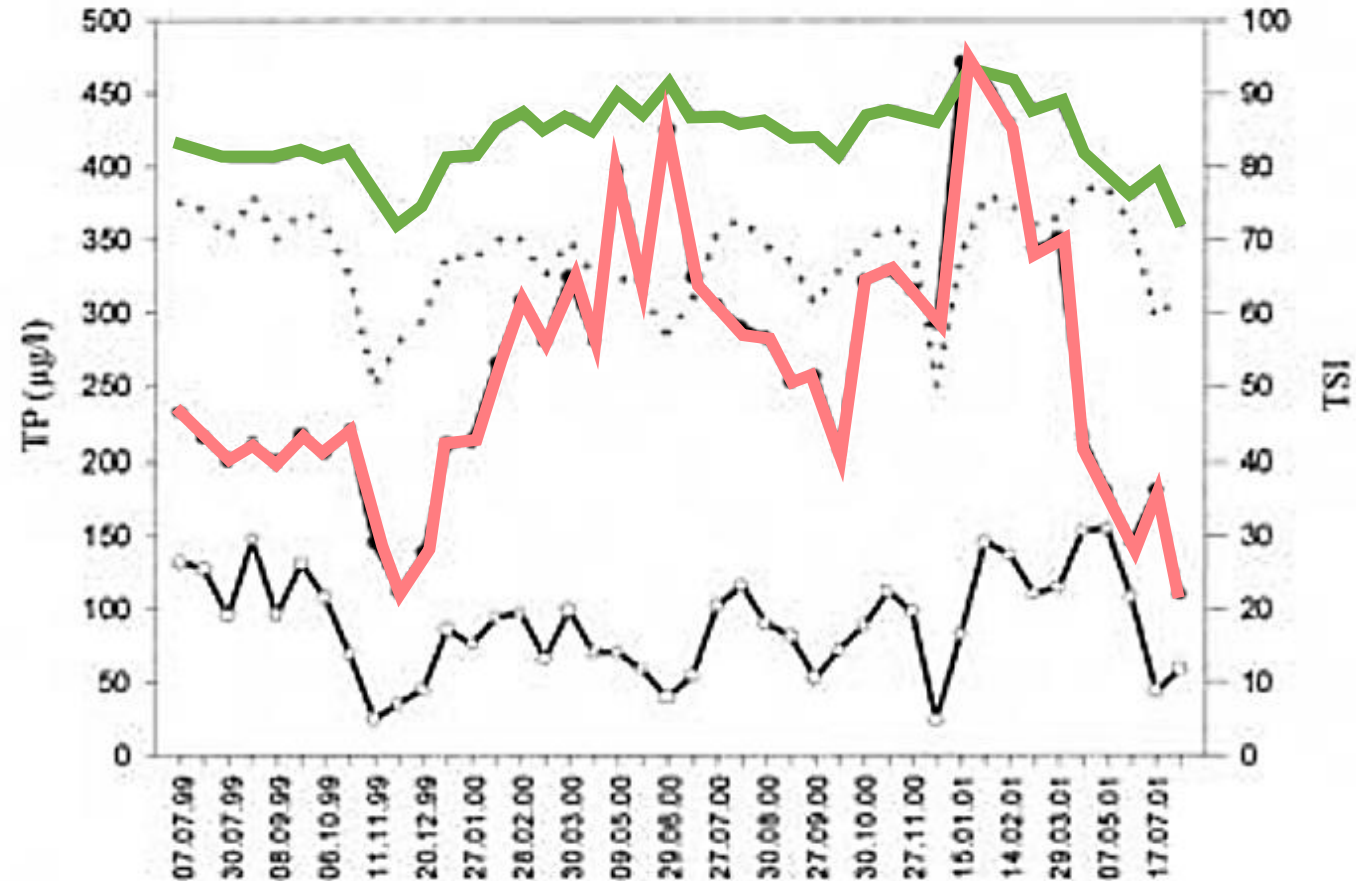
© 2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Resuspensión de **sedimentos**

- Laguna Honda
- Índice estado trófico (TSI)
  - Fósforo total (TP)

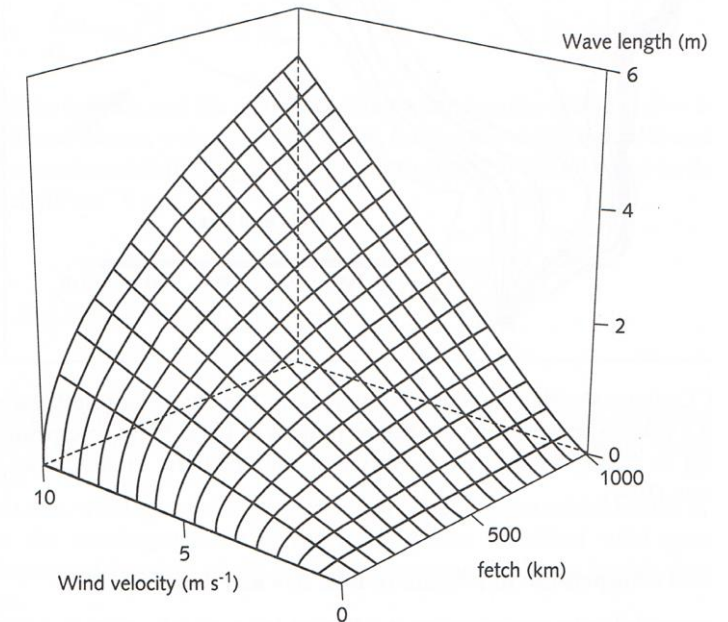


*Cruz-Pizarro et al., 2003. Limnetica.*

## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Algunos cálculos...

Altura de las olas:  $H \text{ (m)} = (1/3) \cdot F^{1/2}$   
 $F = \text{Fetch (km)}$

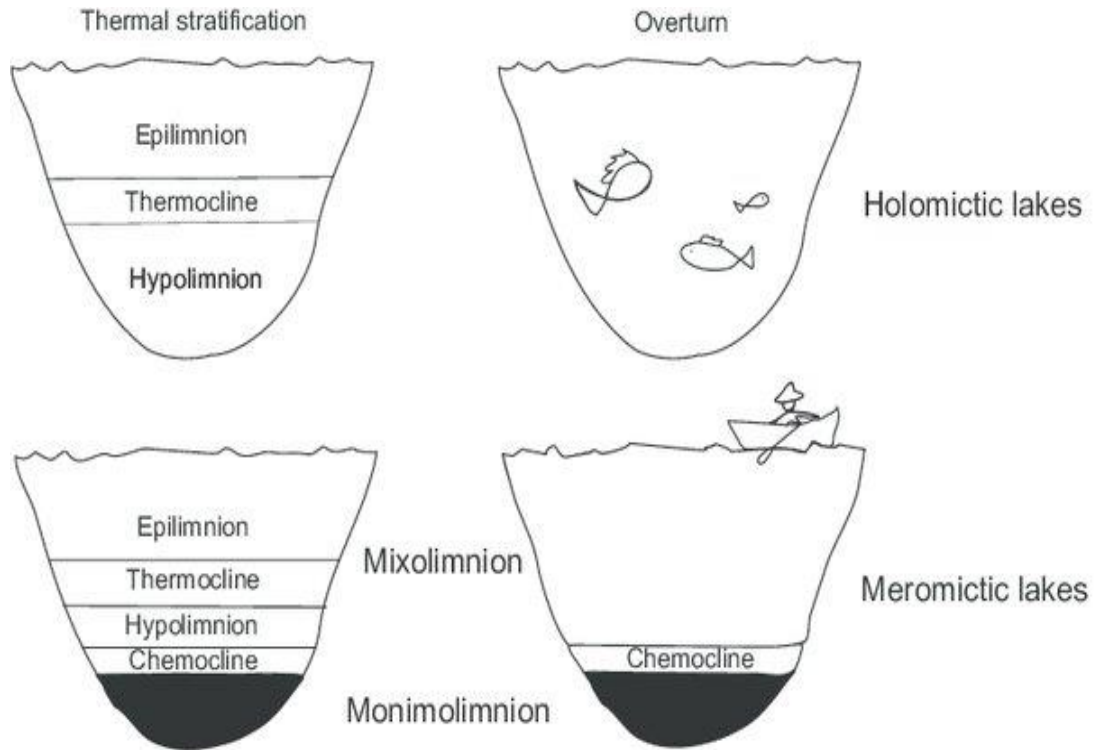


Longitud de las olas:  $Lw = 1.56 \cdot \left( 0.77 Vv \tanh \left( 0.077 \cdot \left( \frac{9.8 \cdot F}{Vv^2} \right)^{0.25} \right) \right)^2$

$Lw$  = long. ola;  $Vv$  = velocidad viento;  $\tanh$  = tangente hiperbólica;  $F$  = Fetch

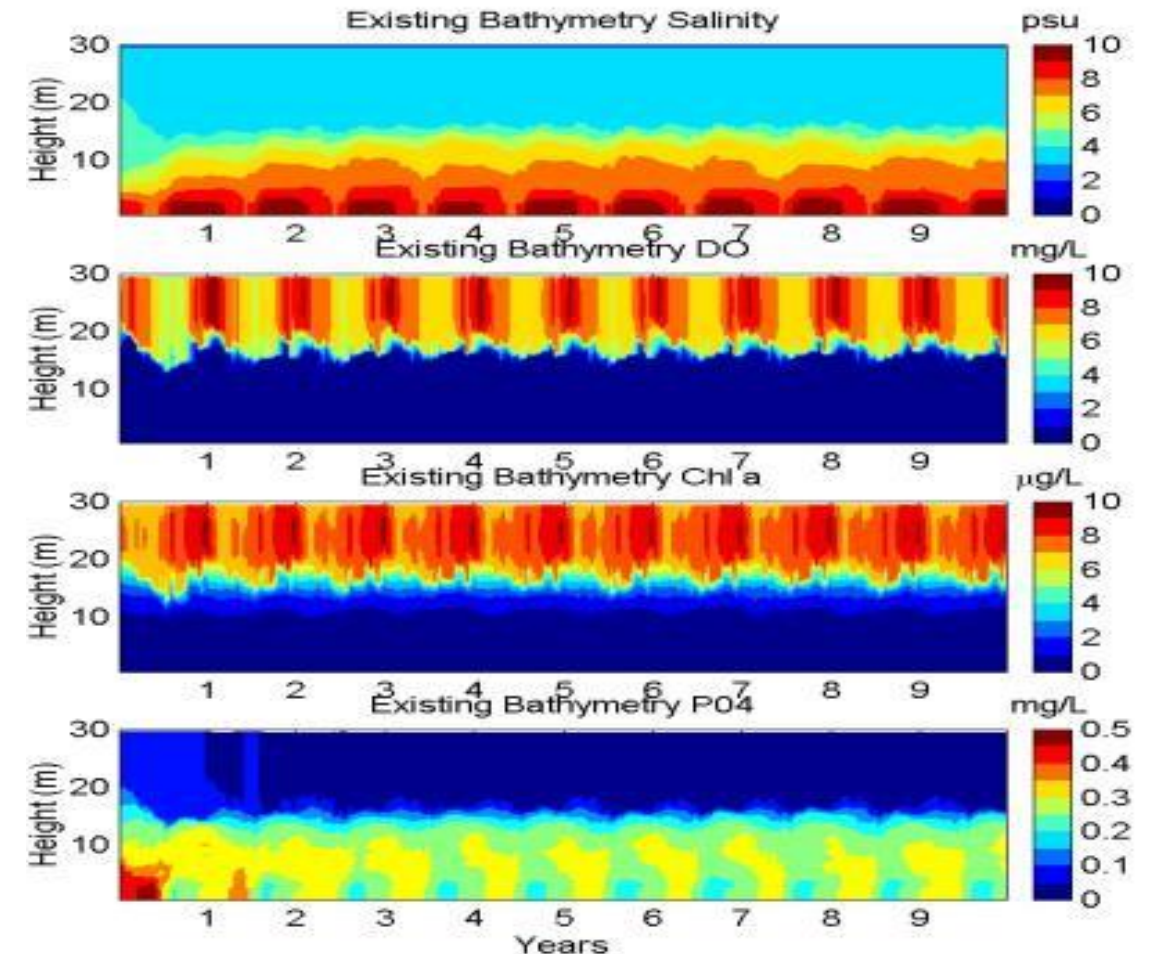
## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Estratificación y salinidad: meromixis



**Meromíctico:** lago que nunca se llega a mezclarse completamente.

### Lago Maracaibo



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Estratificación y salinidad: meromixis

Lago Ocnei, Rumania



Lago hipersalino meromíctico, formado como resultado de la minería de sal.

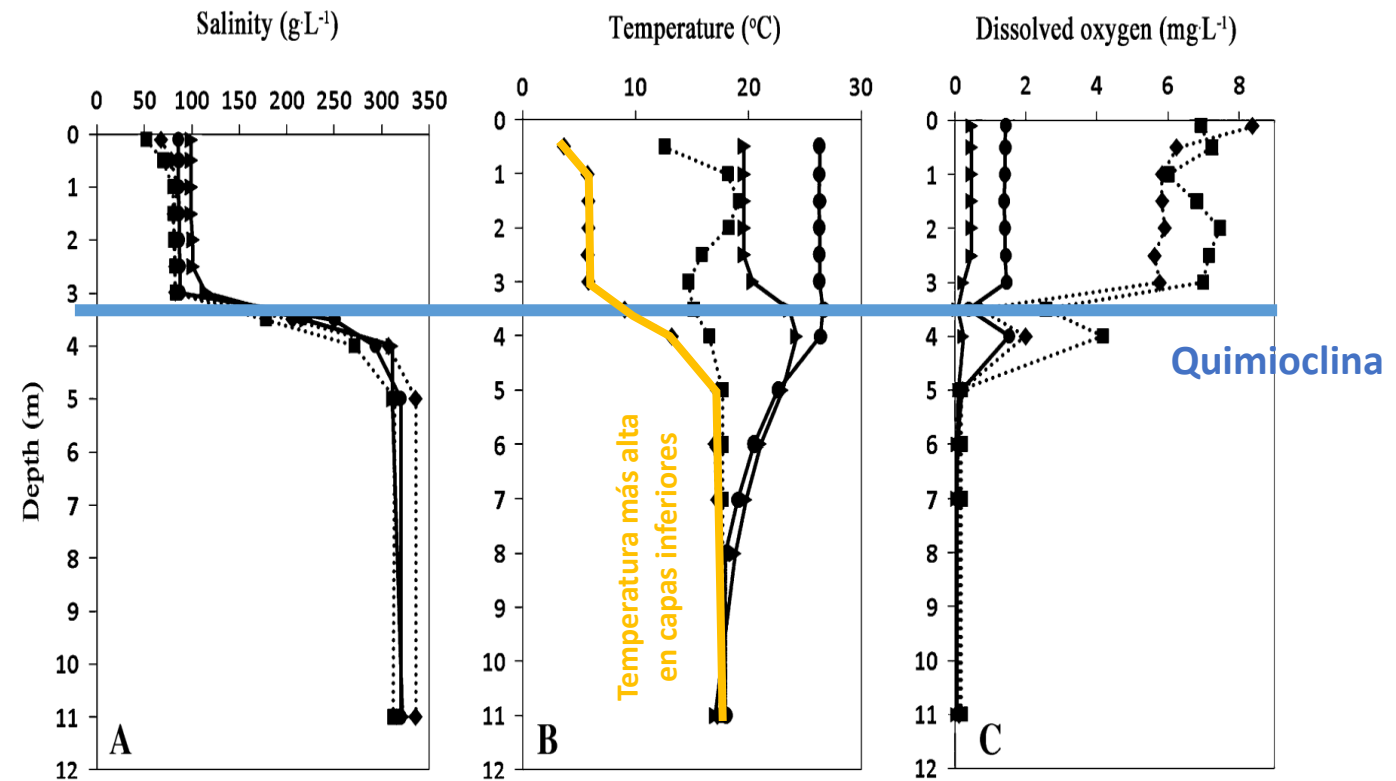


Fig. 2 Depth profiles and seasonal variations of salinity (a), temperature (b), and dissolved oxygen (c) in the water column of Ocnei Lake. Symbols: diamonds—January; squares—April; circles—July; triangles—November

Baricz et al., 2014. Extremophiles



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Estratificación y salinidad: meromixis

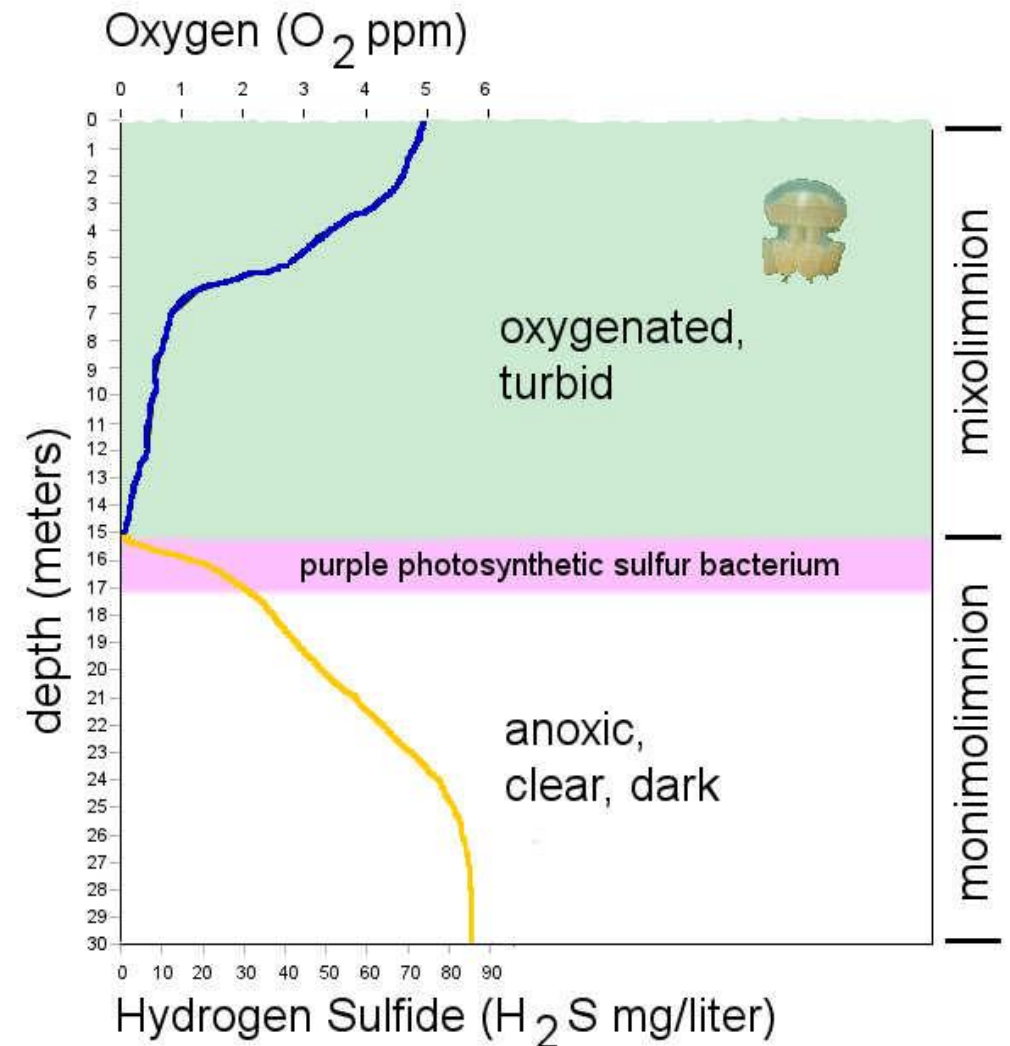
Jellyfish Lake, Oceania



Acción del viento limitada.

Fuentes de agua cerca de la superficie

Poca variación estacional de la T.

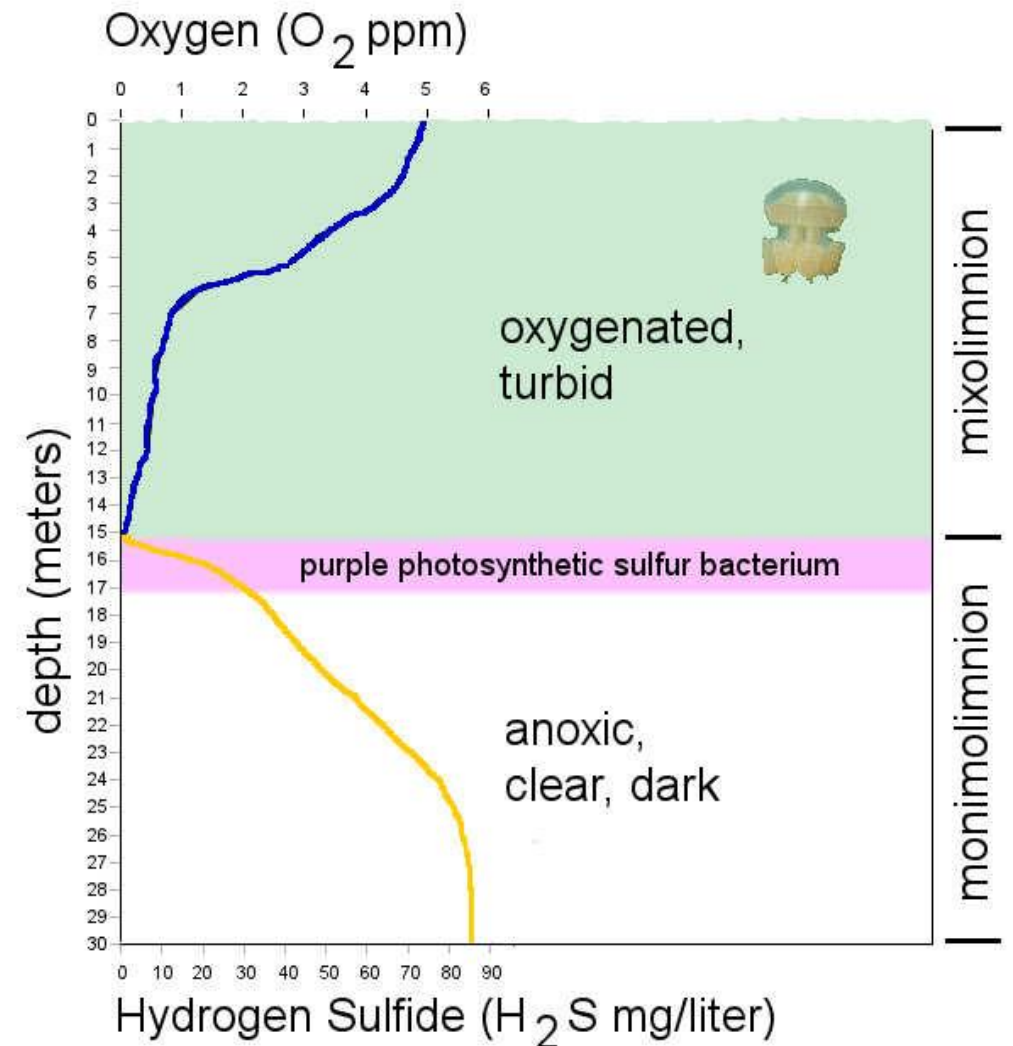
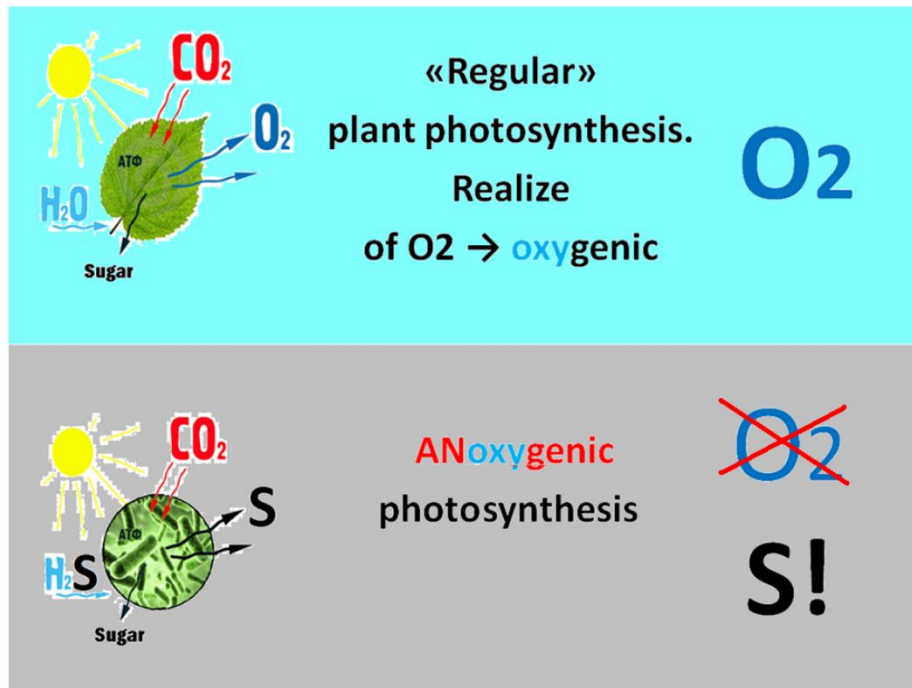




# b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

## Estratificación y salinidad: meromixis

Jellyfish Lake

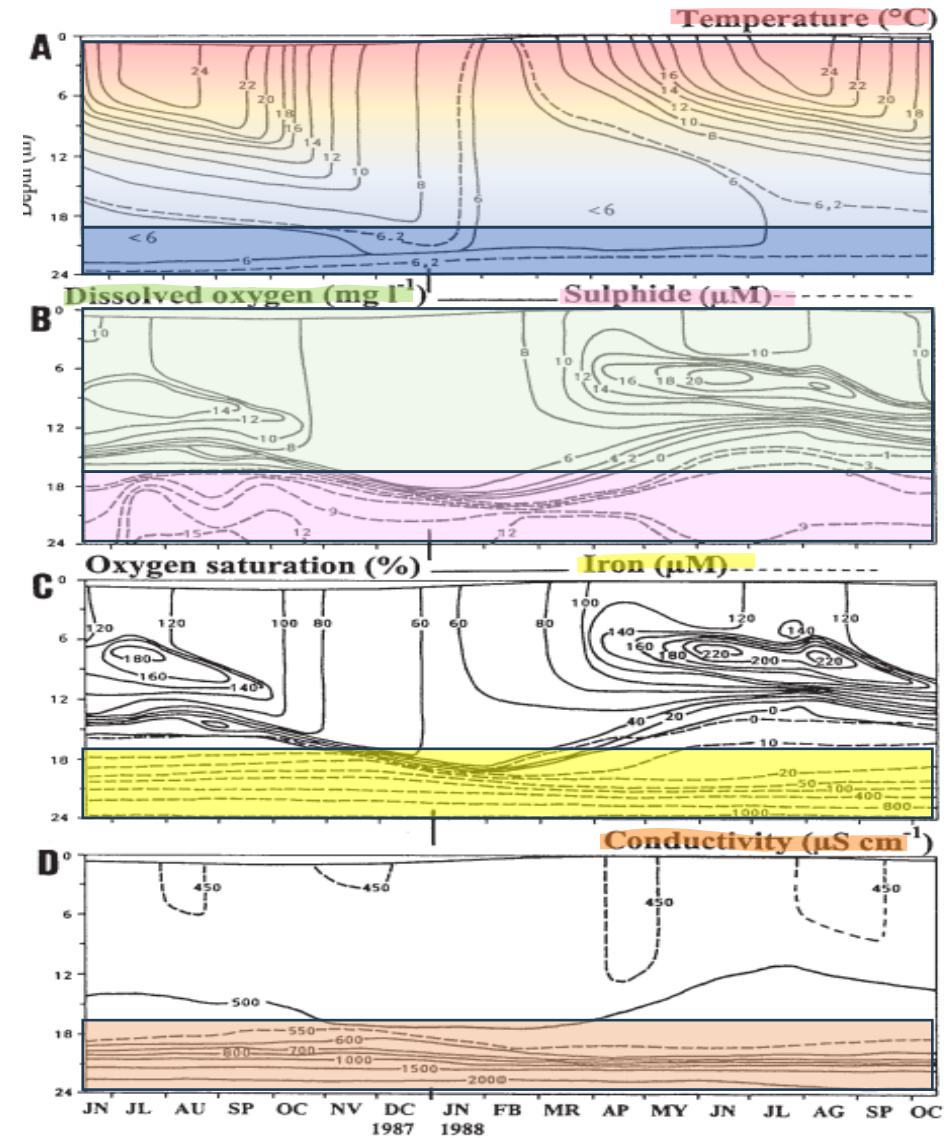
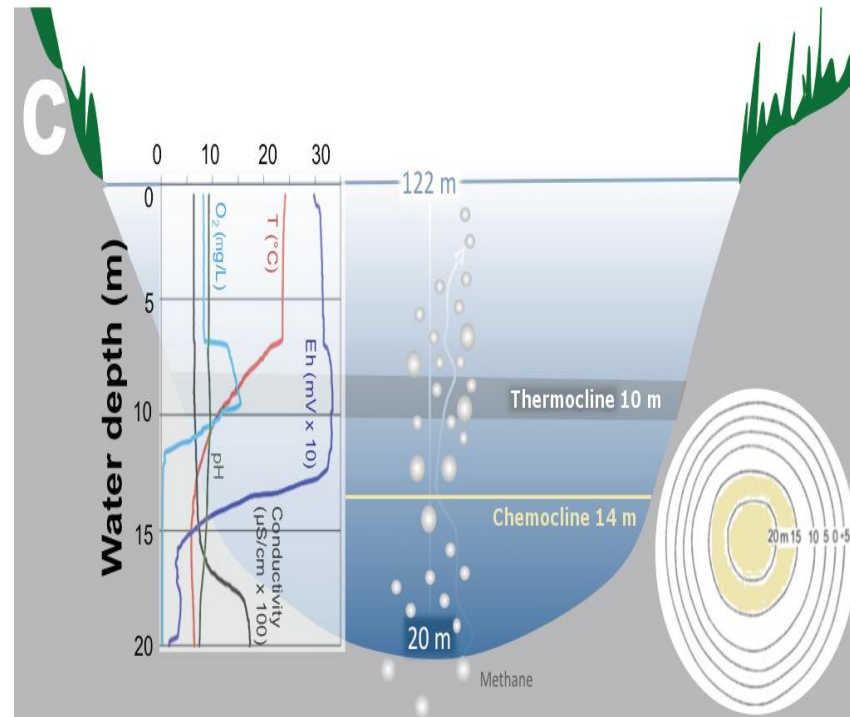
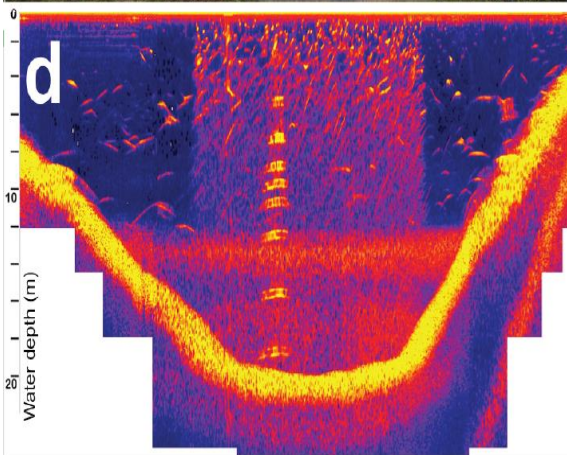


# b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

## Estratificación y salinidad: meromixis



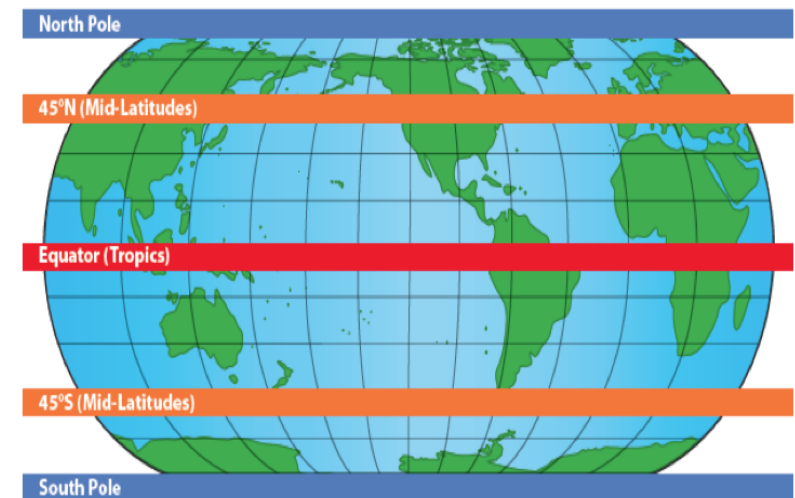
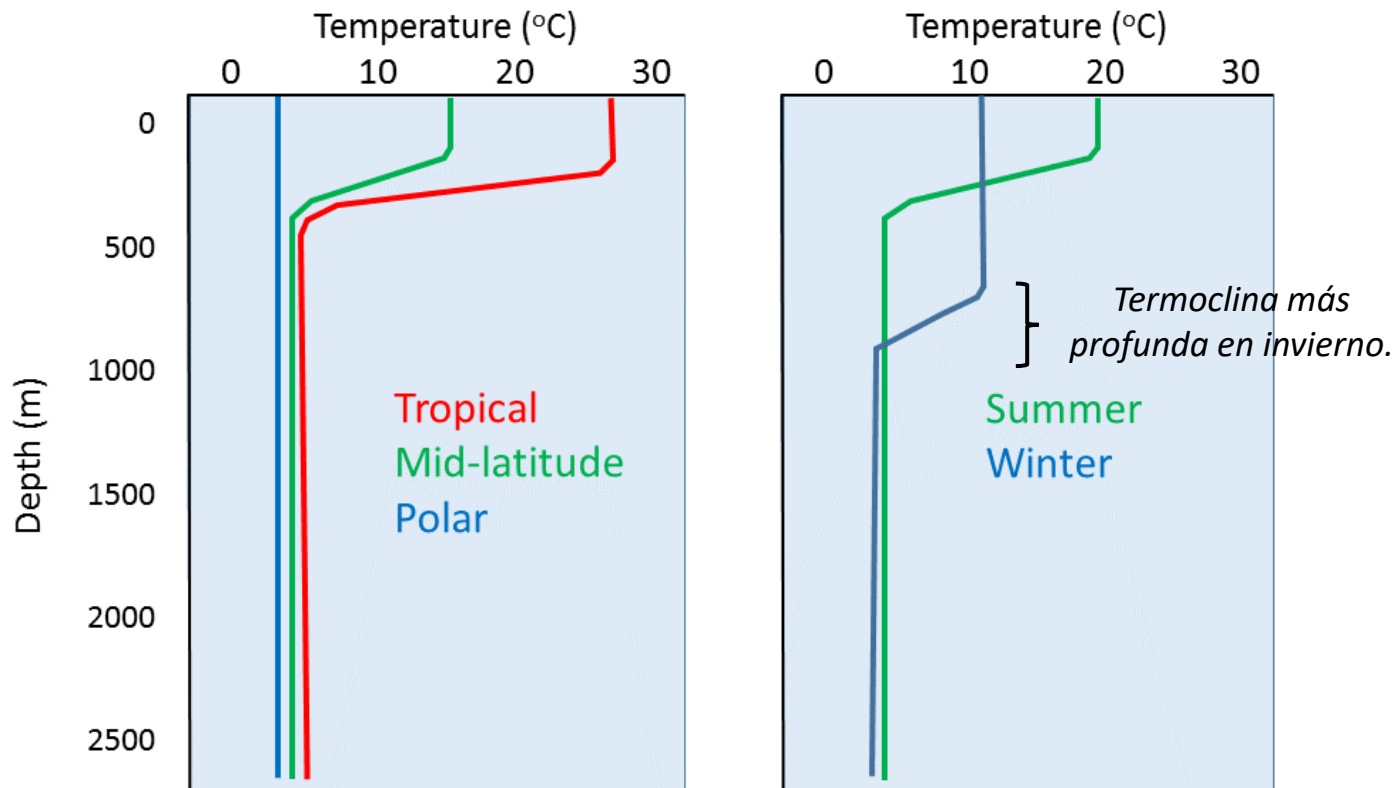
Laguna de La Cruz (Cuenca) durante el verano



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Condicionantes de la estratificación y mezcla en medio marino

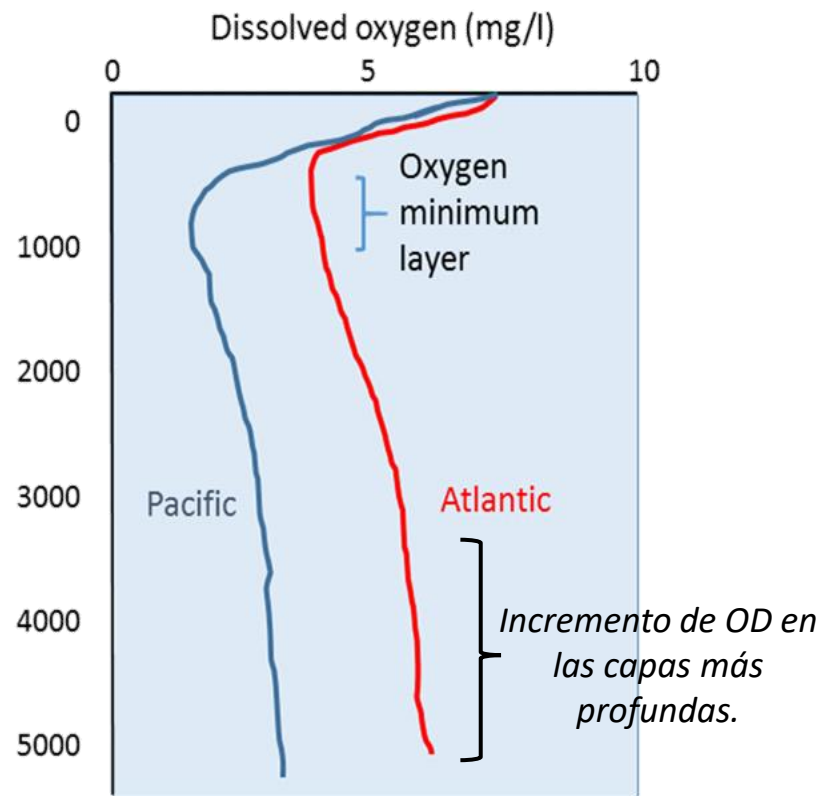
Perfiles batimétricos de **temperatura** idealizados en distintas latitudes de los océanos



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Condicionantes de la estratificación y mezcla en medio marino

Perfiles batimétricos de **oxígeno disuelto** en los océanos



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.

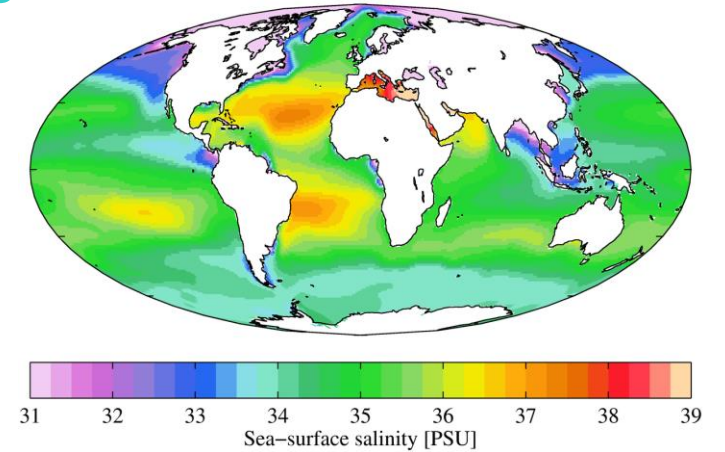
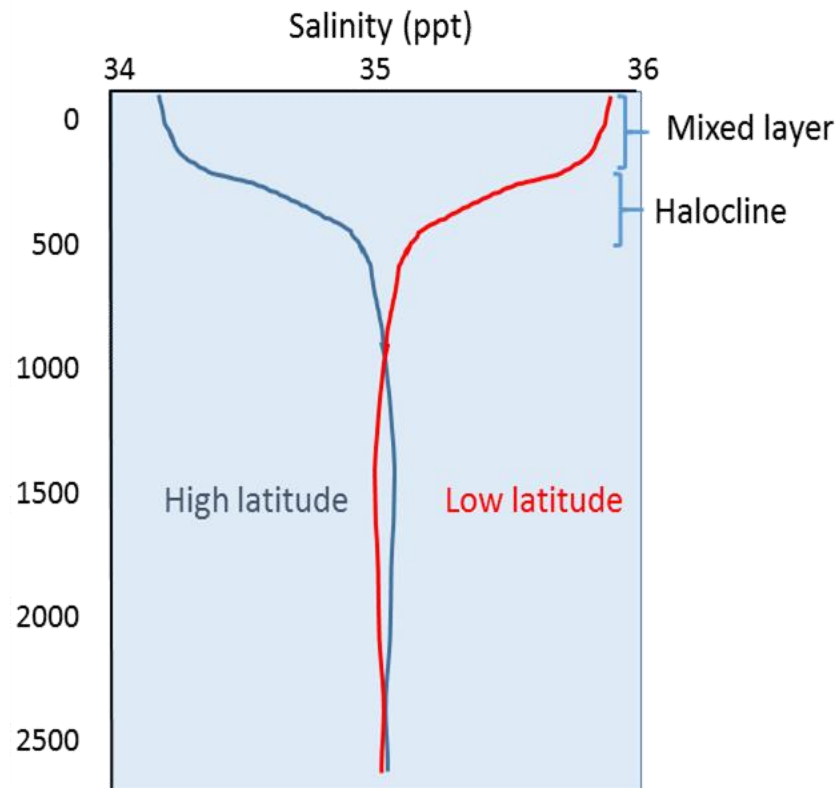
El agua de fondo rica en oxígeno se forma en las regiones polares del Atlántico, y lentamente se dirige hacia el Pacífico, con el oxígeno que se elimina para la respiración en el camino. Es por ello que los niveles de oxígeno disuelto en las aguas profundas del Pacífico son generalmente menores que en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



## b) Radiación y temperatura. Procesos de estratificación y mezcla

### Condiciones de la estratificación y mezcla en medio marino

Perfiles batimétricos de **salinidad** en distintas latitudes de los océanos



La salinidad en aguas más profundas permanece relativamente uniforme, ya que no se ve afectada por procesos superficiales (evaporación, precipitación, escorrentía y capa de hielo).

Los vientos, las olas y las corrientes superficiales agitan el agua superficial, provocando una gran mezcla en esta capa y condiciones de salinidad bastante uniformes. Esta zona se llama **capa mixta**.



## c) Circulación termohalina en océanos

---

Circulación del **agua** a través de los **océanos**...

### CORRIENTES SUPERFICIALES

El **viento** dirige las corrientes oceánicas en los primeros cientos de metros.

### CIRCULACIÓN TERMOHALINA

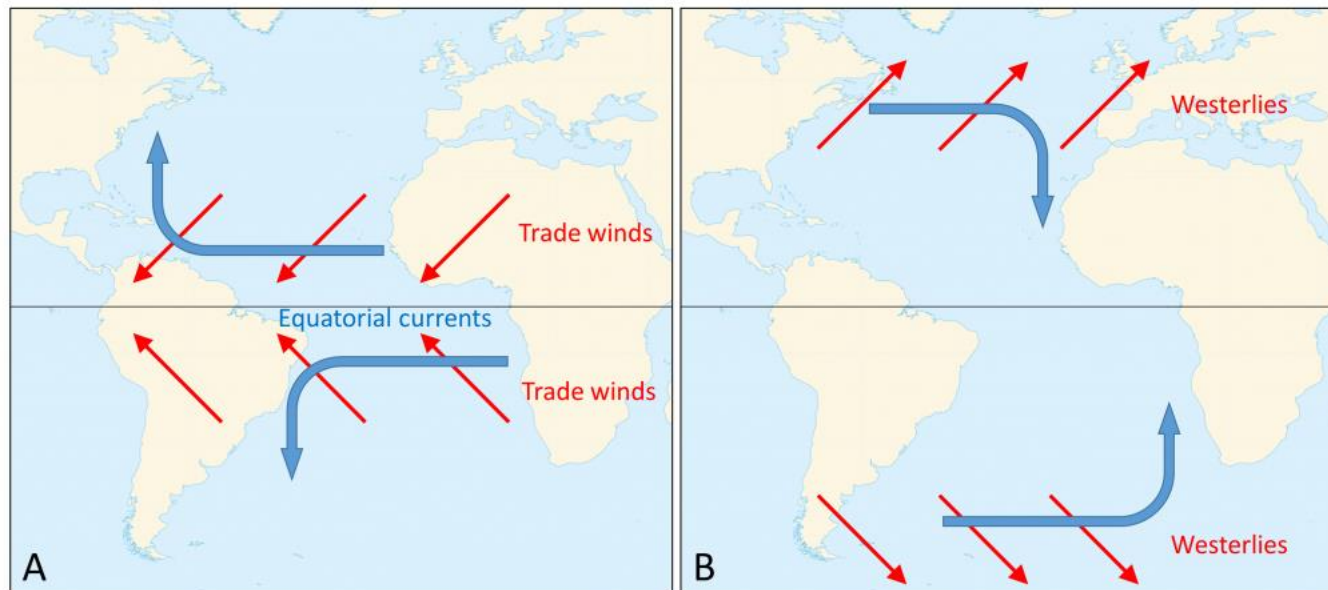
Existen corrientes fluyendo a miles de metros de profundidad bajo la superficie, impulsadas por diferencias en la **densidad** del agua.

## c) Circulación termohalina en océanos

### Corrientes superficiales

Solo afectan a los 100-200 m superiores =(~10% del agua oceánica) y se desplazan a **3-6 km/día**.

Se mueven en la misma dirección que los vientos que las originan, pero... se “desvían” por la **disposición de los continentes** y el *efecto Coriolis*.



A) Las aguas superficiales que se mueven a 45° respecto a los vientos alisios crean las corrientes ecuatoriales que fluyen hacia el oeste B) Entre 30-60° latitud, los occidentales forman corrientes superficiales que fluyen hacia el este.

Vientos aliseos

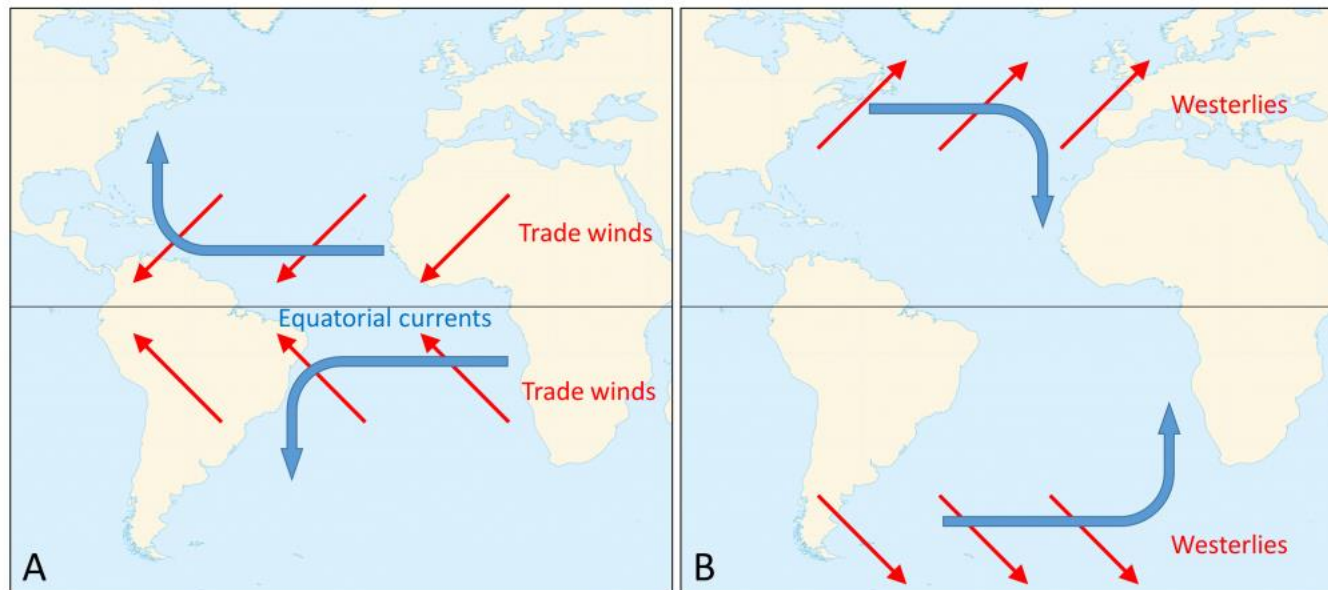
Vientos occidentales

## c) Circulación termohalina en océanos

### Corrientes superficiales

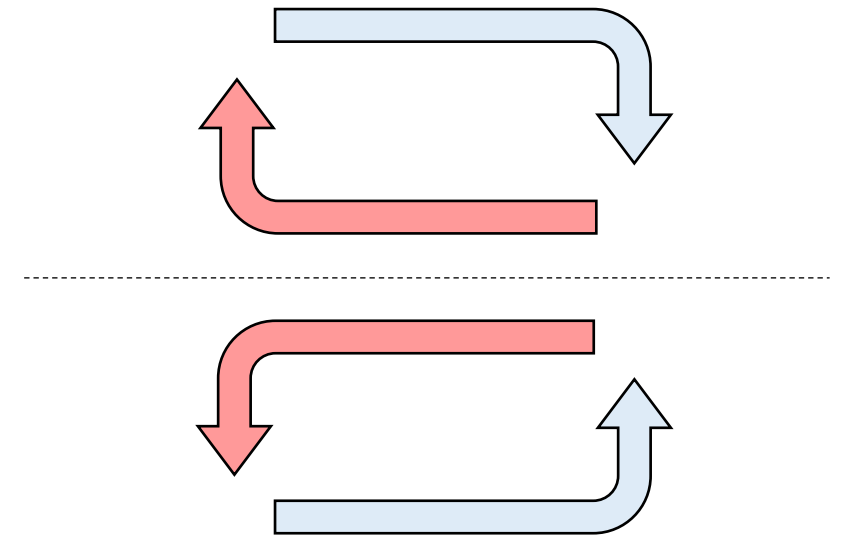
Solo afectan a los 100-200 m superiores =(~10% del agua oceánica) y se desplazan a **3-6 km/día**.

Se mueven en la misma dirección que los vientos que las originan, pero... se “desvían” por la **disposición de los continentes** y el **efecto Coriolis**.



Vientos aliseos

Vientos occidentales



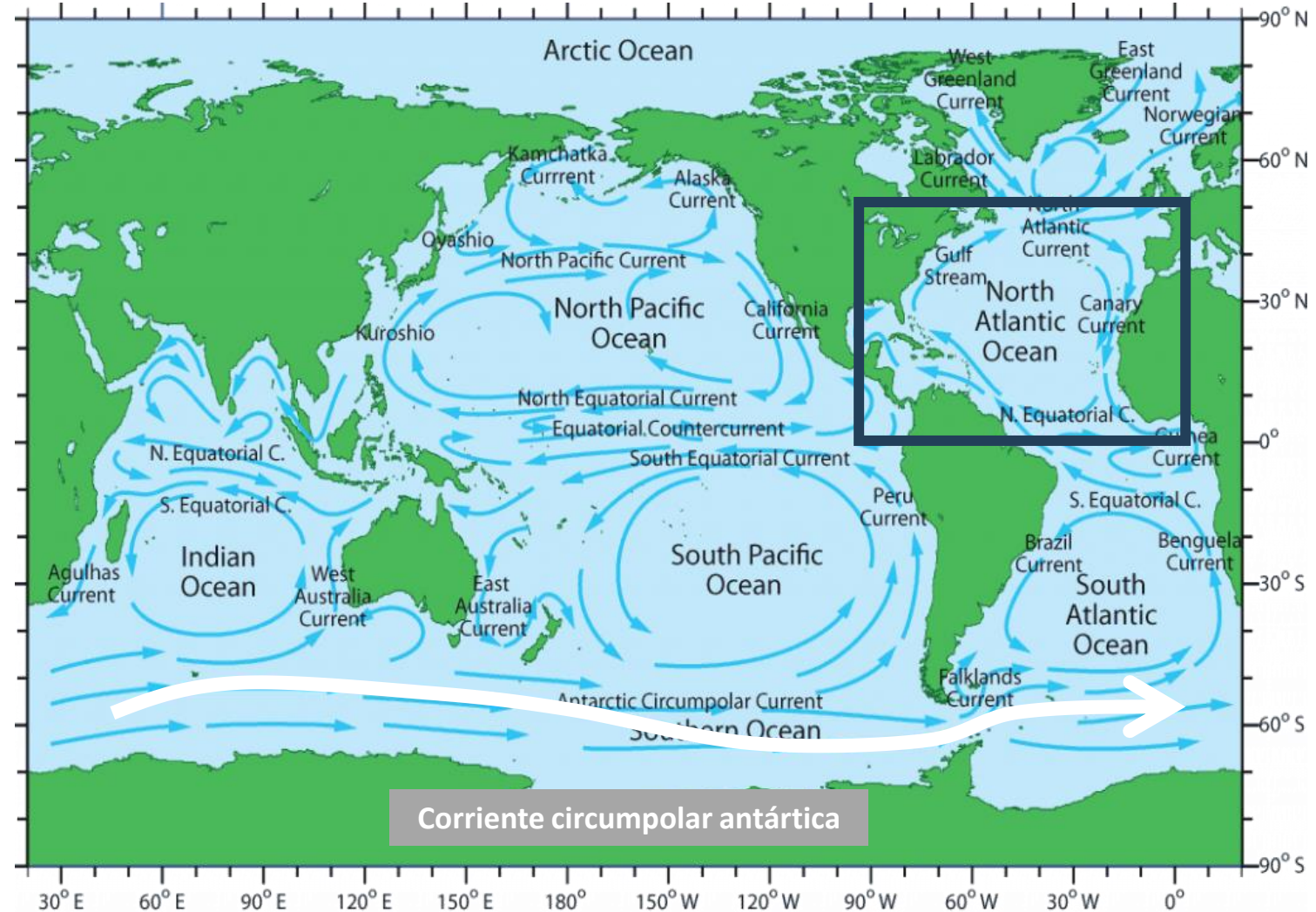
**A + B = GIROS**

# c) Circulación termohalina en océanos

## Corrientes superficiales

Hay 5 giros principales en los océanos

- Atlántico Norte
- Atlántico Sur
- Pacífico Norte
- Pacífico Sur
- Índico

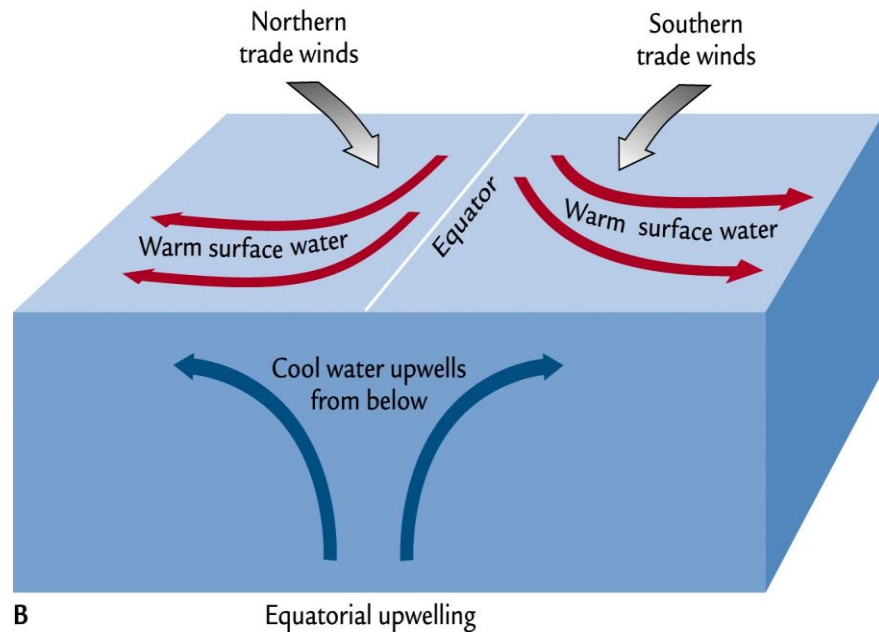




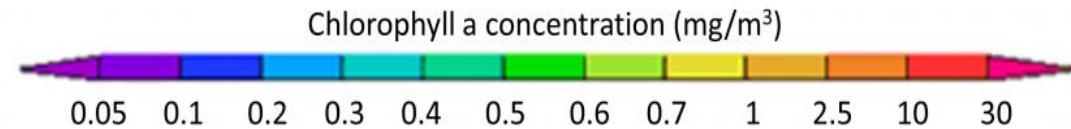
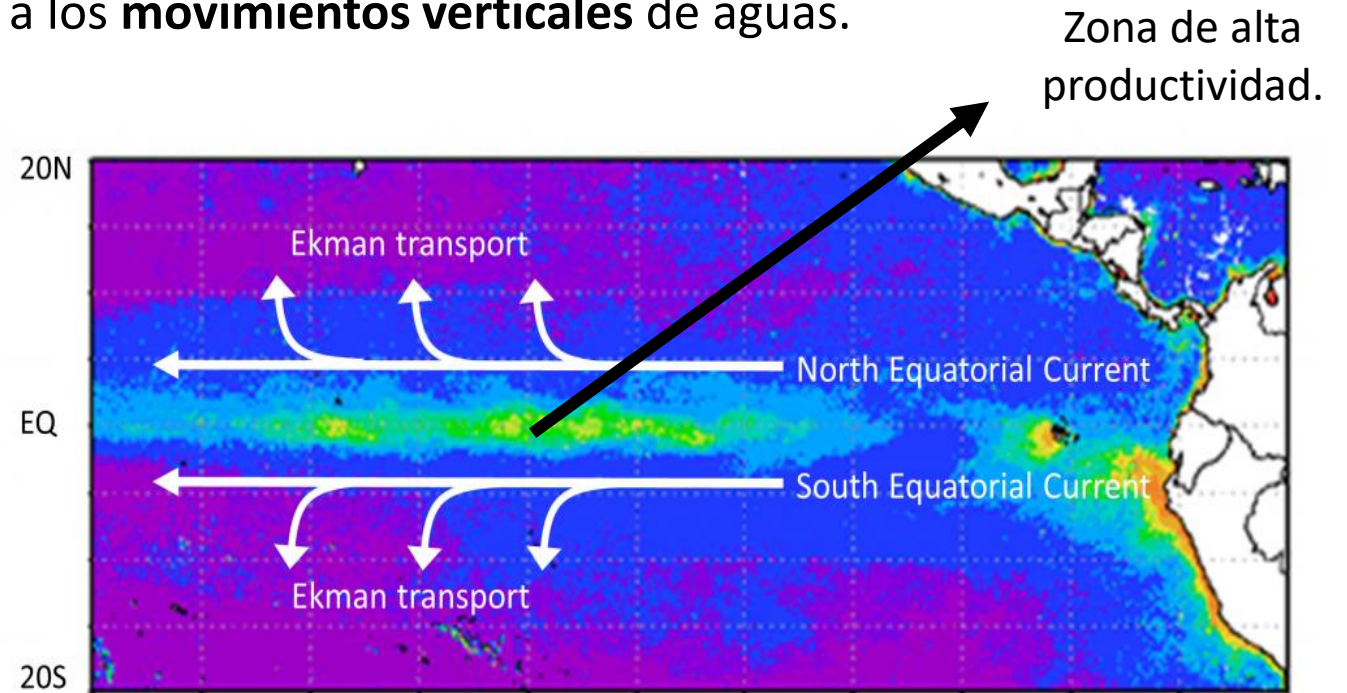
## c) Circulación termohalina en océanos

### Surgencia (“upwelling”)

Las corrientes superficiales también afectan a los **movimientos verticales** de aguas.



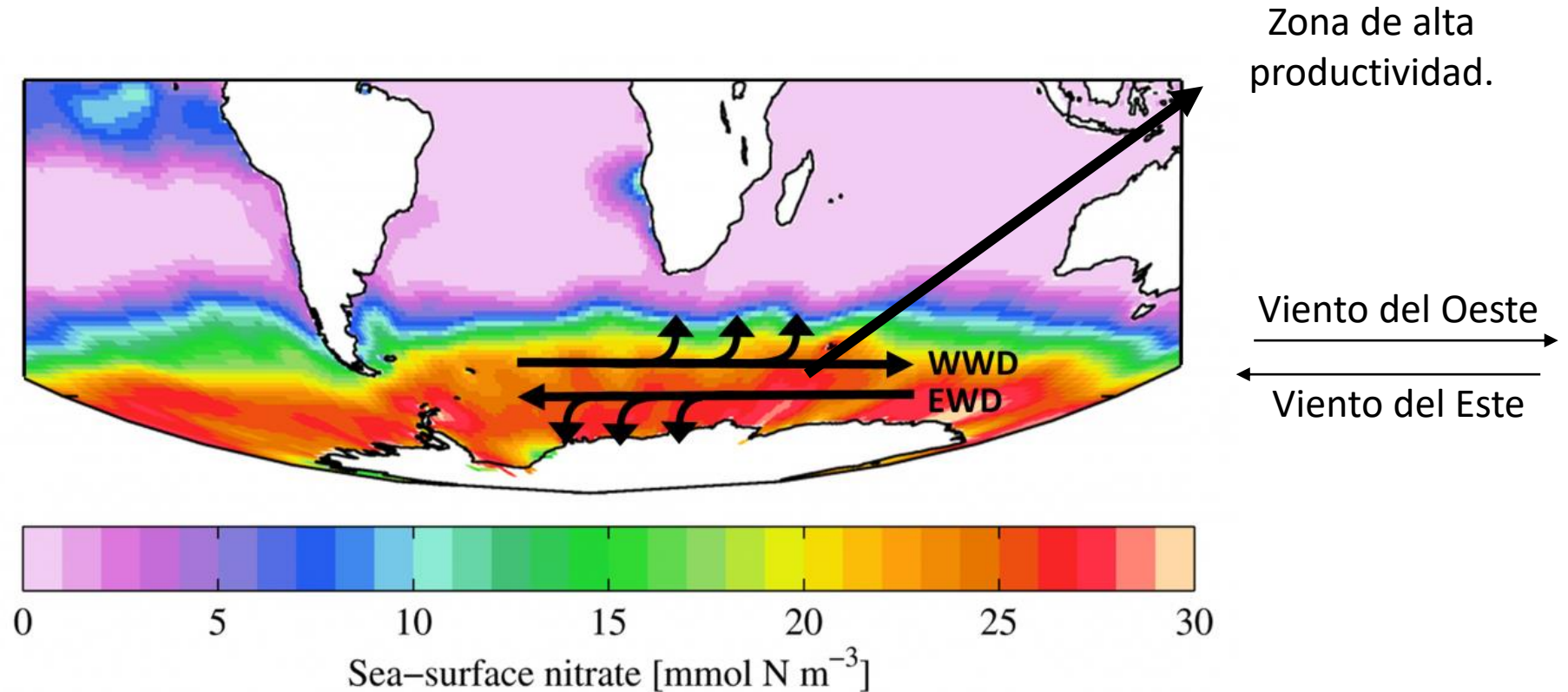
*Ascensión de agua profunda: fría y rica en nutrientes debido a la divergencia de las corrientes ecuatoriales N y S.*



*Surgimiento ecuatorial y aumento de la productividad.*

## c) Circulación termohalina en océanos

### Surgencia (“upwelling”)



*Surgimiento cerca del continente antártico y aumento de la productividad.*

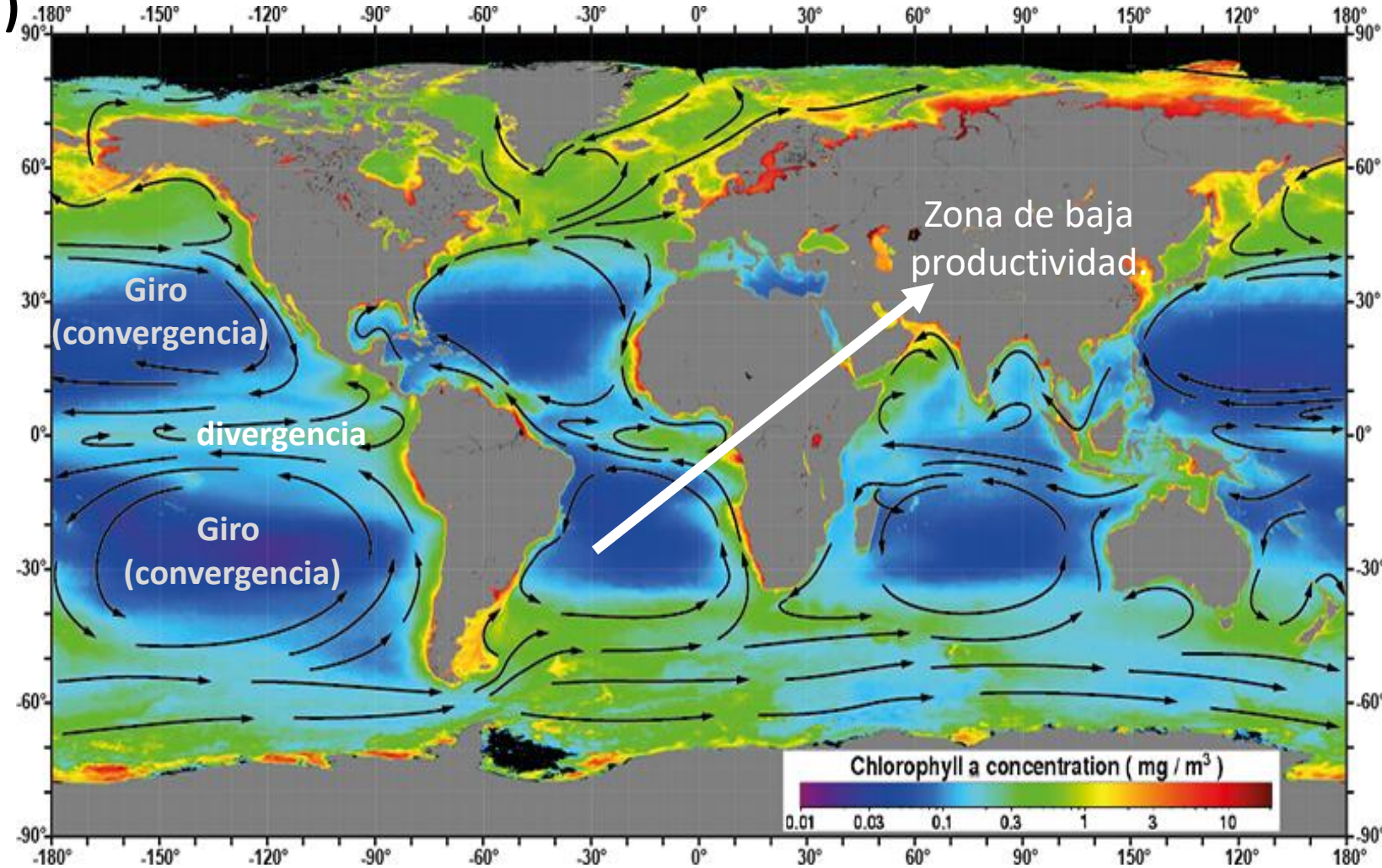


## c) Circulación termohalina en océanos

### Hundimiento (“downwelling”)

Los **giros** son creados por la convergencia de las principales corrientes superficiales.

Representan zonas de **convergencia de corrientes** superficiales que tienen efecto de **hundimiento o sumersión de agua** superficial. Determinan zonas de **baja productividad**.



## c) Circulación termohalina en océanos

---

### Circulación Termohalina

Afecta al **90% del agua oceánica** y se desplazan en torno a **10-20 km/año**.

Impulsadas por diferencias en la **densidad** del agua.



## c) Circulación termohalina en océanos

### Circulación Termohalina

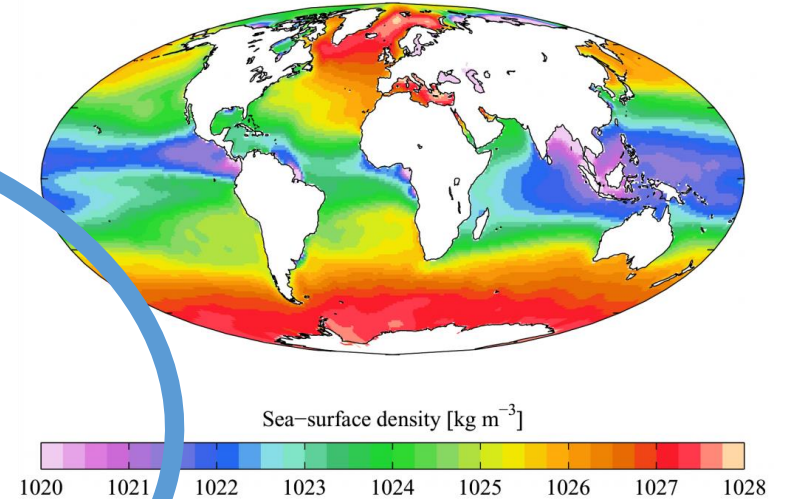
La densidad del agua depende de **TEMPERATURA** y **SALINIDAD**.

El agua menos densa queda en la superficie.

El agua más densa se hunde.

Aguas a diferentes densidades tienden a estratificarse en capas.

Es el movimiento de estas capas de densidad es lo que crea la **circulación** de aguas profundas.



### CIRCULACIÓN TERMOHALINA

↑ **densidad**

Enfriamiento  
Evaporación  
Formación de hielo

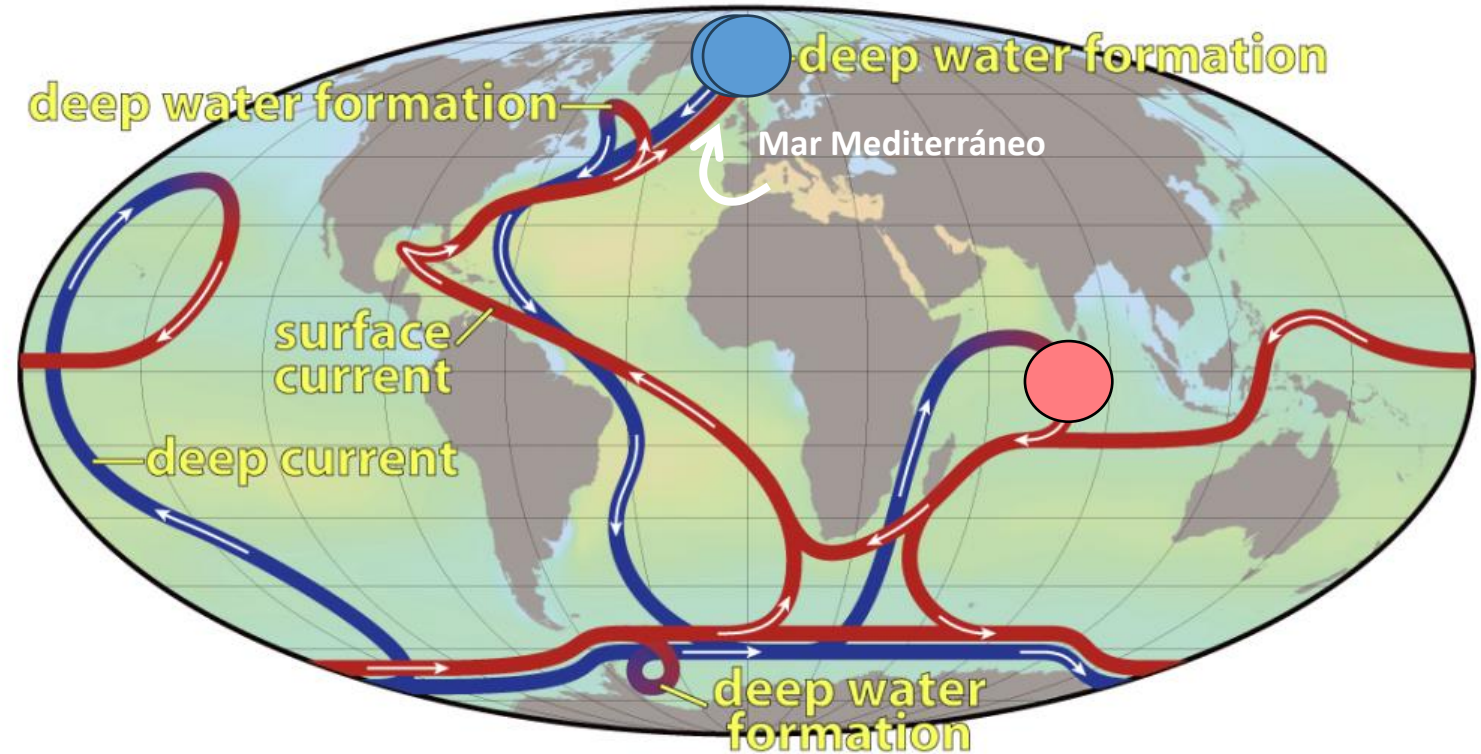
↓ **densidad**

Calentamiento  
Dilución (precipitación, fusión de hielo,  
escorrentía de agua dulce)

## c) Circulación termohalina en océanos

### La “cinta transportadora oceánica”

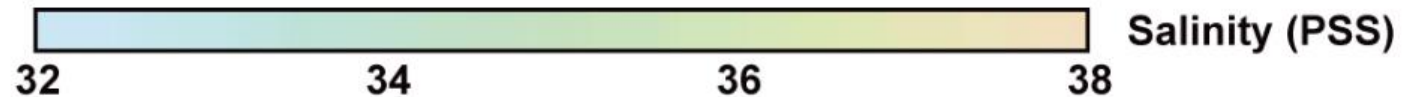
### Thermohaline Circulation



El motor de la  
circulación  
termohalina



Principales sitios de formación de aguas profundas. El Agua de Fondo Antártico se forma en el Mar de Weddell, y las aguas profundas del Atlántico Norte se forman en el Mar de Groenlandia (PW).

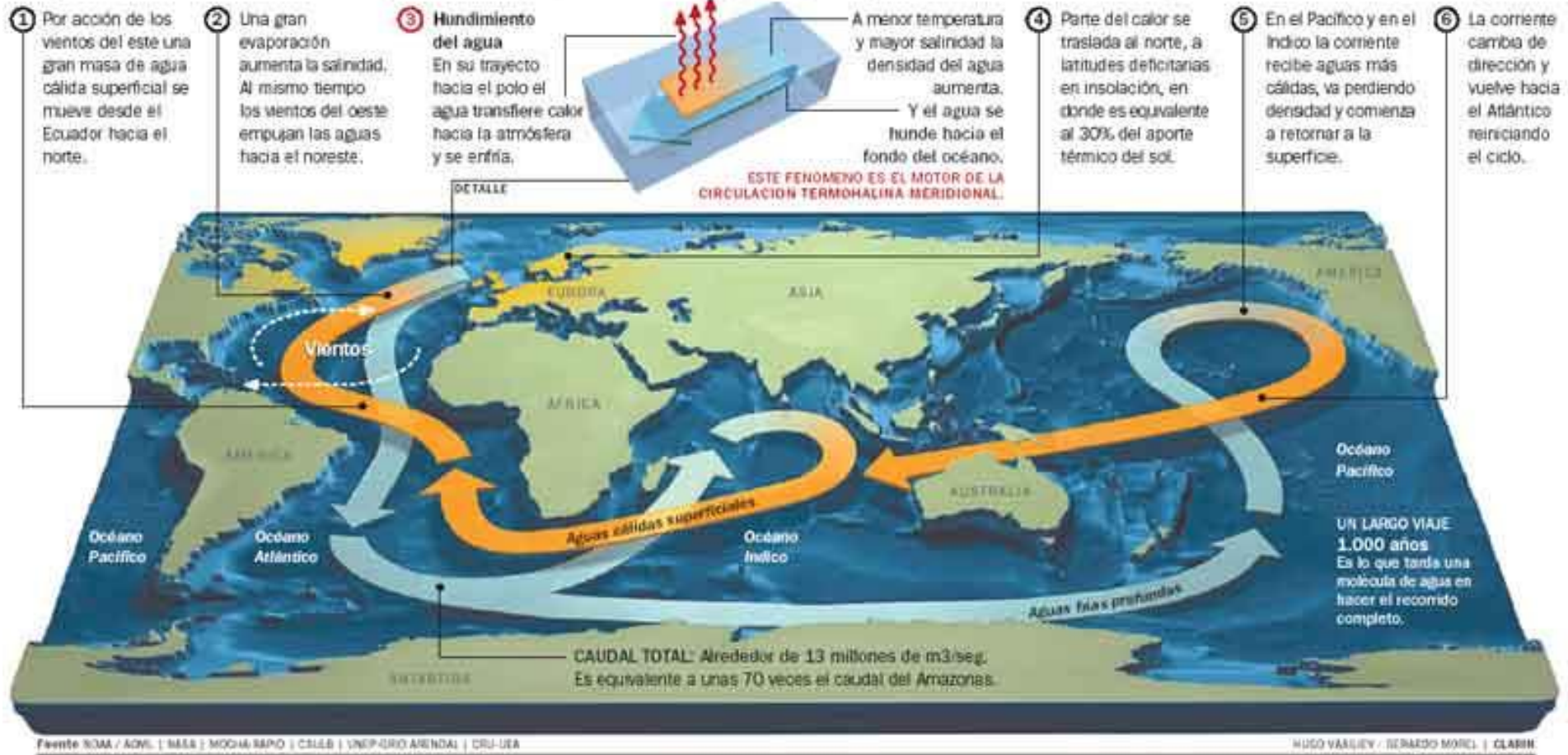


Estas corrientes se mueven a una velocidad de **10-20 km/año**.  
El ciclo completo puede tardar entre **1000 y 2000 años** en completarse

## c) Circulación termohalina en océanos

### La corriente oceánica global y el transporte de calor en el planeta

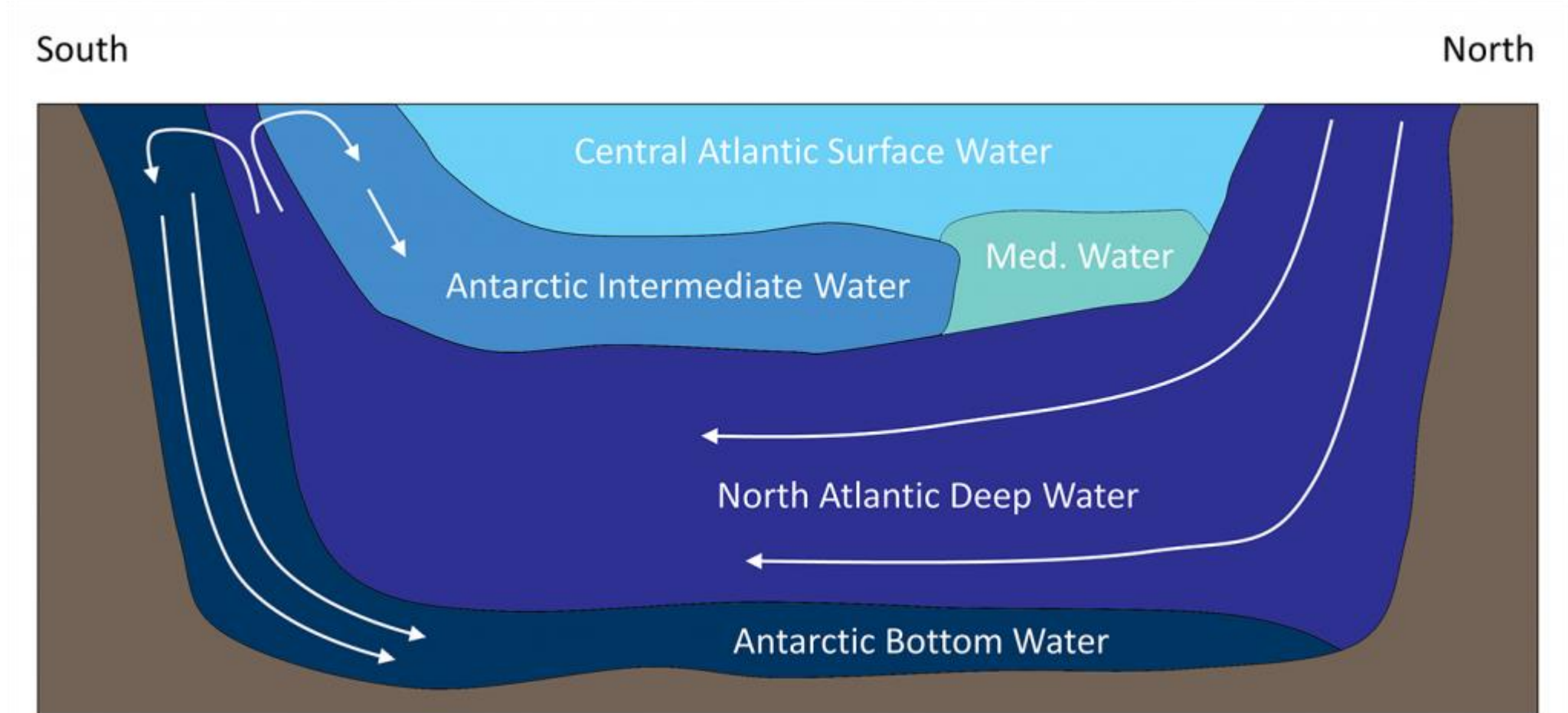
La Circulación Termohalina Meridional es una inmensa corriente impulsada por diferencias en la temperatura y la salinidad del mar. Tiene un gran impacto en el clima del norte por ser un enorme transportador de calor. Dentro de este fenómeno, el océano Atlántico, a pesar de ser un océano pequeño, es el responsable de más de la mitad del transporte de calor hacia el norte en el océano global.





## c) Circulación termohalina en océanos

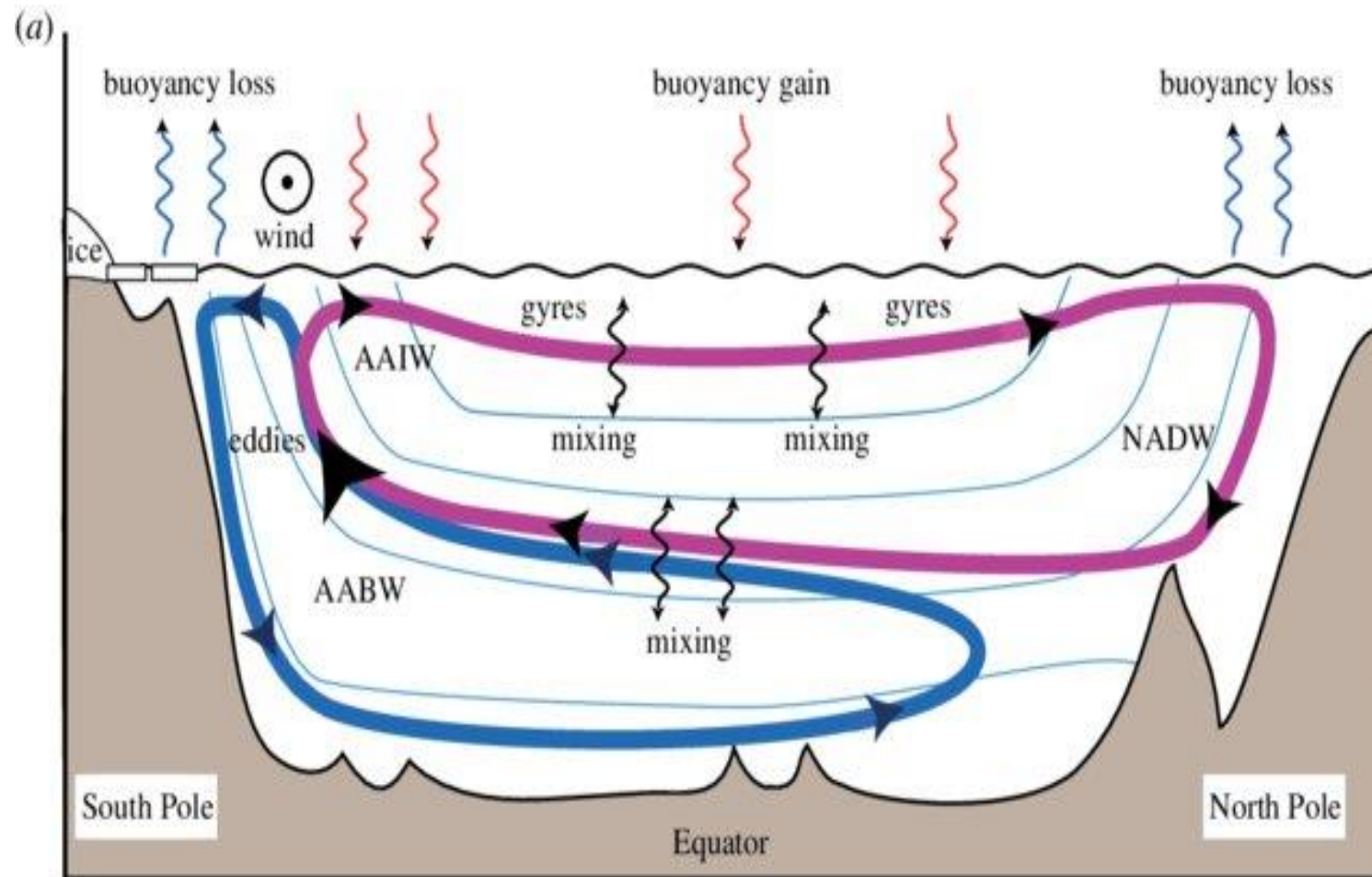
Modelo simplificado (próximo al real) de circulación termohalina latitudinal-batimétrica en el Atlántico





## c) Circulación termohalina en océanos

Modelo simplificado (próximo al real) de circulación termohalina latitudinal-batimétrica en el Atlántico



## c) Circulación termohalina en océanos

---

### Implicaciones para el medio global

- Transporte de **calor** alrededor del globo.

*Lleva agua cálida a los polos y agua fría hacia los trópicos, estabilizando la temperatura de ambas zonas.*

- Aporte de **oxígeno** a hábitats de aguas profundas  
(Atlántico > Índico > Pacífico)

CAMBIO CLIMÁTICO >

**La principal corriente oceánica que regula el clima muestra señales de colapso** [EL PAÍS \(elpais.com\)](https://elpais.com)

Un estudio sugiere que el mecanismo de transporte de aguas del Atlántico, decisivo a escala global, amenaza con detenerse con el actual efecto de las emisiones

### Efectos del cambio climático

- Calentamiento global → **Ralentización de la circulación termohalina (ej. corriente del golfo).**  
(deshielo) *(clima más frío en Europa)*

→ Interrupción del transporte de oxígeno a las comunidades del fondo.

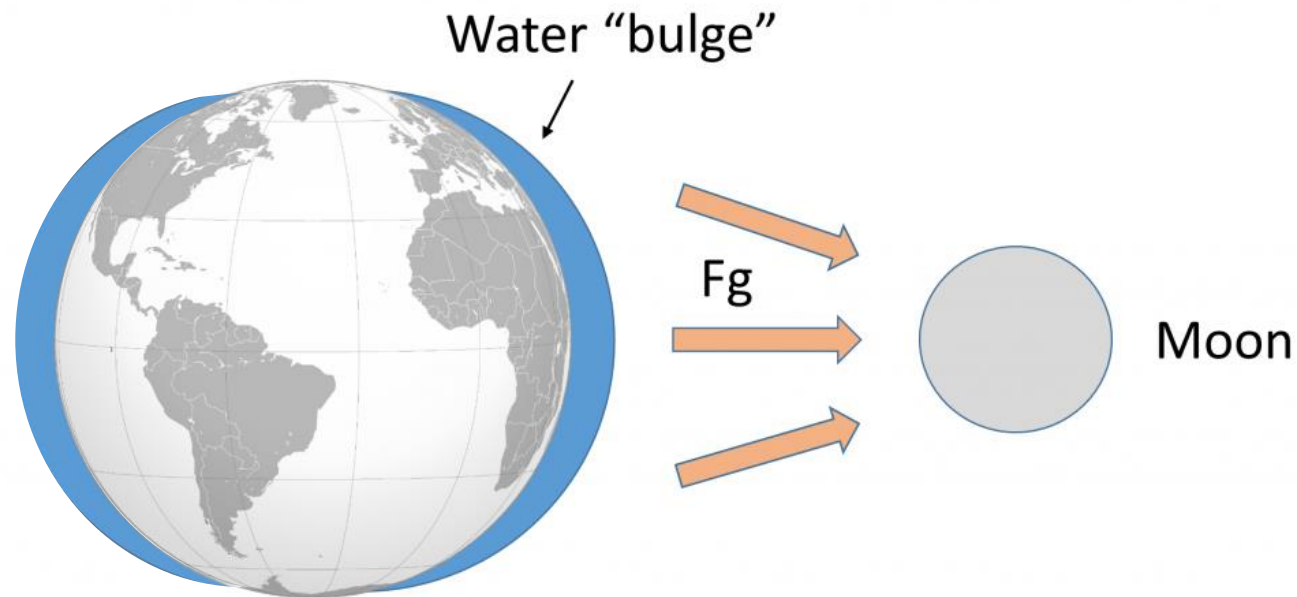
## d) Mareas y mezcla mareal

---

### Mareas

Creadas por la atracción gravitacional de **Luna** y **Sol**.

Producen cambios diarios del nivel del mar. por diferencias en la **densidad** del agua.

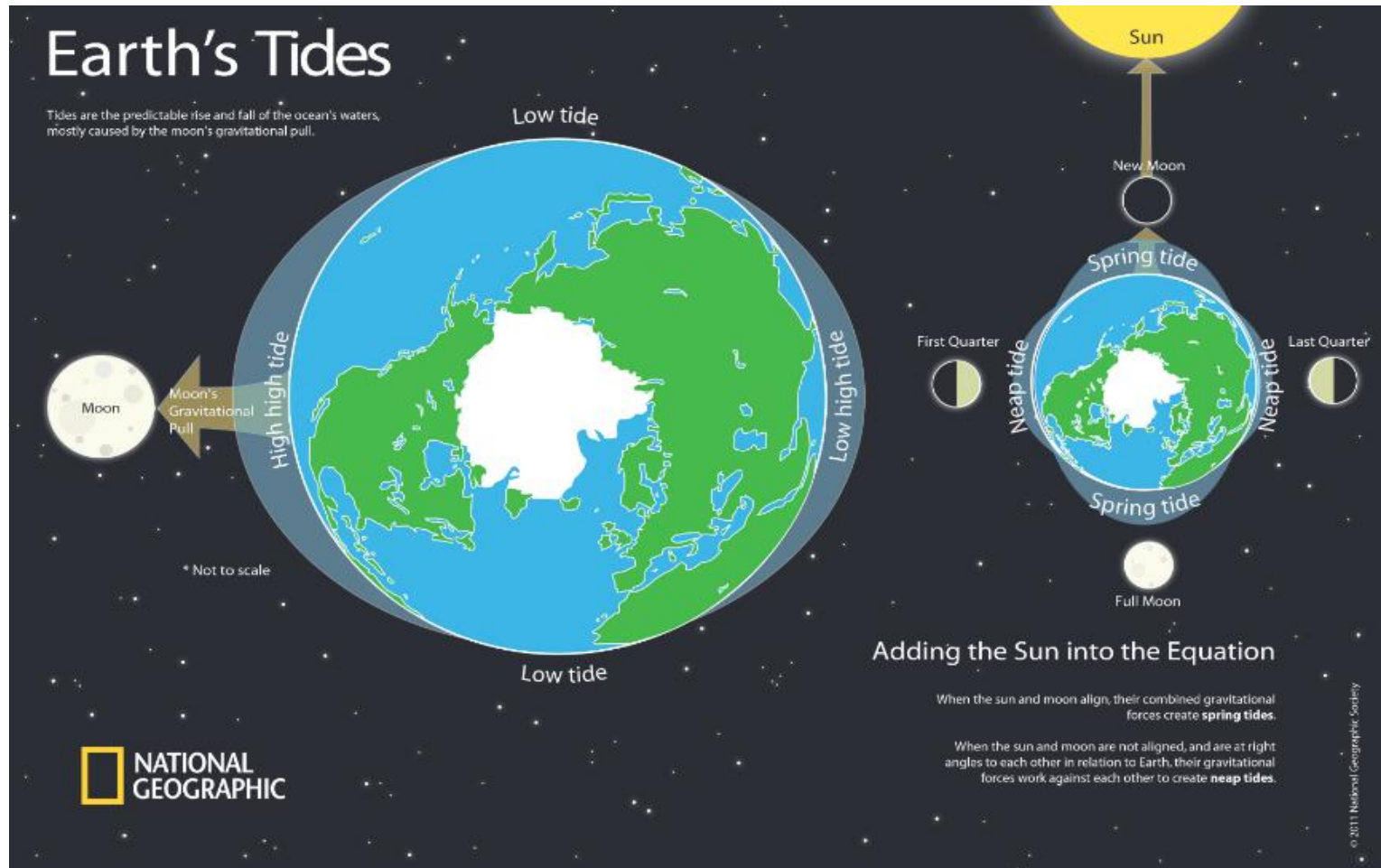


*Las **fuerzas gravitacionales** entre la Tierra y la luna provocan que aparezca una protuberancia de agua en el lado de la Tierra frente a la luna.*

*La **fuerza inercial** provoca que aparezca una protuberancia de agua en el lado de la Tierra opuesto a la luna.*

## d) Mareas y mezcla mareal

### Mareas vivas y mareas muertas



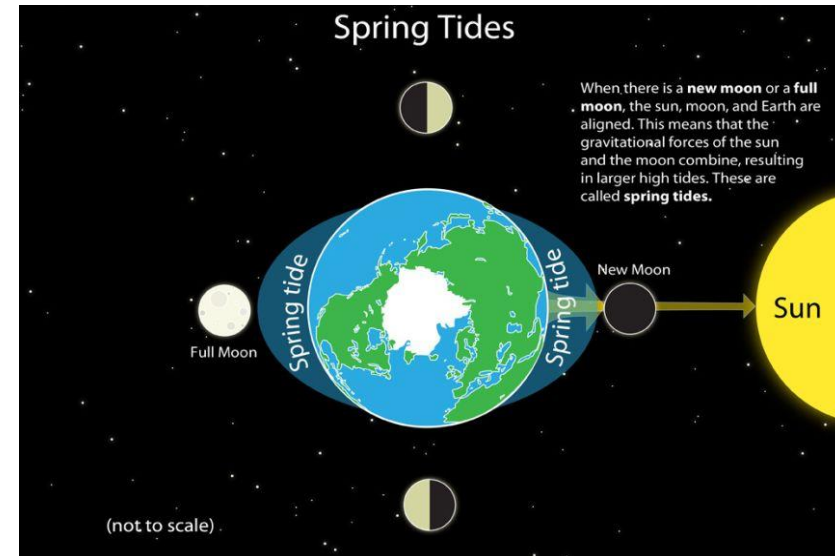
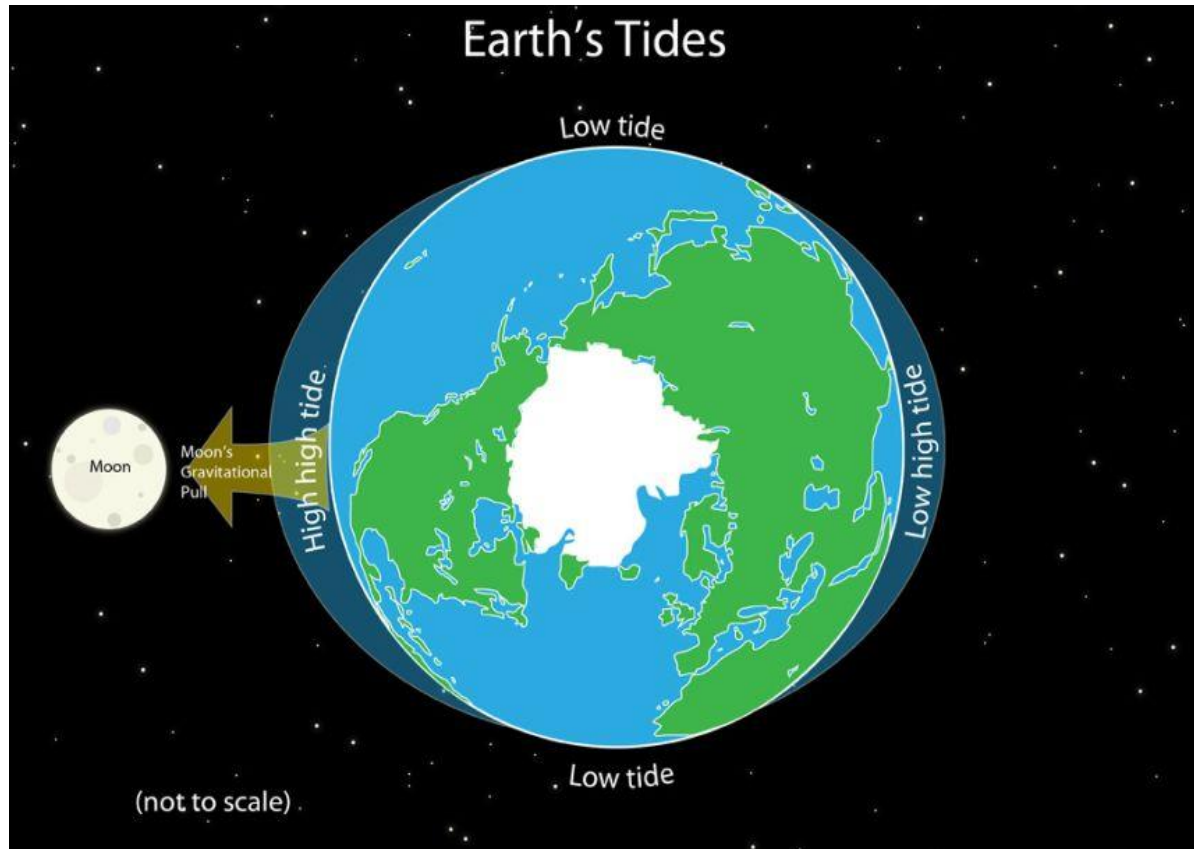
<https://www.youtube.com/watch?v=UHPQNDDrOQk>

[Neil deGrasse Tyson Explains the Tides - YouTube](#)

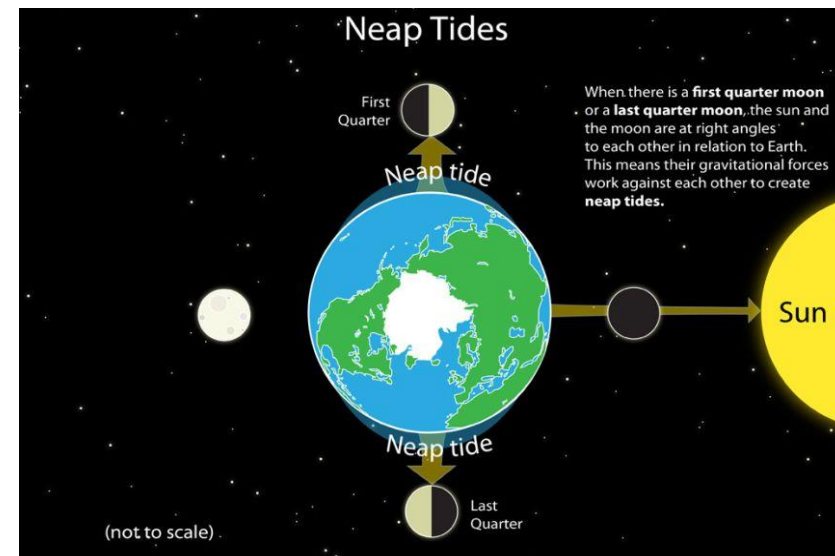


# d) Mareas y mezcla mareal

## Mareas vivas y mareas muertas



Marea viva



Marea muerta

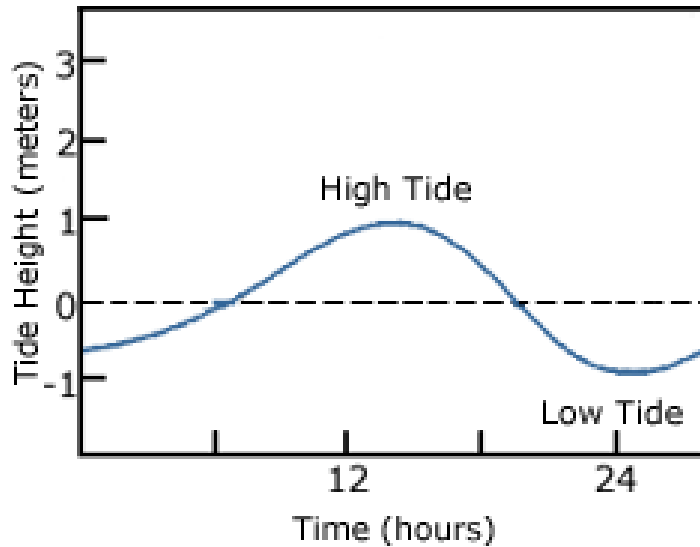
## d) Mareas y mezcla mareal

### Tipos de mareas

#### Diurnas

(1 marea alta y 1 marea baja por día)

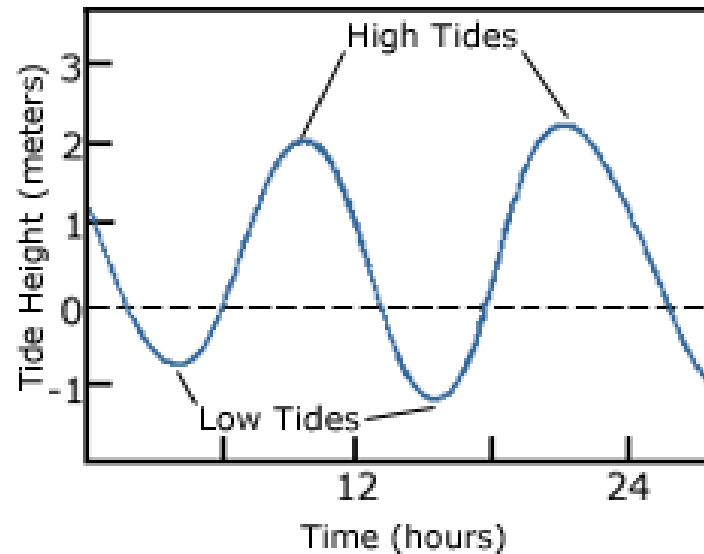
Diurnal



#### Semidiurnas

(dos mareas altas y dos bajas por día)

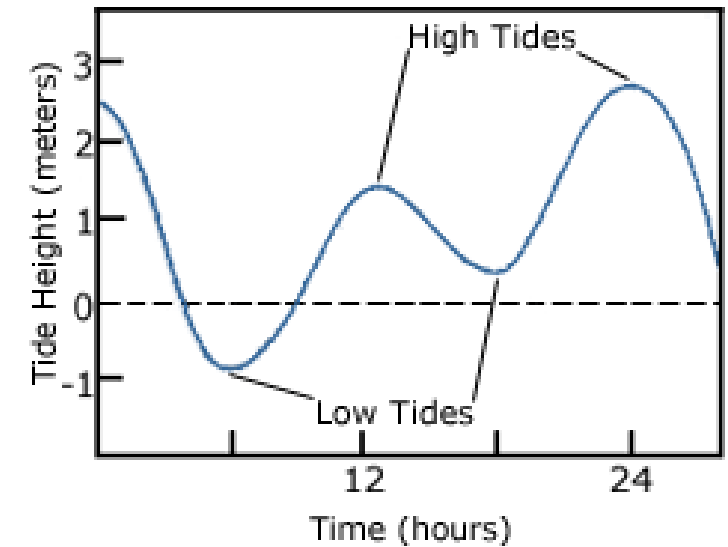
Semidiurnal



#### Mixtas

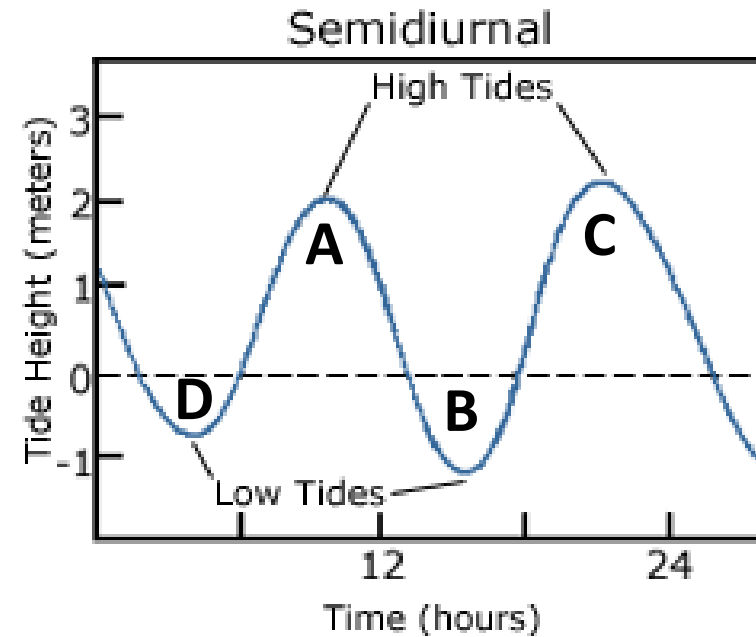
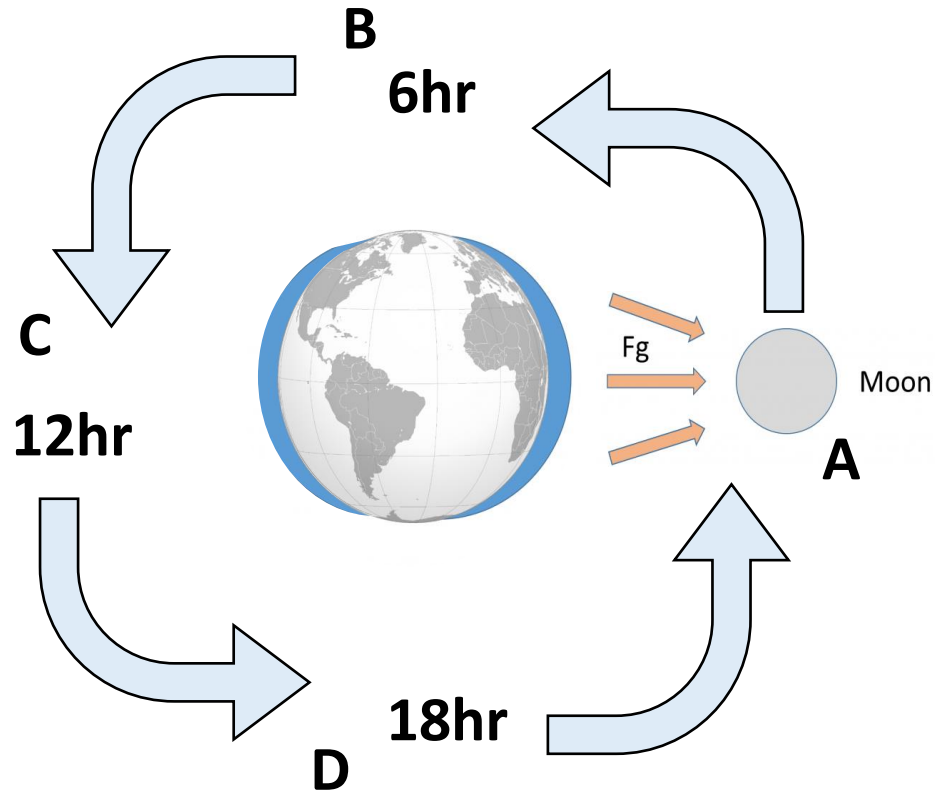
(dos mareas altas y dos bajas por día, **pero de distintas alturas**)

Mixed Semidiurnal



## d) Mareas y mezcla mareal

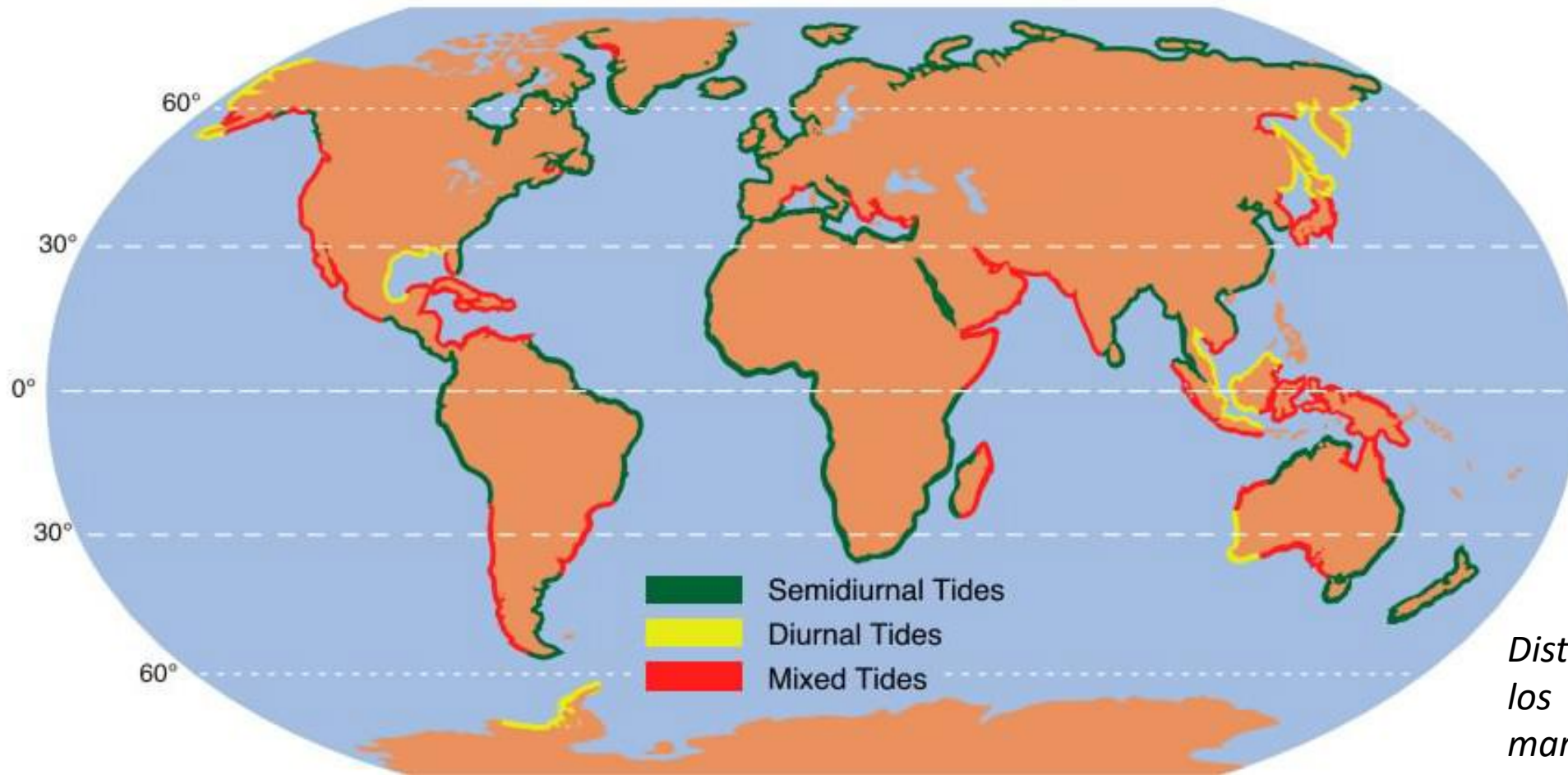
### Mareas



La Tierra gira sobre su propio eje una vez al día, así que **seis horas** después de que la Luna haya estado encima de ti causando la marea alta, ésta estará al lado contrario del planeta, ocasionando la marea baja del día.

## d) Mareas y mezcla mareal

### Tipos de mareas - Localización



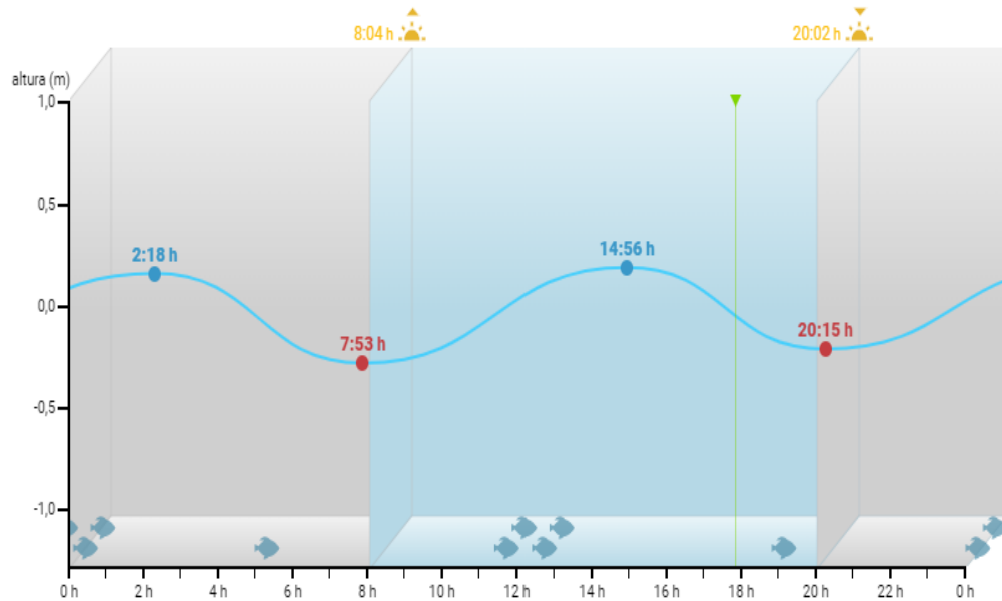
*Distribución global de los diferentes tipos de mareas*



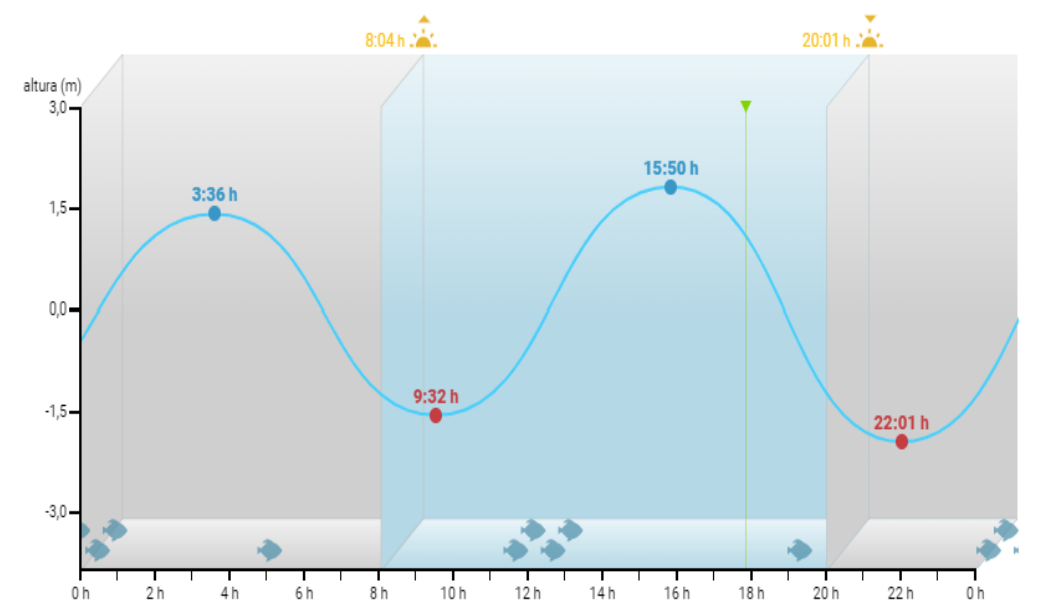
## d) Mareas y mezcla mareal

### Tipos de mareas - Localización

Almería (27/09/23)



Bilbao (27/09/23)



<https://tablademareas.com/es>

## d) Mareas y mezcla mareal

---

### ¿Por qué existen diferentes tipos de mareas según la localización?

Debido a que **la superficie de la Tierra no es uniforme**, las mareas no siguen los mismos patrones en todos los lugares. Cada región de los océanos tiene un conjunto único de factores que contribuyen a los tipos de mareas que experimentará. La **forma de la costa** y la forma **del fondo del océano** marcan la diferencia en el rango y la frecuencia de las mareas.

En una playa amplia y lisa, el agua puede extenderse sobre una gran superficie. El rango de marea puede ser de unos pocos centímetros. En un área confinada, como una ensenada o bahía estrecha y rocosa, el rango de marea puede ser de muchos metros.

**Las mareas más bajas se encuentran en mares cerrados** como el Mediterráneo o el Báltico. Se elevan unos 30 centímetros (aproximadamente un pie). La mayor amplitud de mareas se encuentra en la Bahía de Fundy, Canadá. Allí, las mareas suben y bajan casi 17 metros (56 pies).



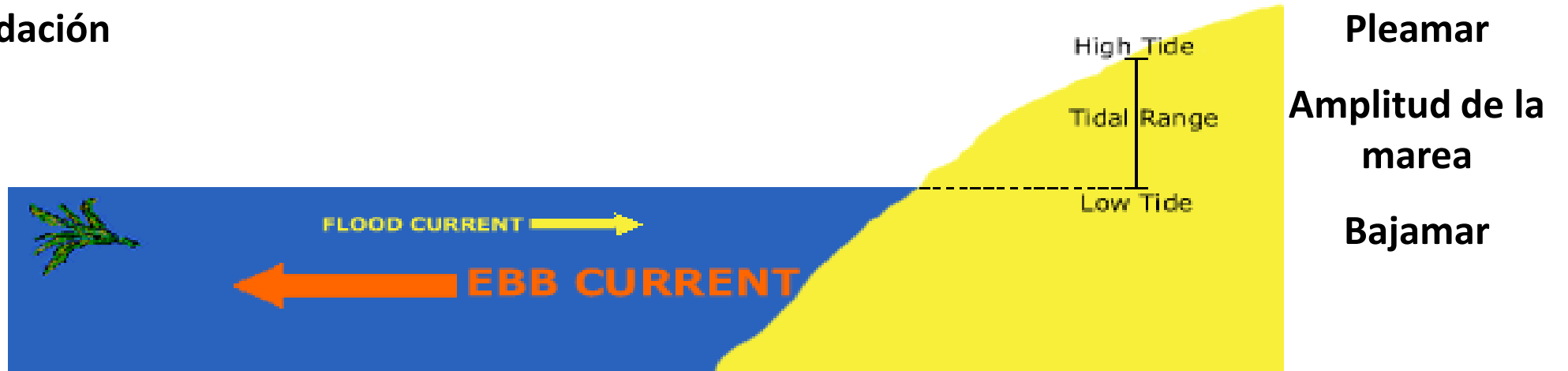
Bahía de Fundy, Canadá.

## d) Mareas y mezcla mareal

### Corrientes de marea

La mareas también generan **corrientes**.

#### Corriente de inundación



#### Corriente de refluo



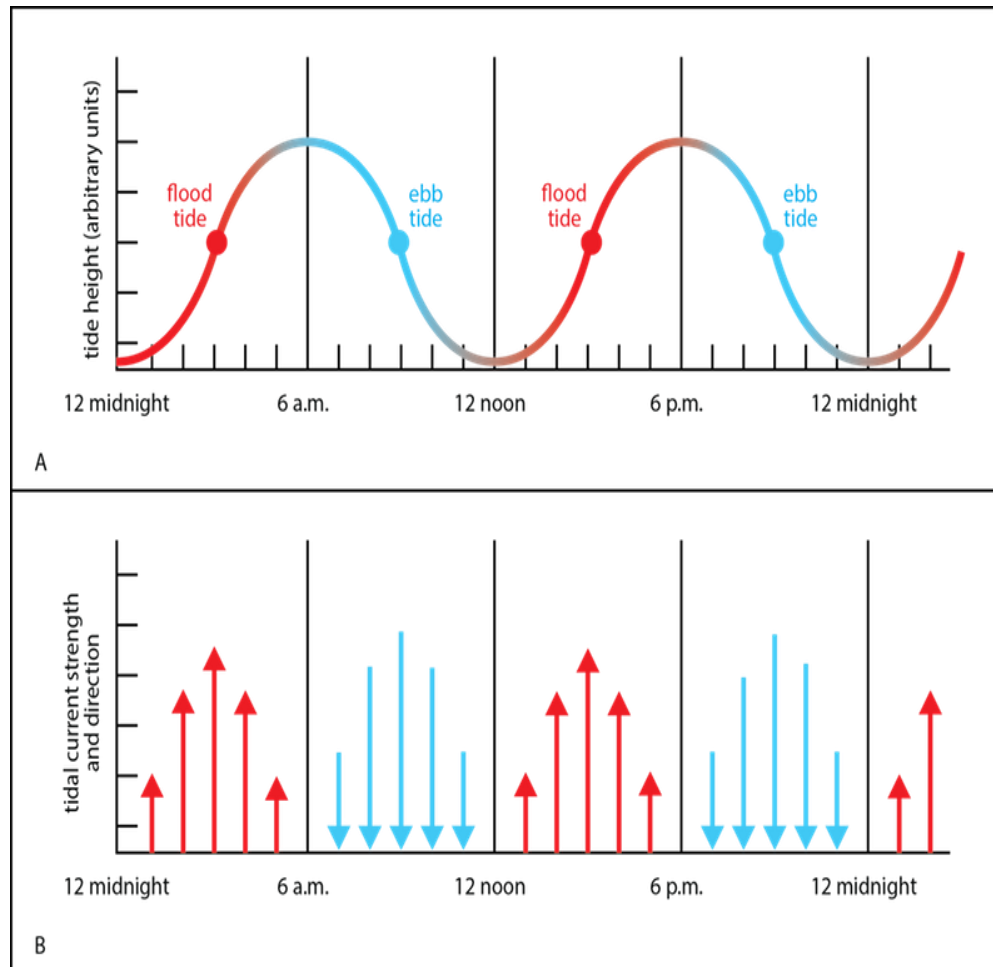
*Dinámica mareal mostrando los cambios en el **nivel** y la generación de **corrientes***

**Marea floja:** transición entre las mareas altas entrantes y bajas salientes, cuando no hay movimiento de agua

## d) Mareas y mezcla mareal

### Corrientes de marea

Marea



Las corrientes de inundación y de reflujo **más fuertes** generalmente ocurren antes o cerca del momento de las mareas altas y bajas.

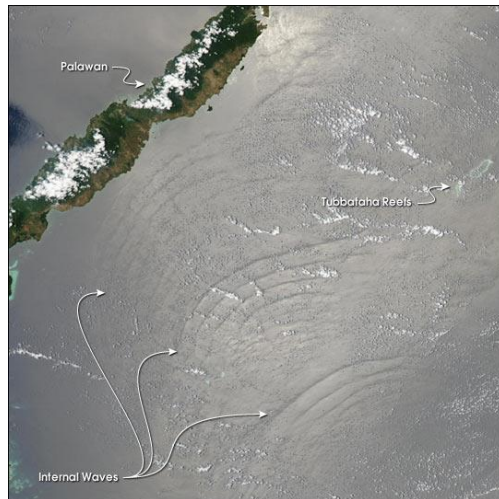
Corrientes



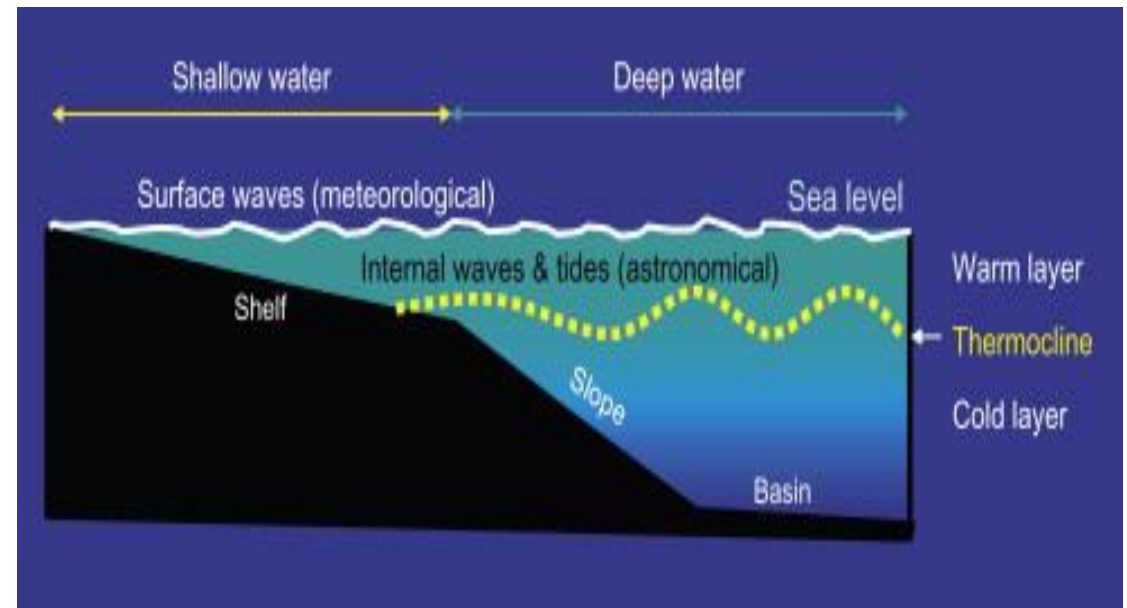
## d) Mareas y olas internas

### Olas internas

Las **olas internas** son olas que están en el interior de un fluido, a una cierta profundidad.



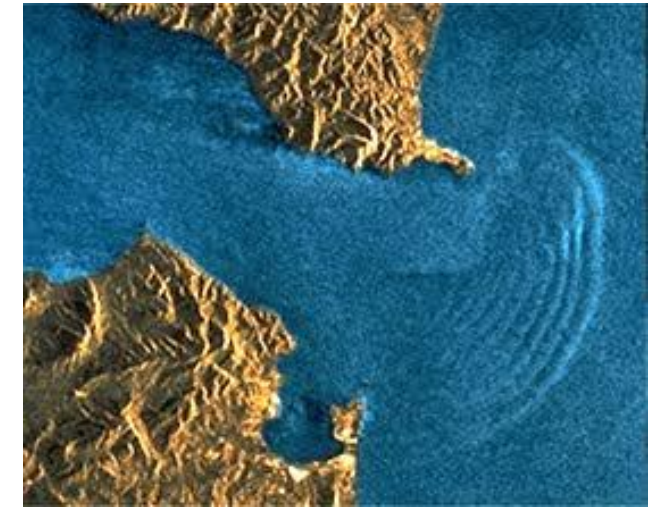
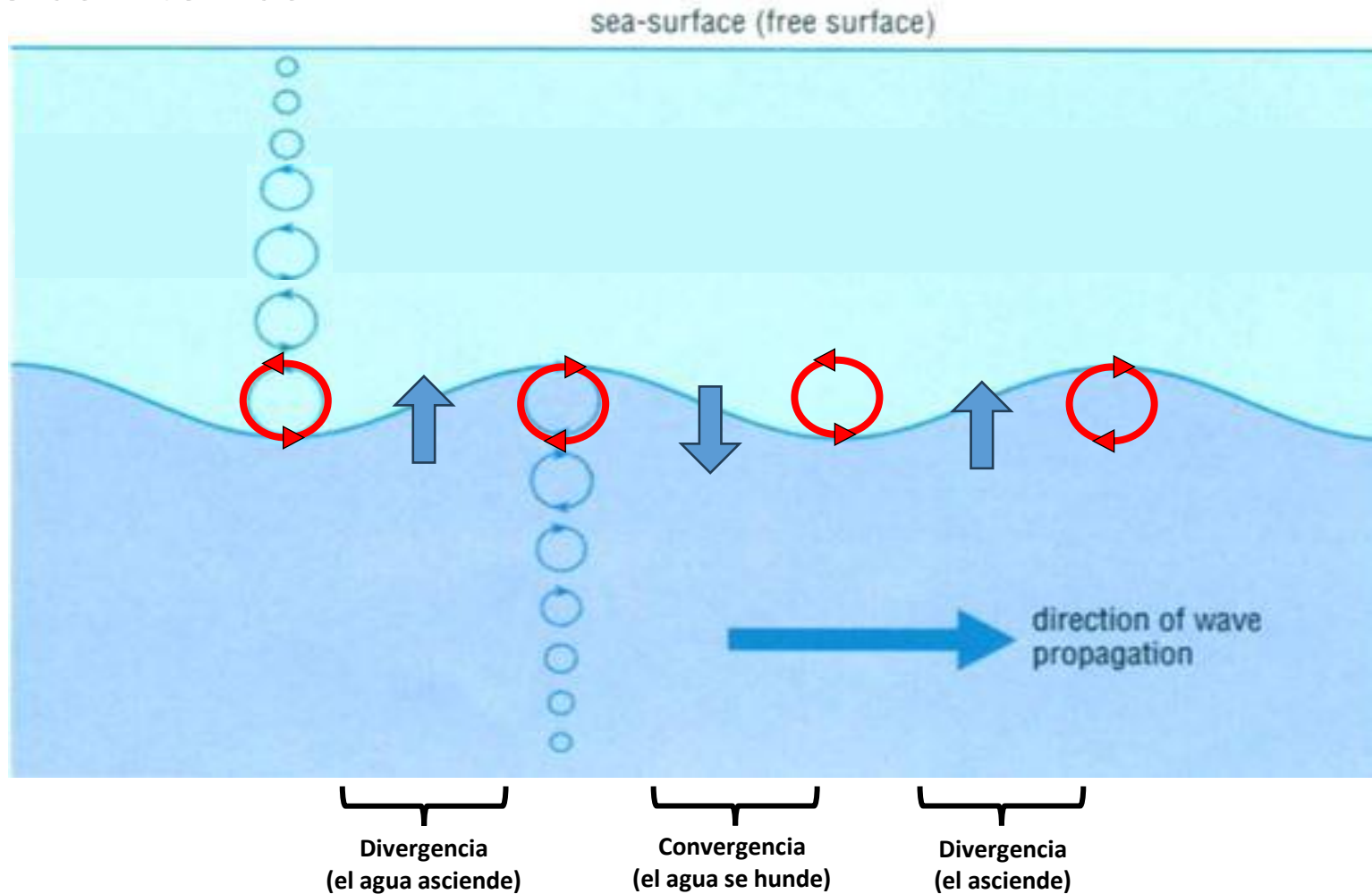
Pueden ser originadas por fuerzas de marea que interactúan con la topografía (crestas submarinas, plataforma continental, etc...), por el viento, por fluctuaciones de presión, o incluso por barcos (“[agua muerta](#)”).



Las **olas internas** ocurren en la **interfase** entre dos capas con distintas **densidades** (“**picnoclina**”), p.e. por diferencias en  $T^{\circ}$  o salinidad.

## d) Mareas y olas internas

### Olas internas

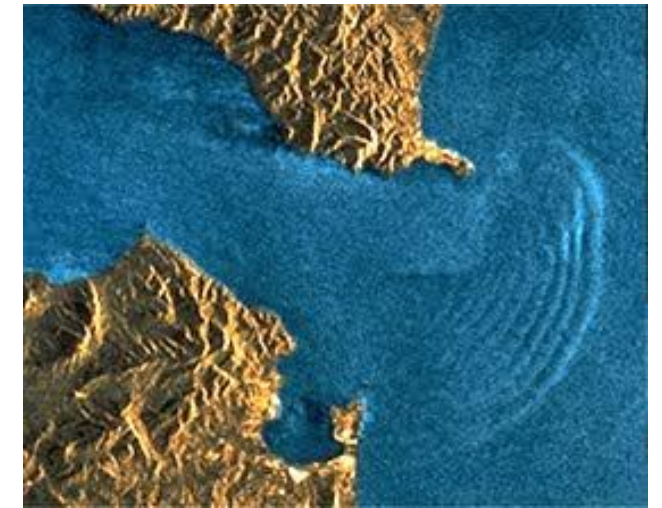
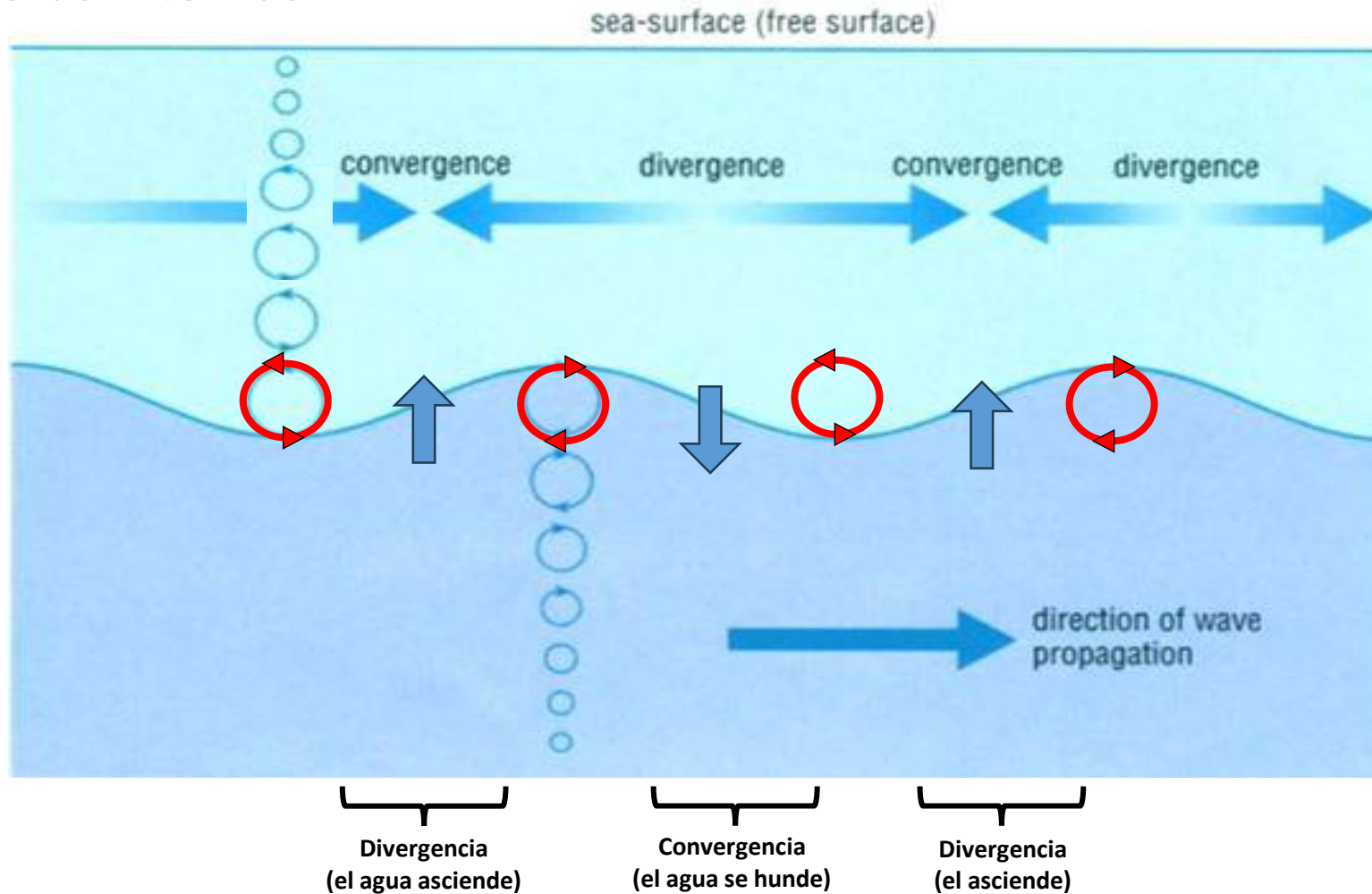


*Pueden detectarse por satélite porque incrementan la rugosidad de la superficie donde el flujo horizontal converge e incrementa el reflejo de la luz solar.*

Procesos de **convergencia/divergencia** son responsables del movimiento de estas olas.

## d) Mareas y olas internas

### Olas internas



*Pueden detectarse por satélite porque incrementan la rugosidad de la superficie donde el flujo horizontal converge e incrementa el reflejo de la luz solar.*

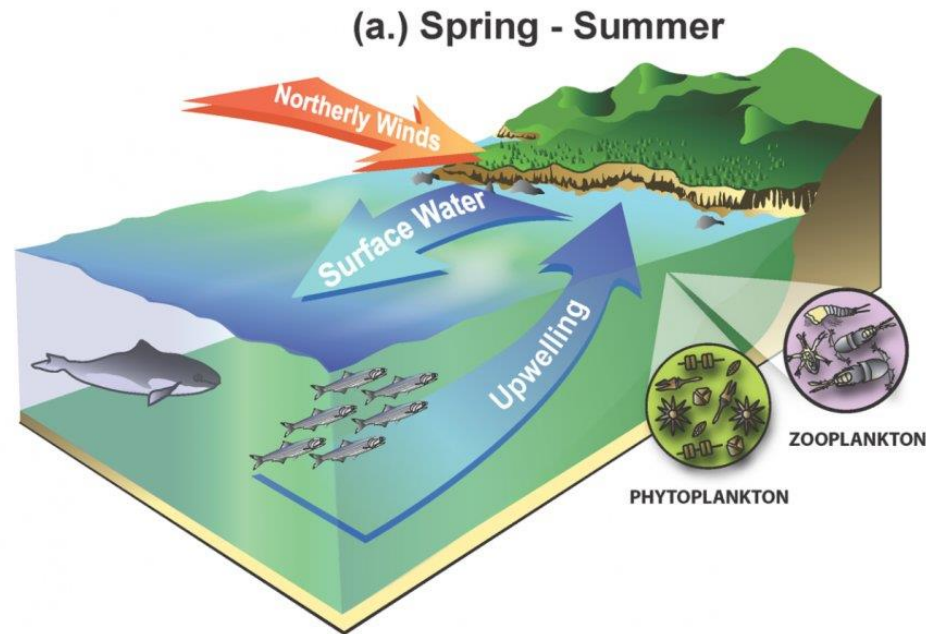
Donde hay **divergencia** en la capa inferior habrá **convergencia** en la capa superior.



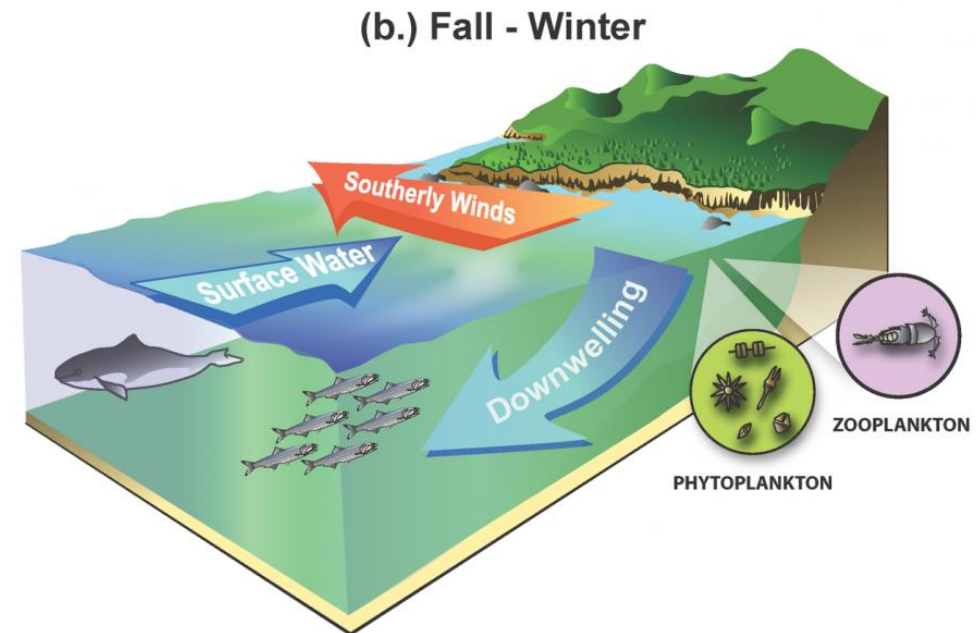
## d) Afloramientos costeros y giros

### Afloramientos costeros

Las surgencias (“upwelling”) y hundimientos (“downwelling”) también pueden ocurrir a lo largo de las costas. Cuando esto suceden hablamos de **afloramientos** y **hundimientos costeros**.



El agua superficial se aleja de la costa.



El agua superficial se acerca a la costa.

<https://oregonconservationstrategy.org/oregon-nearshore-strategy/habitats/>

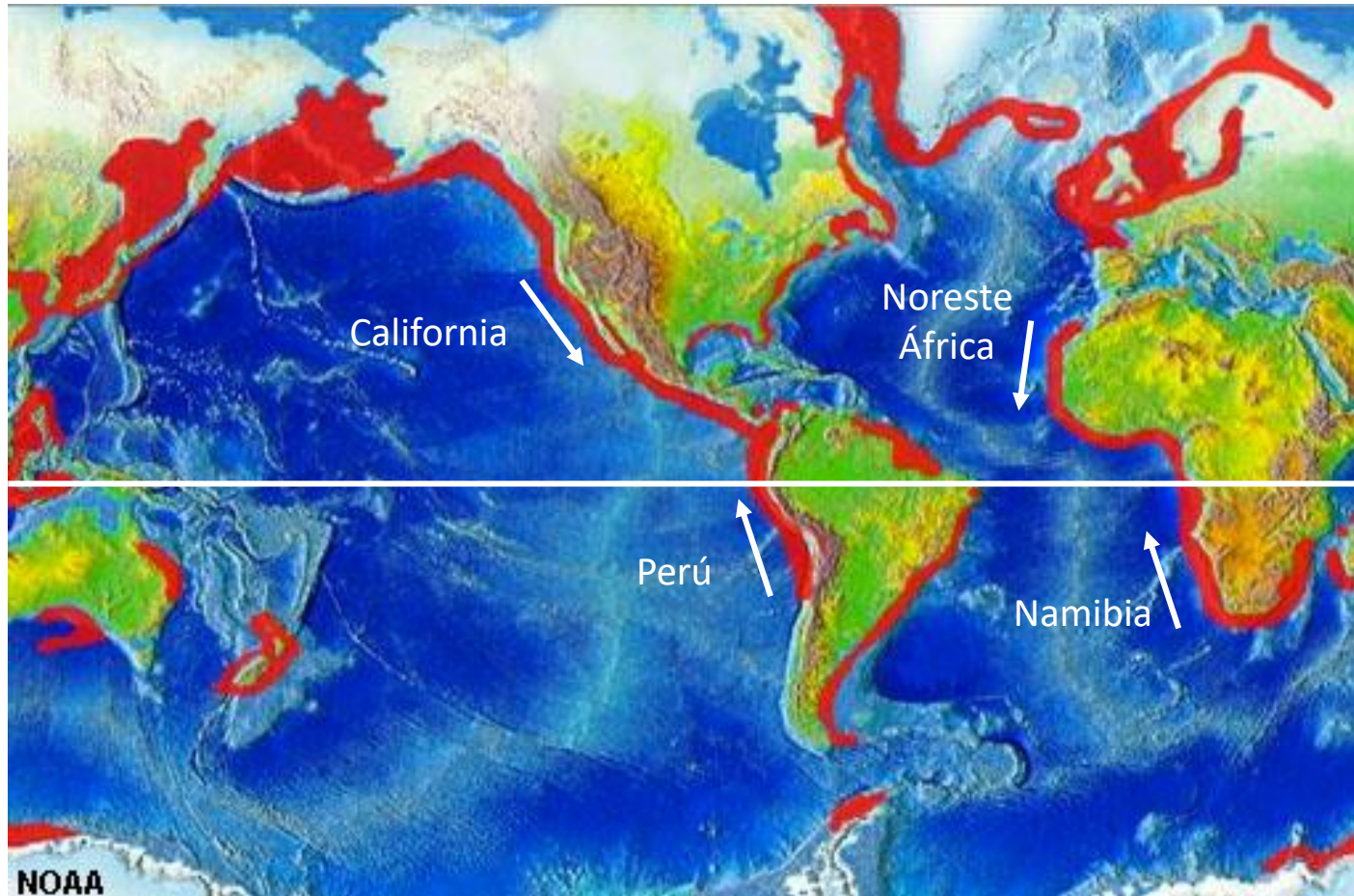
*\*Hemisferio norte.*



## d) Afloramientos costeros y giros

---

### Principales zonas de afloramiento costero



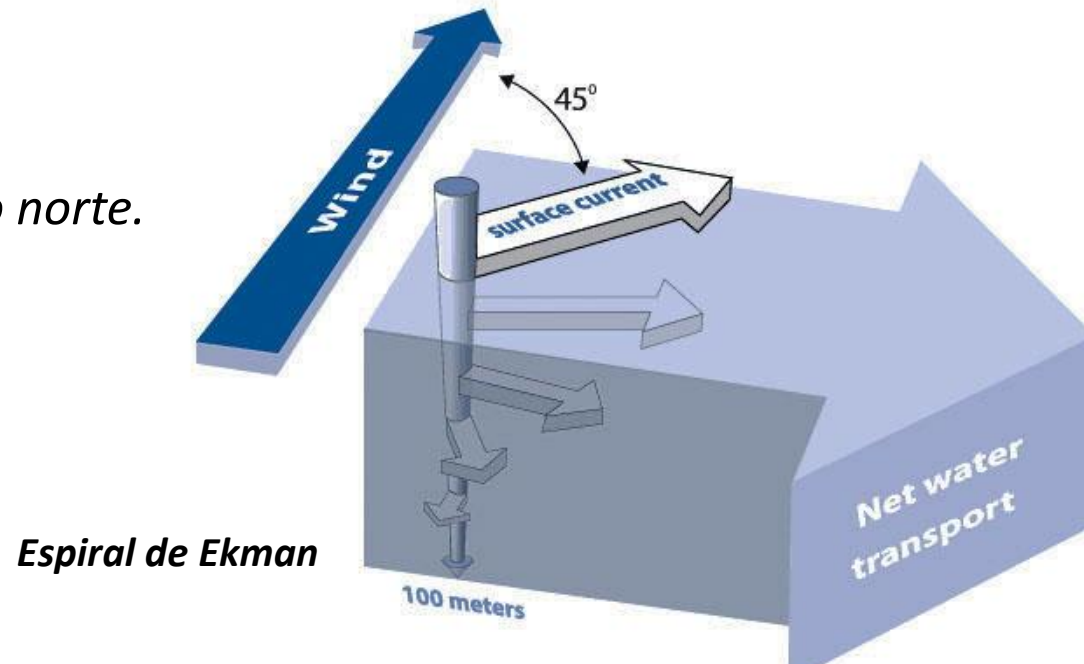
*Las flechas blancas representan la dirección de los vientos predominantes.*

## d) Afloramientos costeros y giros

### Espiral y transporte de Ekman

El origen de los afloramientos costeros está en el **transporte de Ekman**.

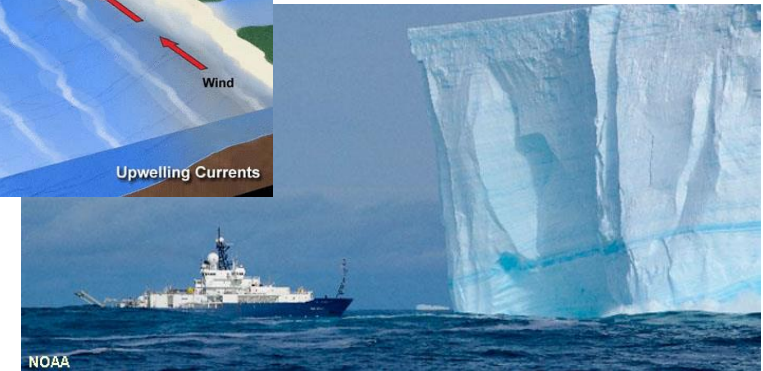
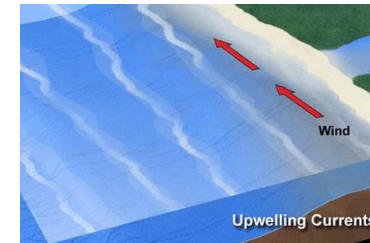
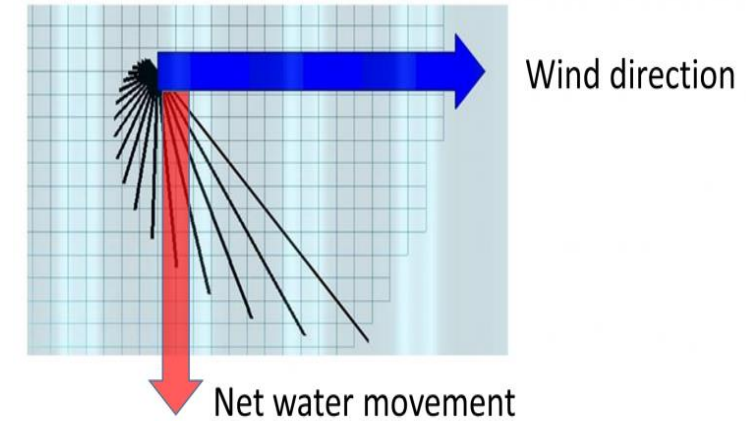
*\*Hemisferio norte.*



*Espiral de Ekman*

El agua superficial se desvía **45°** con respecto a la dirección del viento. Esta capa mueve a la inferior, que también se desviará 45° con respecto a ella. En cada transición se pierde energía. La suma de las magnitudes y direcciones de todas las capas hace que el **movimiento neto** ("*Transporte de Ekman*") sea de **90°**.

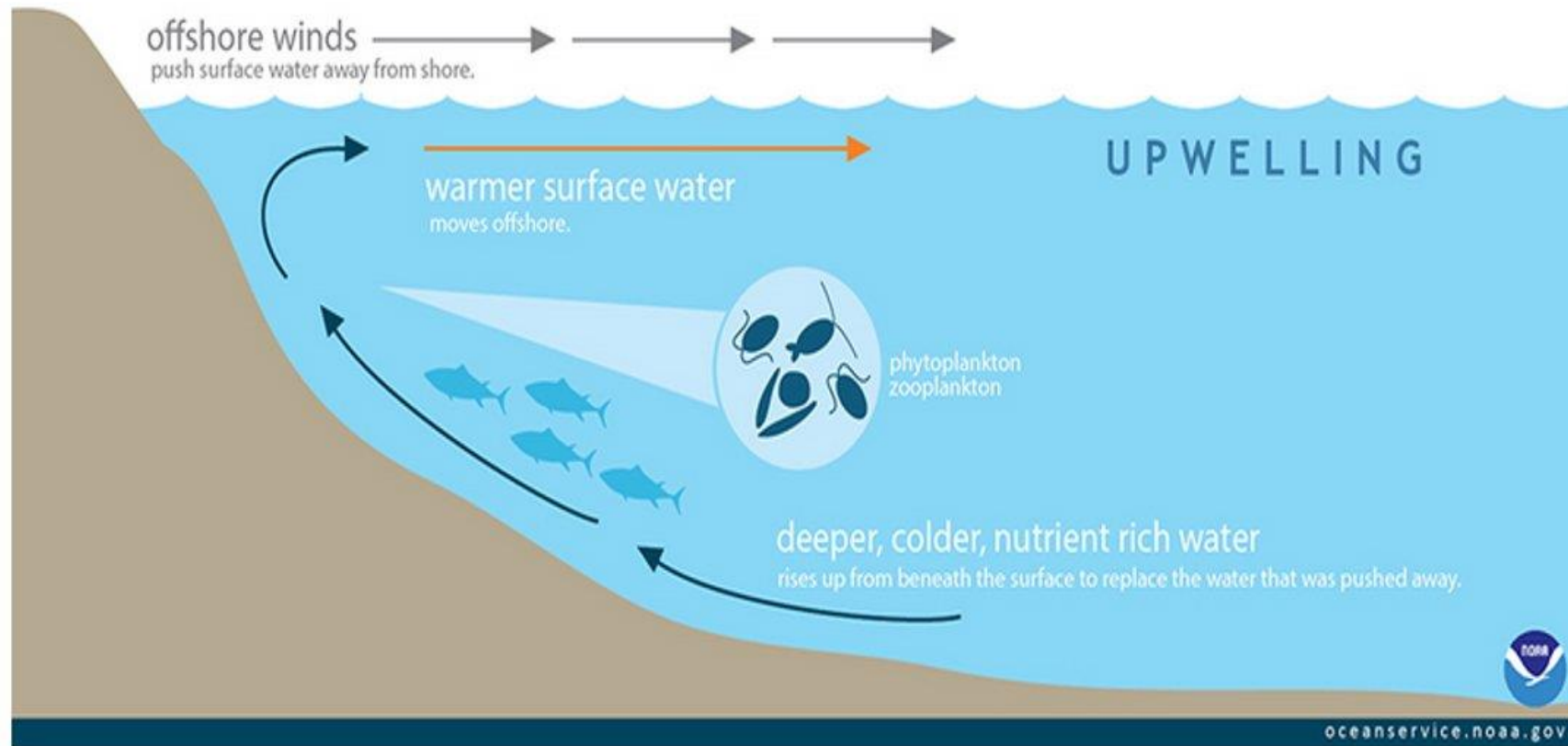
*Espiral de Ekman (desde arriba).*



*Los icebergs no se mueven en la misma dirección del viento.*

## d) Afloramientos costeros y giros

### Formación de un afloramiento costero

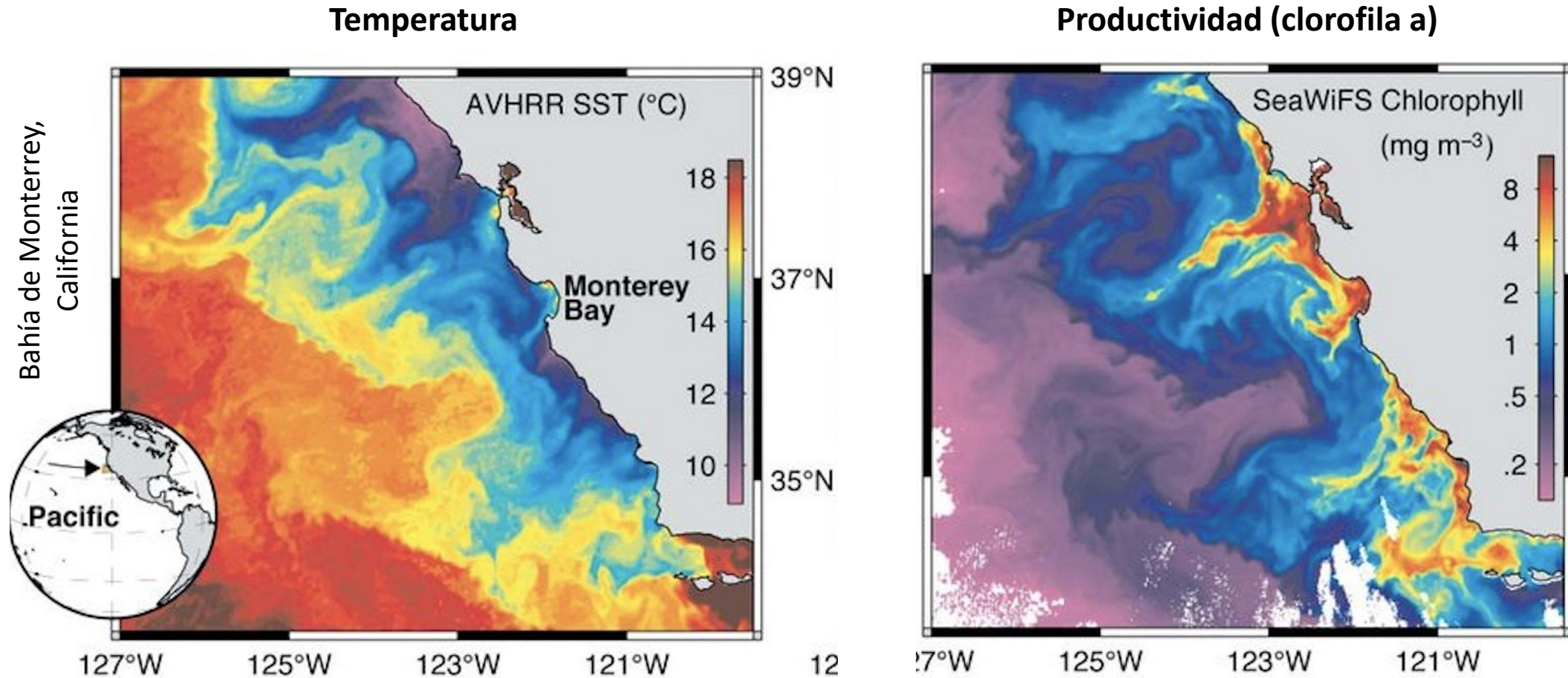


This graphic shows how displaced surface waters are replaced by cold, nutrient-rich water that “wells up” from below.



## d) Afloramientos costeros y giros

¿Cómo detectar un afloramiento desde el espacio?



*Ryan et al., 2005. Mar Ecol Prog Ser*



## d) Afloramientos costeros y giros

### Otros tipos de afloramientos

a. Transporte de Ekman

b. Vientos dirección aguas adentro.

c. Corrientes divergentes

d. Masas de agua con diferentes densidades.



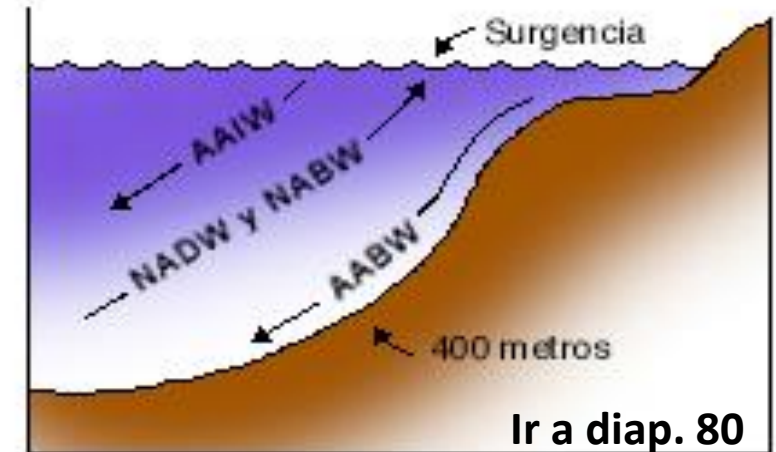
a) TRANSPORTE DE EKMAN



b) VIENTOS CONTINENTALES



c) OCEANO ABIERTO



d) POR DIFERENCIAS DE DENSIDAD

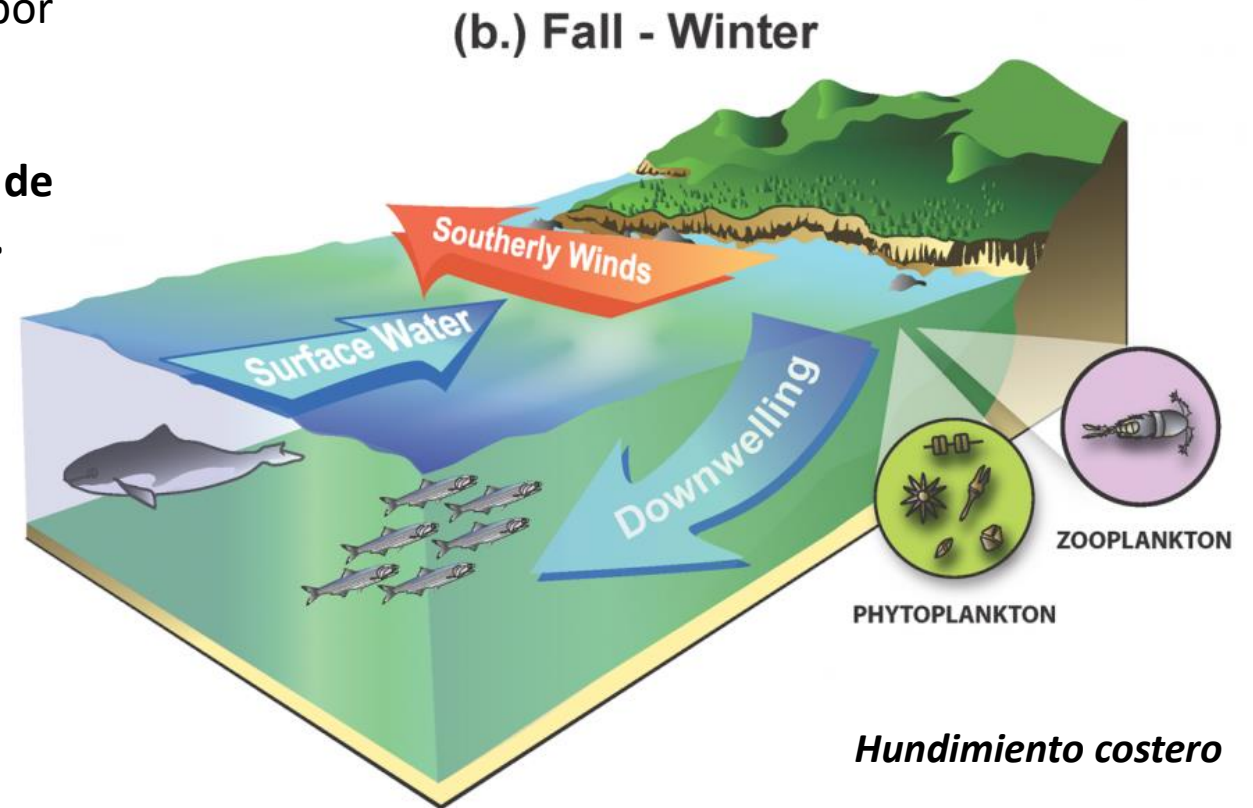
## d) Afloramientos costeros y giros

### Hundimiento costero (“downwelling”)

Los procesos de **hundimiento** siguen los mismos patrones que los afloramientos, pero son creados por vientos en dirección opuesta.

El **hundimiento** del agua superficial crea **zonas de baja productividad, cálidas y pobres en nutrientes.**

*\*Hemisferio norte.*

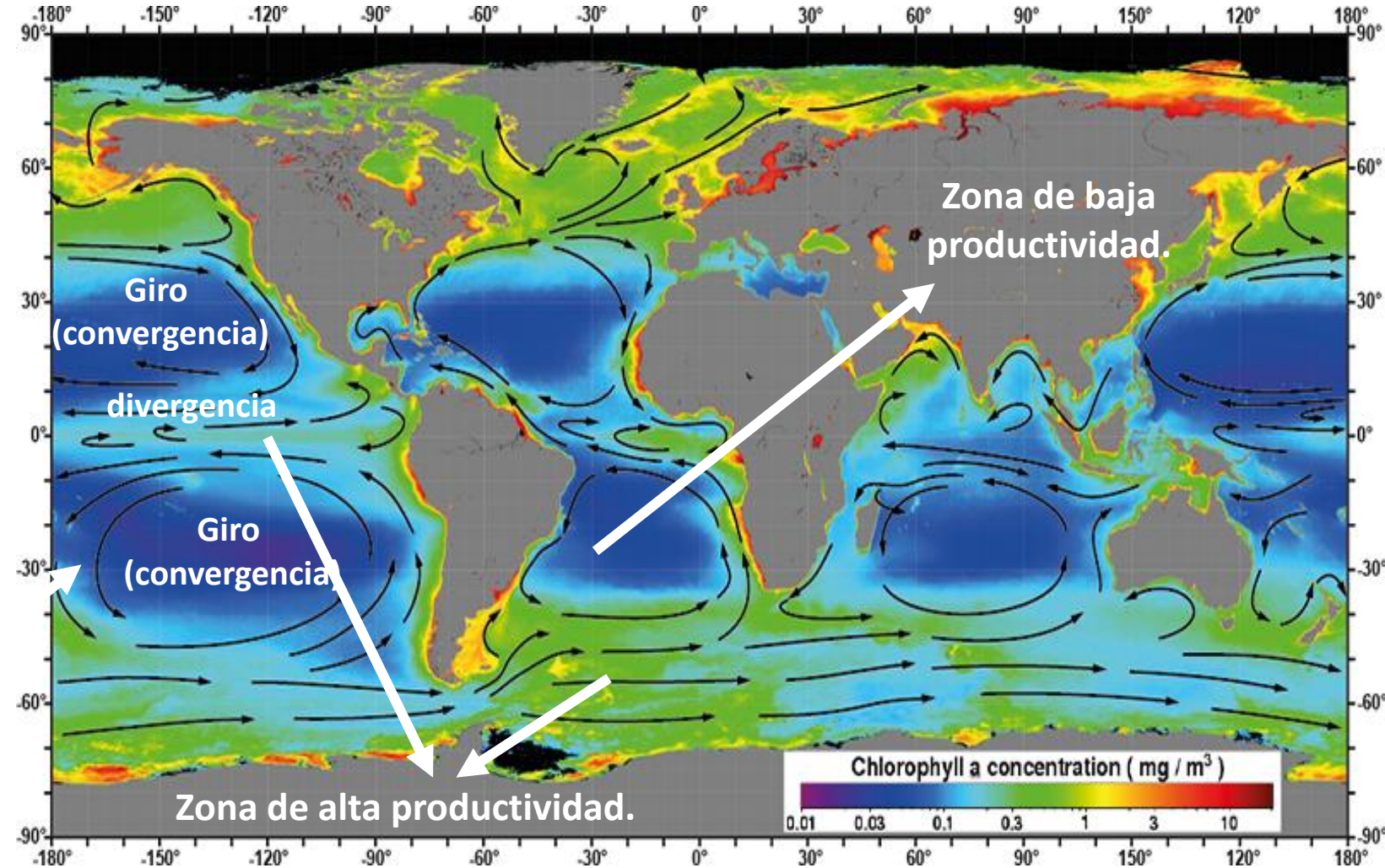


## d) Giros y remolinos

### Giros

Los **giros** son creados por la convergencia de las principales corrientes superficiales.

Representan zonas de **convergencia de corrientes** superficiales que tienen efecto de **hundimiento o sumersión de agua** superficial. Determinan zonas de **baja productividad**.

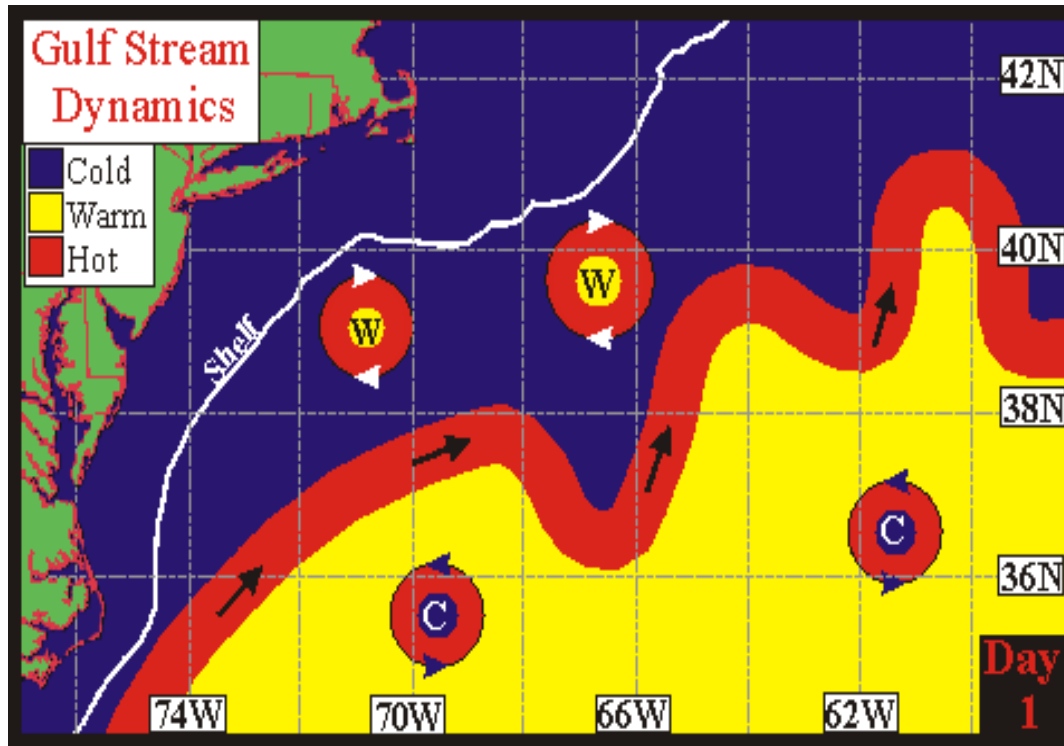




## d) Giros y remolinos

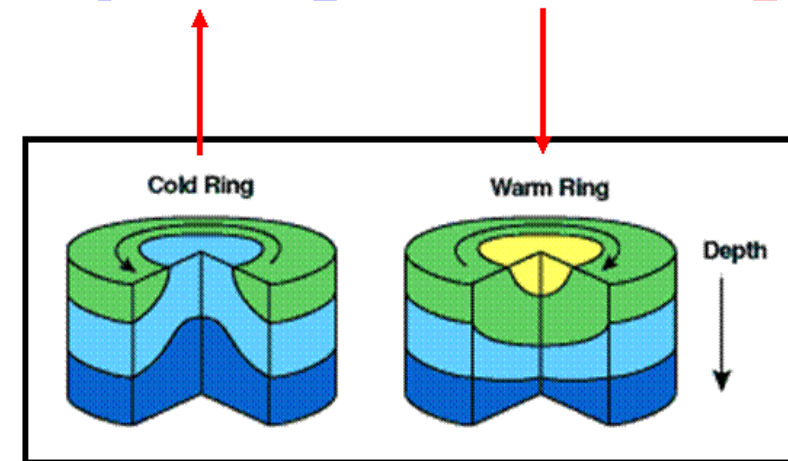
### Giros menores: remolinos o torbellinos

Los **anillos** se forman cuando el meandro de una fuerte corriente oceánica crea un bucle o “loop”, es decir una vuelta, que llega a cerrar el meandro, resultando en un sistema independiente.



Los anillos cálidos giran en el sentido horario, lo que provoca que el agua se hunda. Los fríos, lo contrario.

**Upwelling**      **Downwelling**



Los anillos fríos son zonas de **surgencia** mientras que los cálidos son zonas de **hundimiento**.



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

---

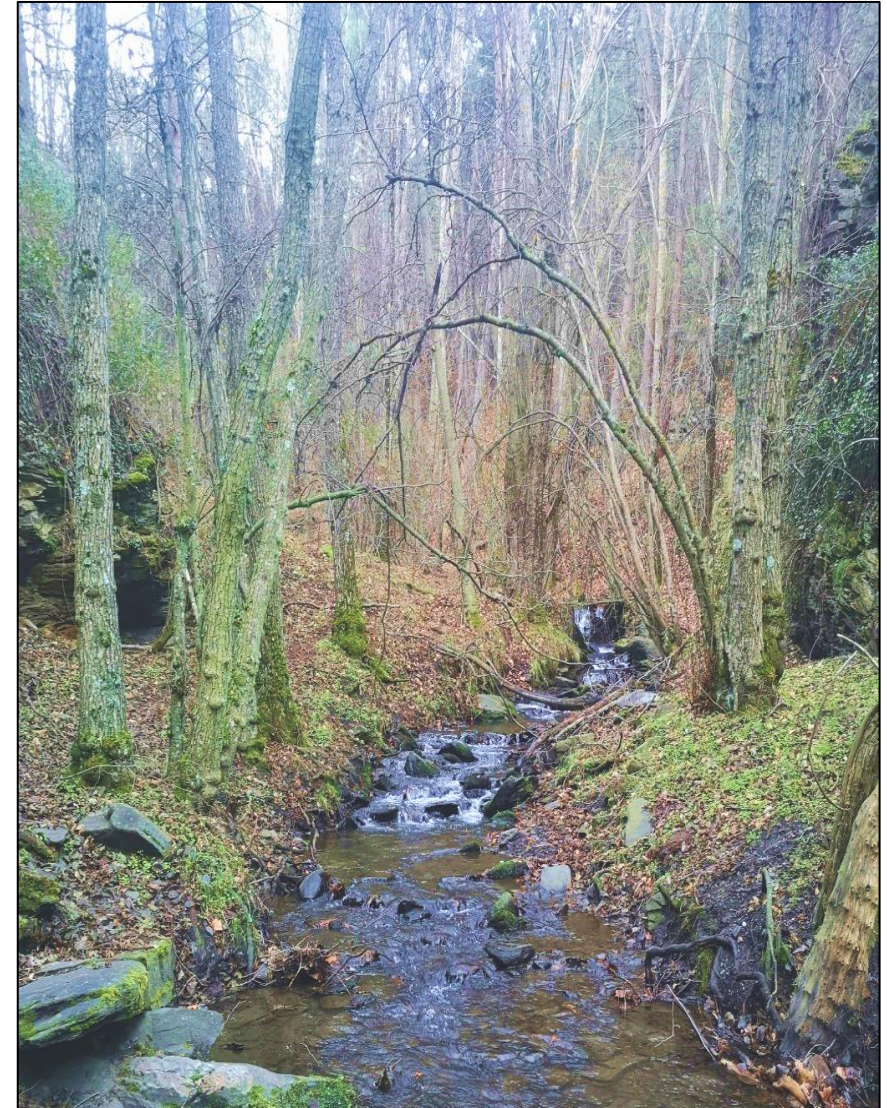
### Ríos

El **flujo** es el principal factor que distingue a ríos de lagos.

- La mezcla constante de los ríos elimina los **gradientes** verticales...  
**¿TODOS?**

*Sigue habiendo un gradiente de luz.*

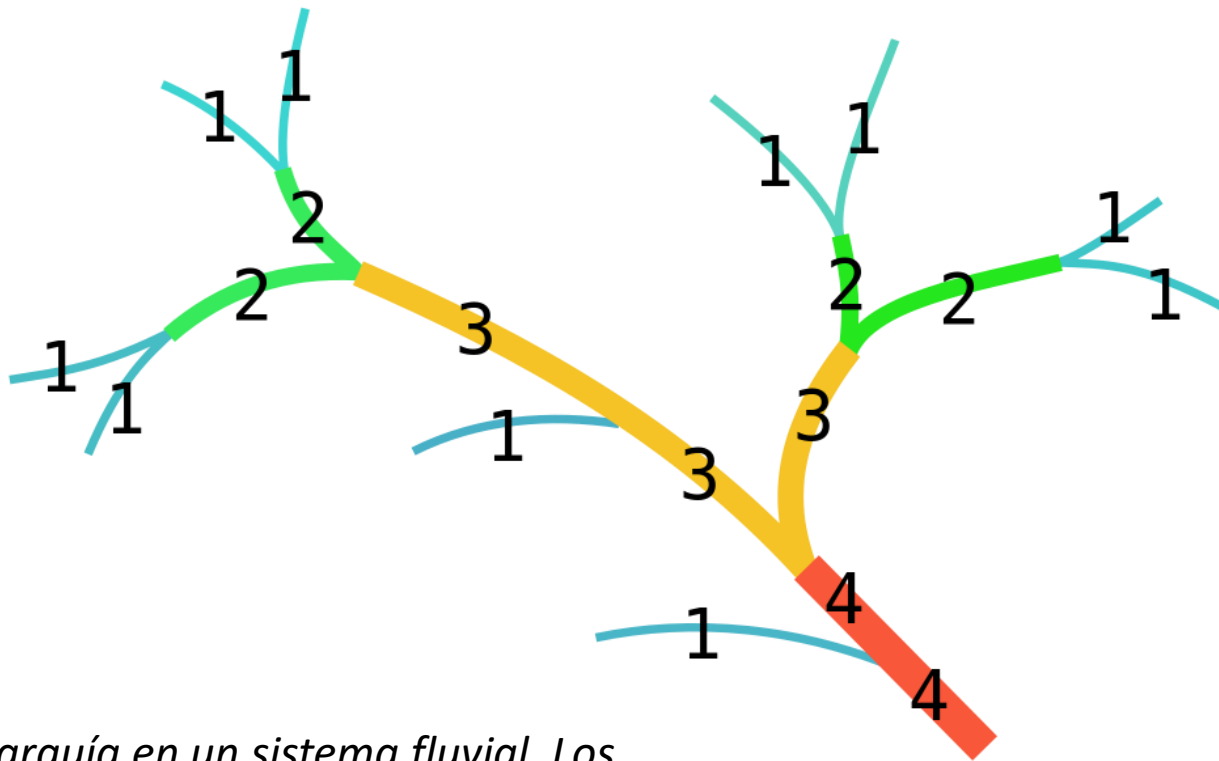
- Los **organismos** pequeños tienen que sujetarse.
- Los **nutrientes** y recursos no utilizados inmediatamente se pierden aguas abajo, sin embargo... Llegan continuamente nuevos desde aguas arriba.



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Clasificación de los ríos

Según sus afluentes...



*Jerarquía en un sistema fluvial. Los números indican el "orden" del río.*

Los ríos se suelen clasificar según su posición con respecto a sus afluentes (nº de Strahler).

Un río de **primer orden** es un río de cabecera que no tiene afluentes. Cuando dos ríos de cabecera se unen, forman uno de **segundo orden**. La unión de dos ríos de segundo orden da lugar a uno de **tercer orden**, etc.

El río más largo del mundo, el Amazonas, se considera de orden 12.

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

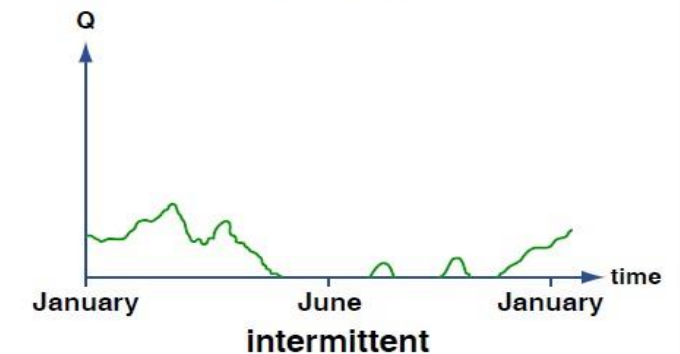
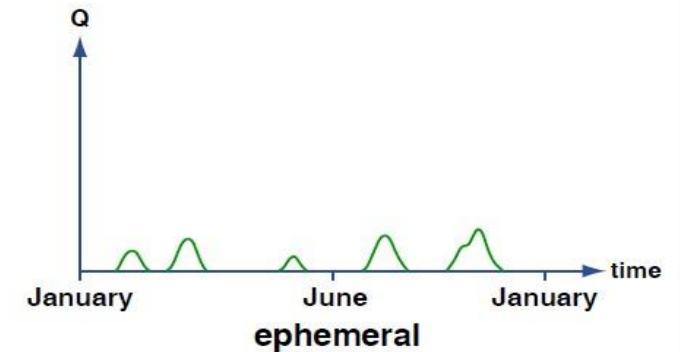
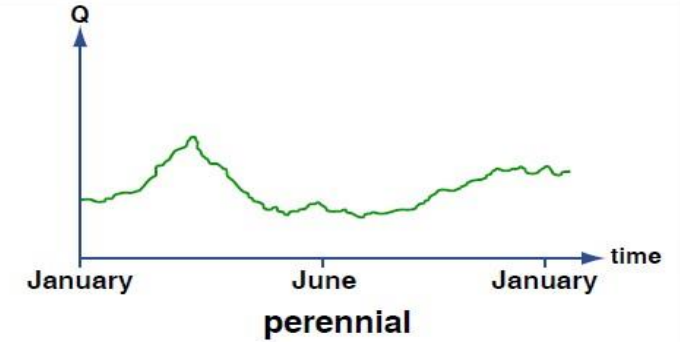
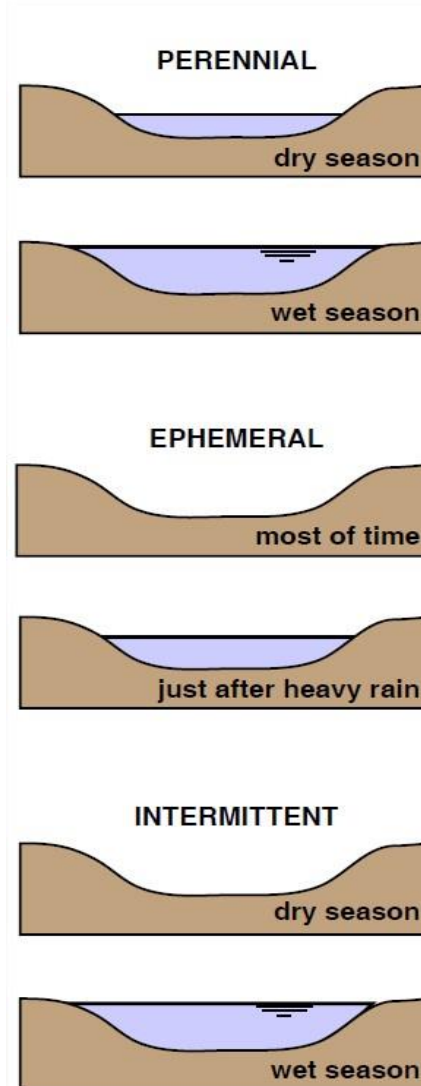
### Clasificación de los ríos

Según su **caudal** a lo largo del año...

**Permanentes**, tienen agua durante todo el año.

**Efímeros**, tiene agua sólo durante e inmediatamente después de un episodio de precipitaciones.

**Intermitentes**, tienen agua en la estación húmeda.



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Velocidad

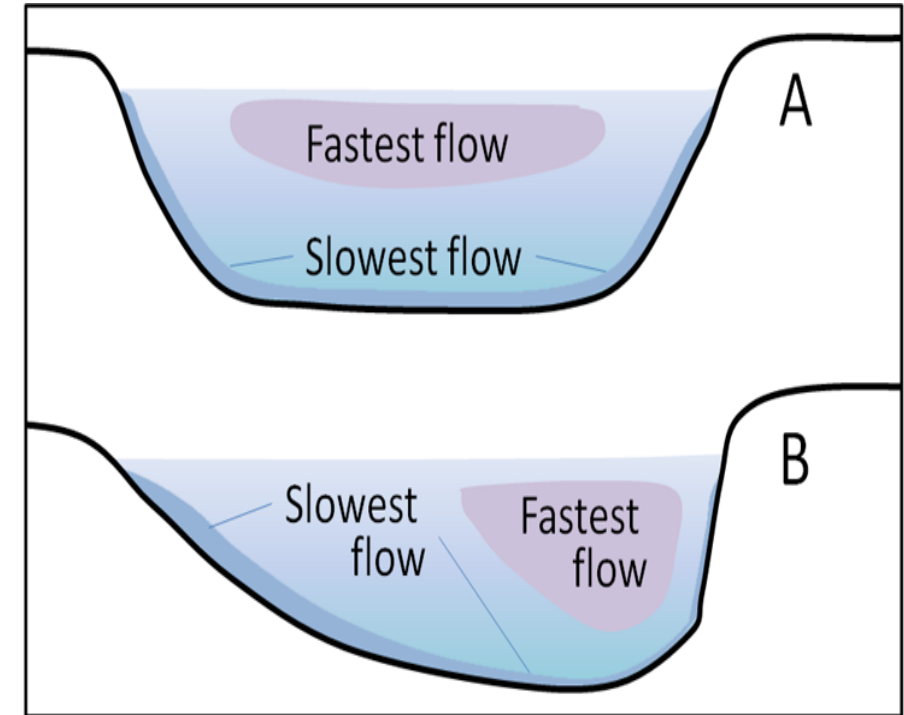
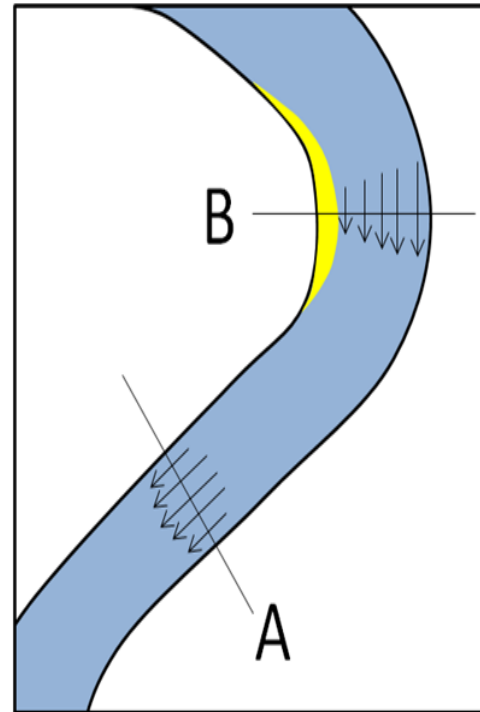
Distancia que viaja el agua del río por unidad de tiempo.

**Tramos altos >> tramos bajos.**

Cambia con la pendiente, la rugosidad del fondo y la forma y profundidad del cauce.

Una misma sección puede ser lenta en una parte, y tener rápidos contiguamente.

El mismo tramo puede tener distintas velocidades en distintos puntos de su corte transversal.





## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

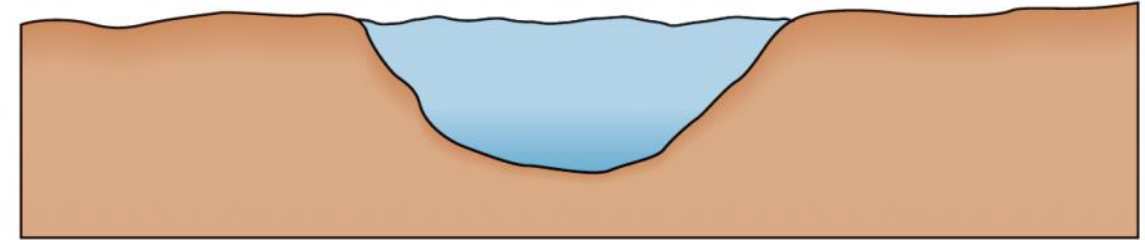
#### Velocidad

La **forma del cauce** y la **rugosidad del fondo** influyen en la velocidad del río.

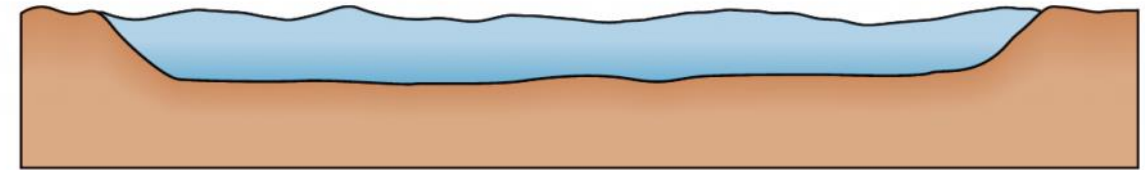
**A.** El cauce semicircular permite al río fluir rápidamente.

**B.** Cauces anchos y poco profundos aumentan la fricción, ralentizando el flujo del río.

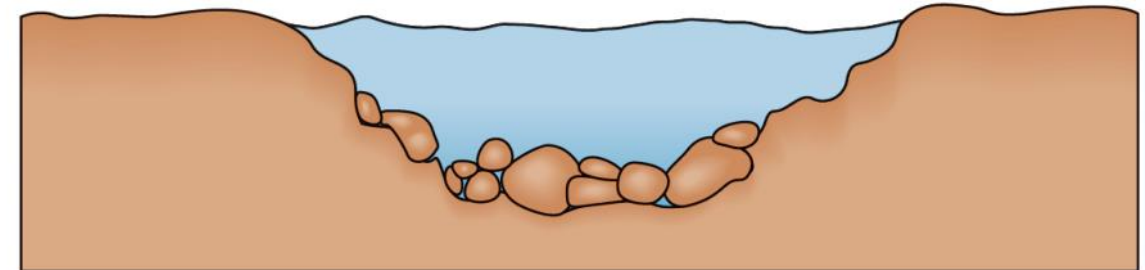
**C.** Cauces con fondos rugosos, y llenos de rocas ralentizan el flujo del río.



A



B



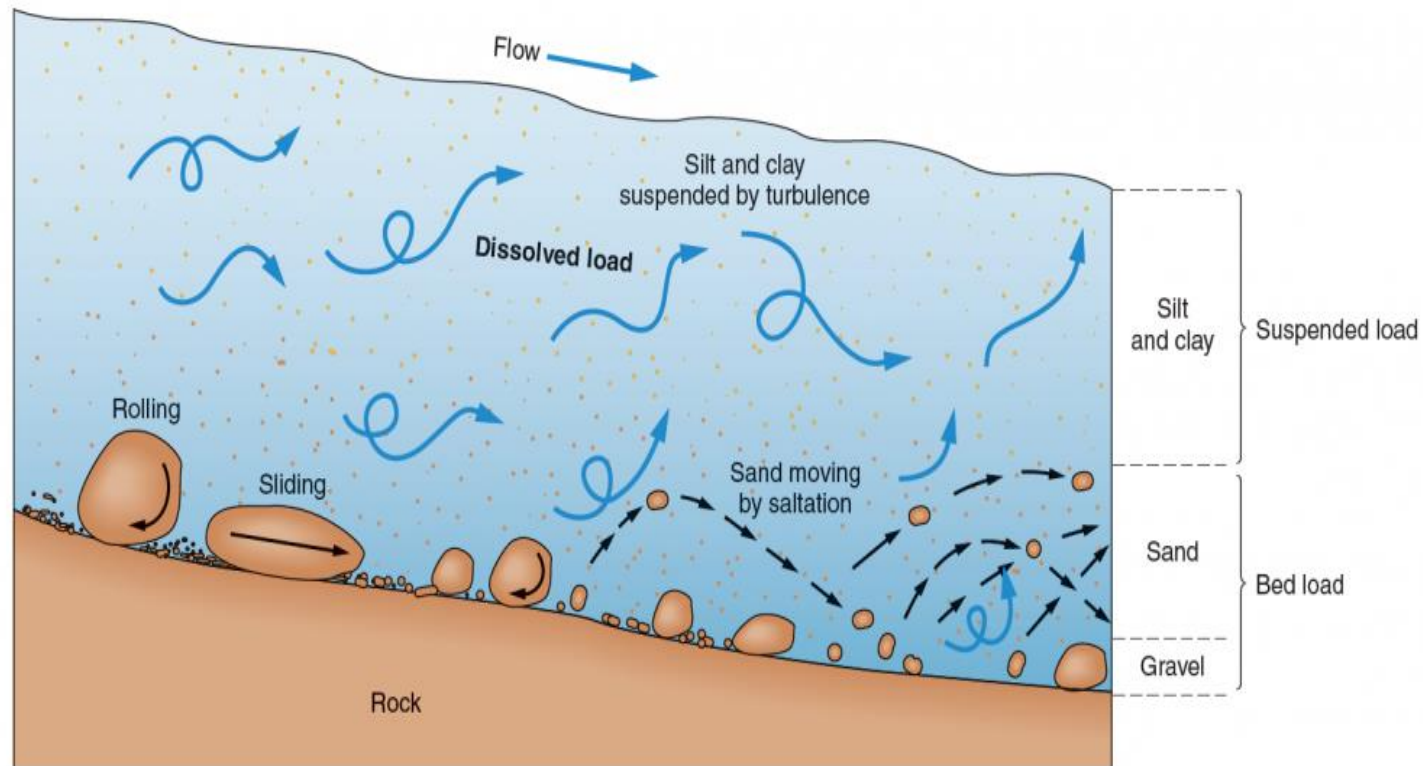
C

*La velocidad del agua disminuye con la fricción a lo largo del lecho del río, por lo que es más lenta en el fondo y en los bordes, y más rápida cerca de la superficie y en el centro.*

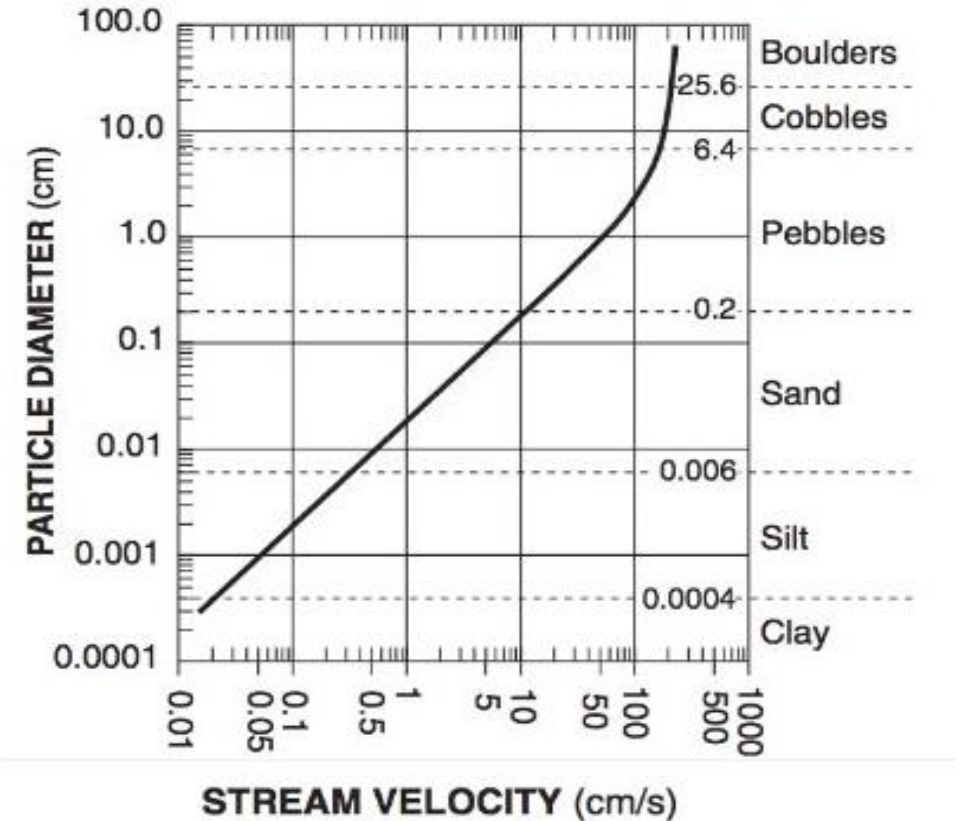
## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento



Relationship of Transported Particle Size to Water Velocity

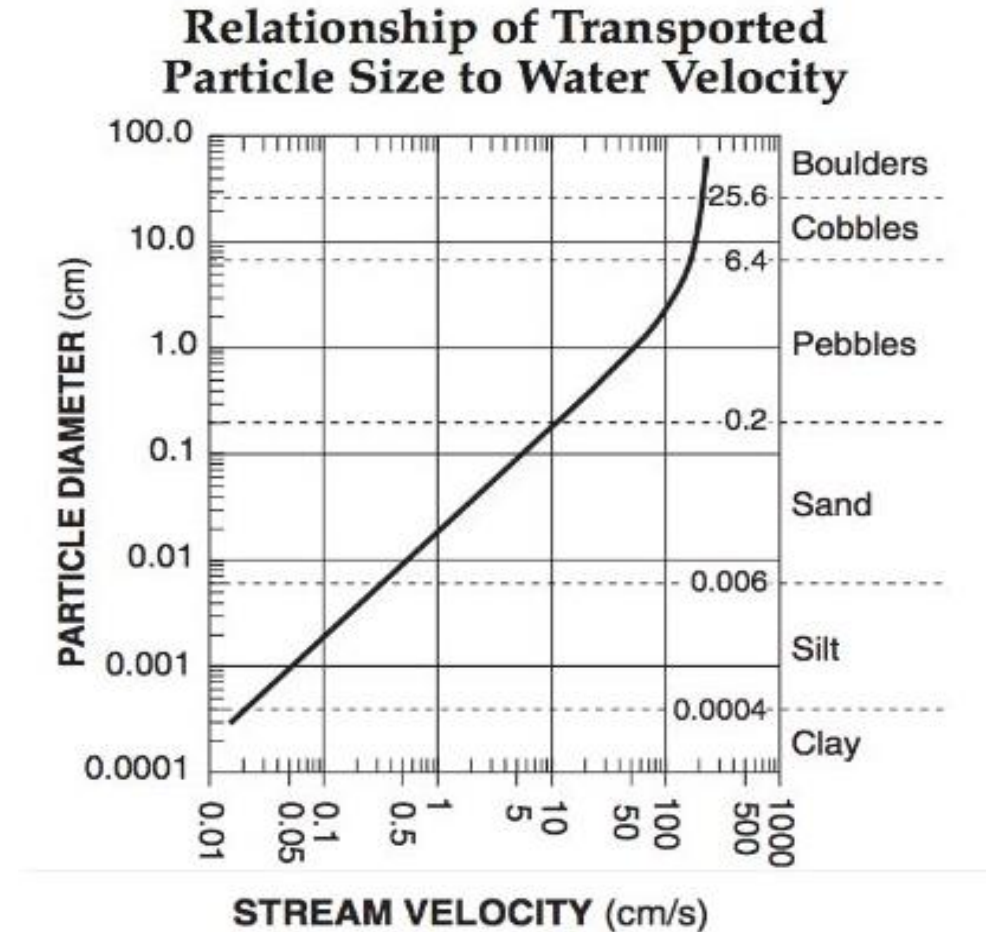


## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

Velocidad (cm/s)	Tipo de lecho del río
3-20	Limo
20-40	Arena fina
40-60	Arena gruesa – gravilla fina
60-120	Piedras pequeñas
120-200	Piedras grandes



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

La relación entre el tamaño de las partículas y la probabilidad de ser erosionados, transportados o depositados no es lineal.

Ej. Una partícula de arena de 1 mm, necesita una velocidad de 20 cm/s para ser erosionada, y se mantendrá en suspensión hasta que la velocidad no caiga por debajo de 10 cm/s.

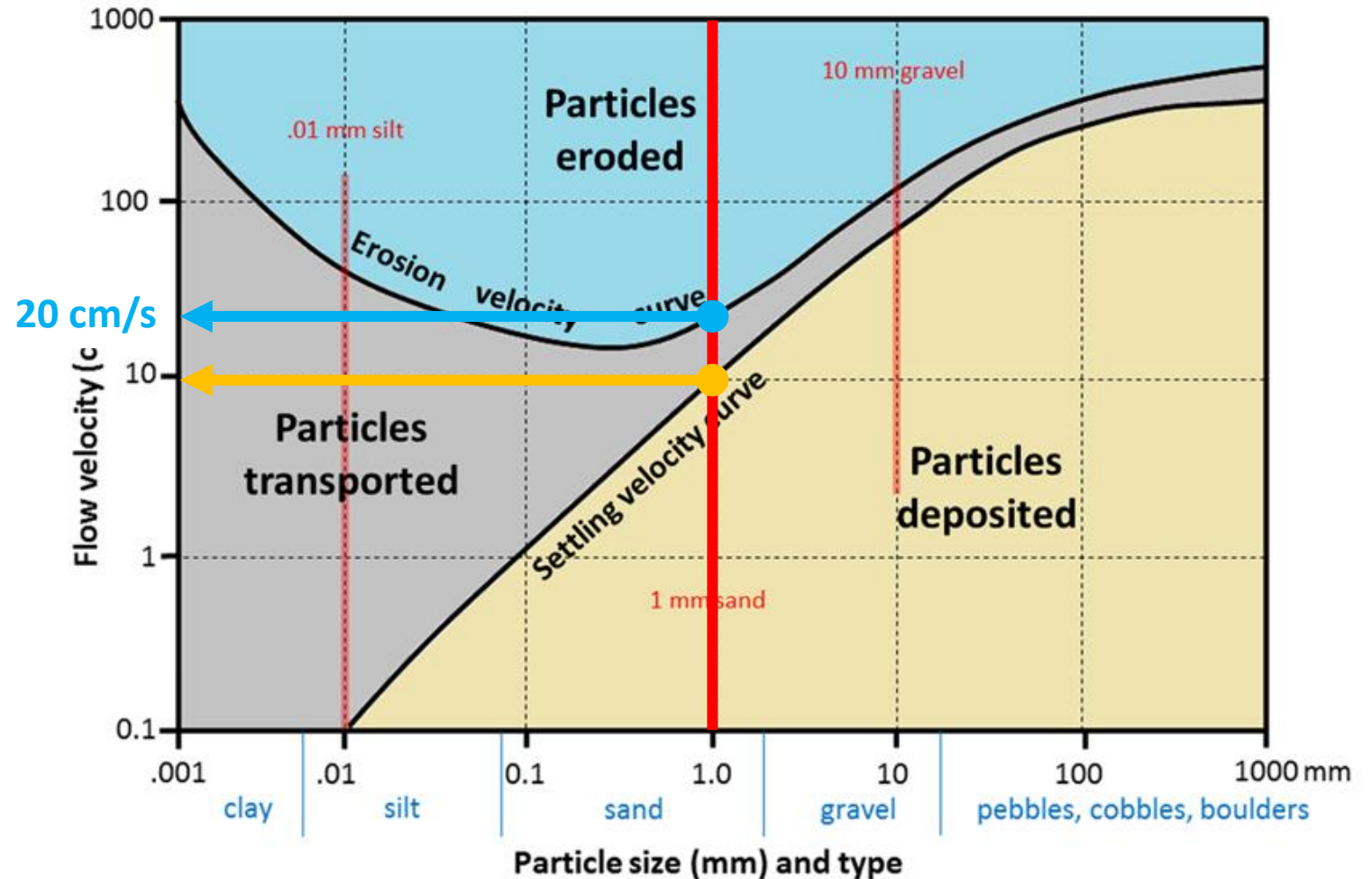


Diagrama de Hjulström-Sundborg. Muestra las relaciones entre el tamaño de las partículas y la tendencia a ser erosionadas, transportadas o depositadas a diferentes velocidades actuales.



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

La relación entre el tamaño de las partículas y la probabilidad de ser erosionadas, transportadas o depositadas no es lineal.

Ej. Una partícula de grava de 10 mm, necesita una velocidad de 105 cm/s para ser erosionada, y se mantendrá en suspensión hasta que la velocidad no caiga por debajo de 80 cm/s.

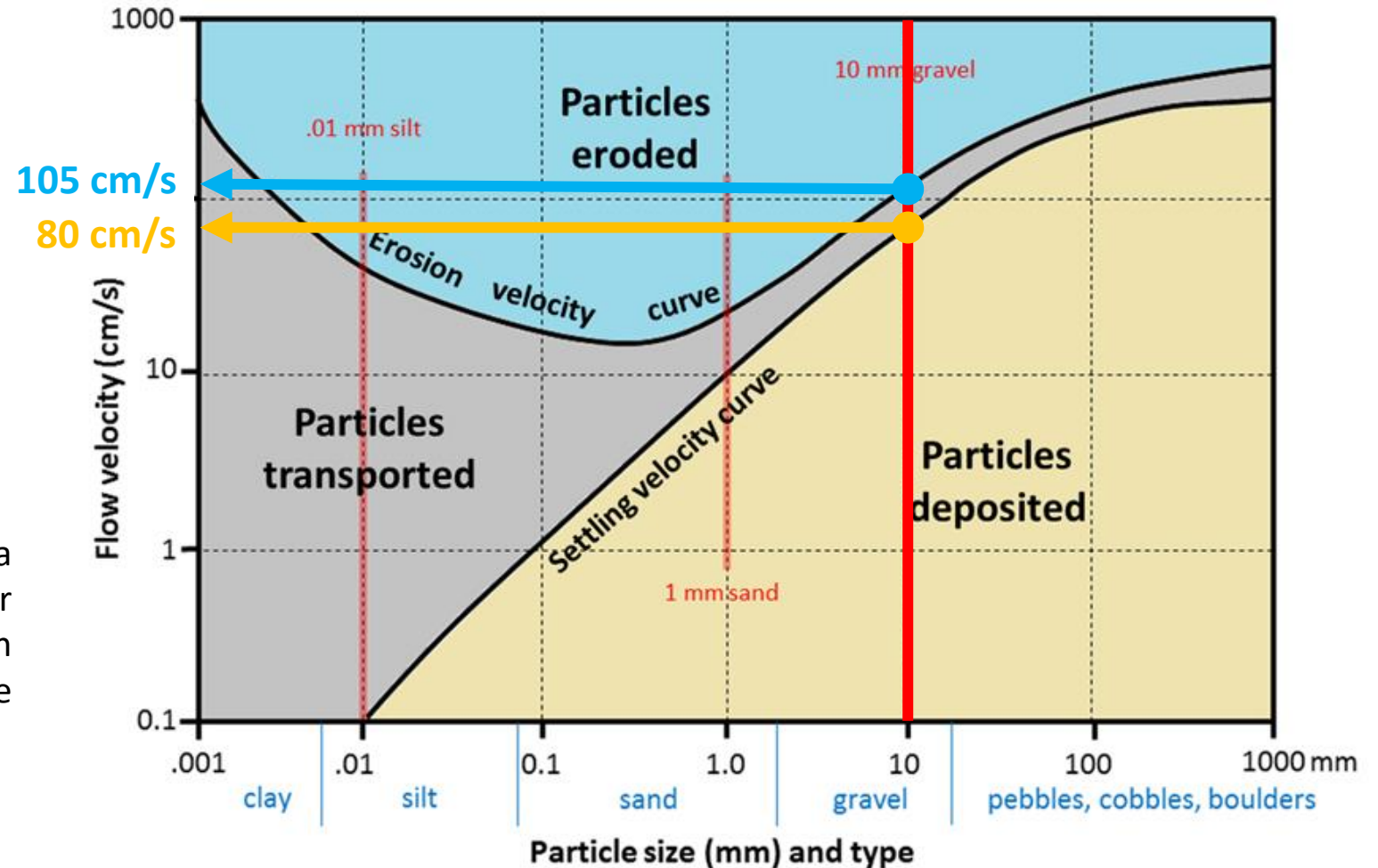


Diagrama de Hjulström-Sundborg. Muestra las relaciones entre el tamaño de las partículas y la tendencia a ser erosionadas, transportadas o depositadas a diferentes velocidades actuales.

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

La relación entre el tamaño de las partículas y la probabilidad de ser erosionadas, transportadas o depositadas no es lineal.

Ej. Una partícula de grava de 0.01 mm, necesita una velocidad de 60 cm/s para ser erosionada, y se mantendrá en suspensión hasta que la velocidad no caiga por debajo de 0.1 cm/s.

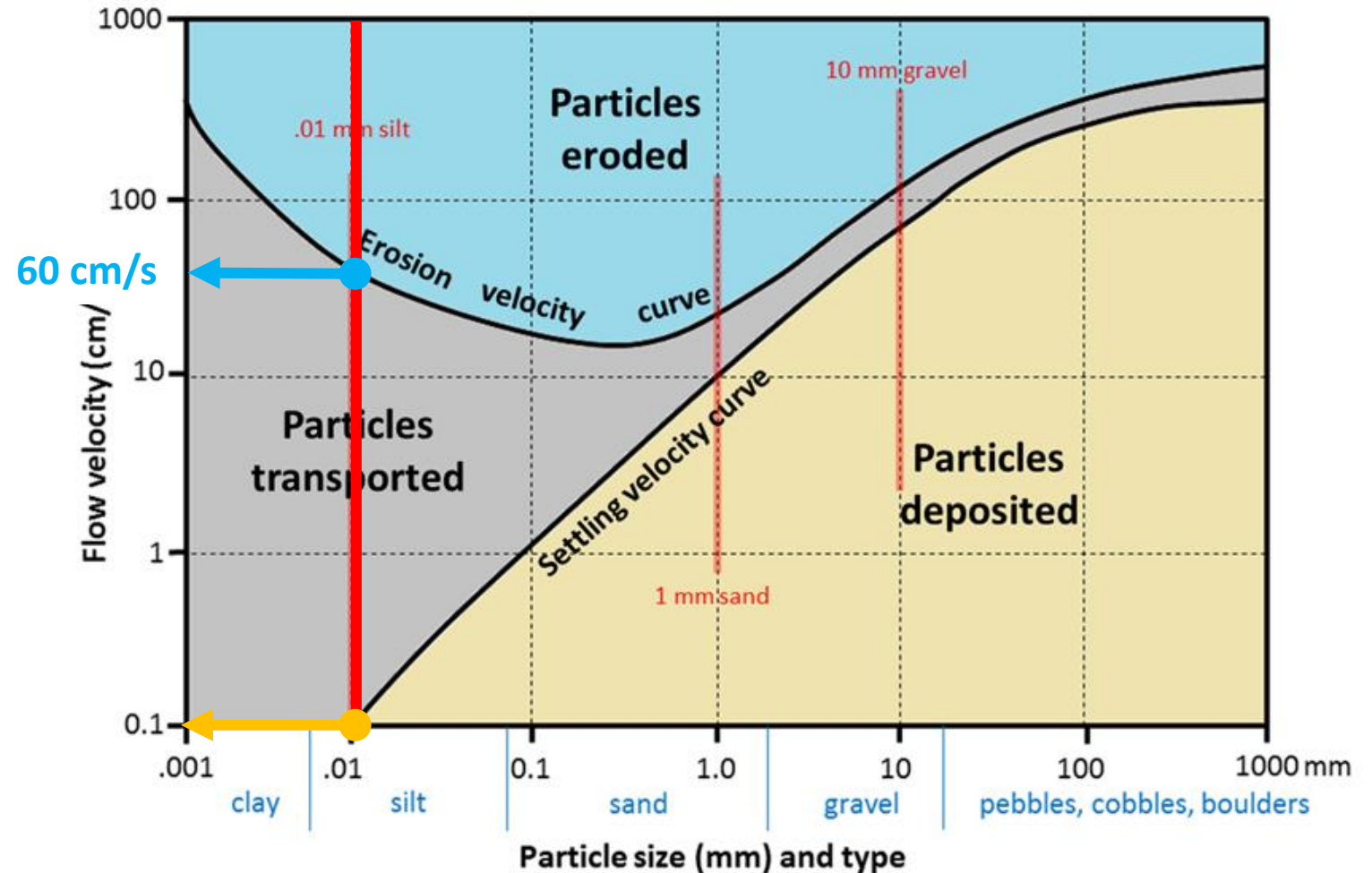


Diagrama de Hjulström-Sundborg. Muestra las relaciones entre el tamaño de las partículas y la tendencia a ser erosionadas, transportadas o depositadas a diferentes velocidades actuales.

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

La relación entre el tamaño de las partículas y la probabilidad de ser erosionados, transportados o depositados no es lineal.

Se necesita más velocidad para erosionar una pequeña partícula de limo (0.01 mm) que un grano de arena 100 veces más grande (1mm)!!!

Un río puede **erosionar**, **transportar** y **depositar** sedimentos al mismo tiempo.

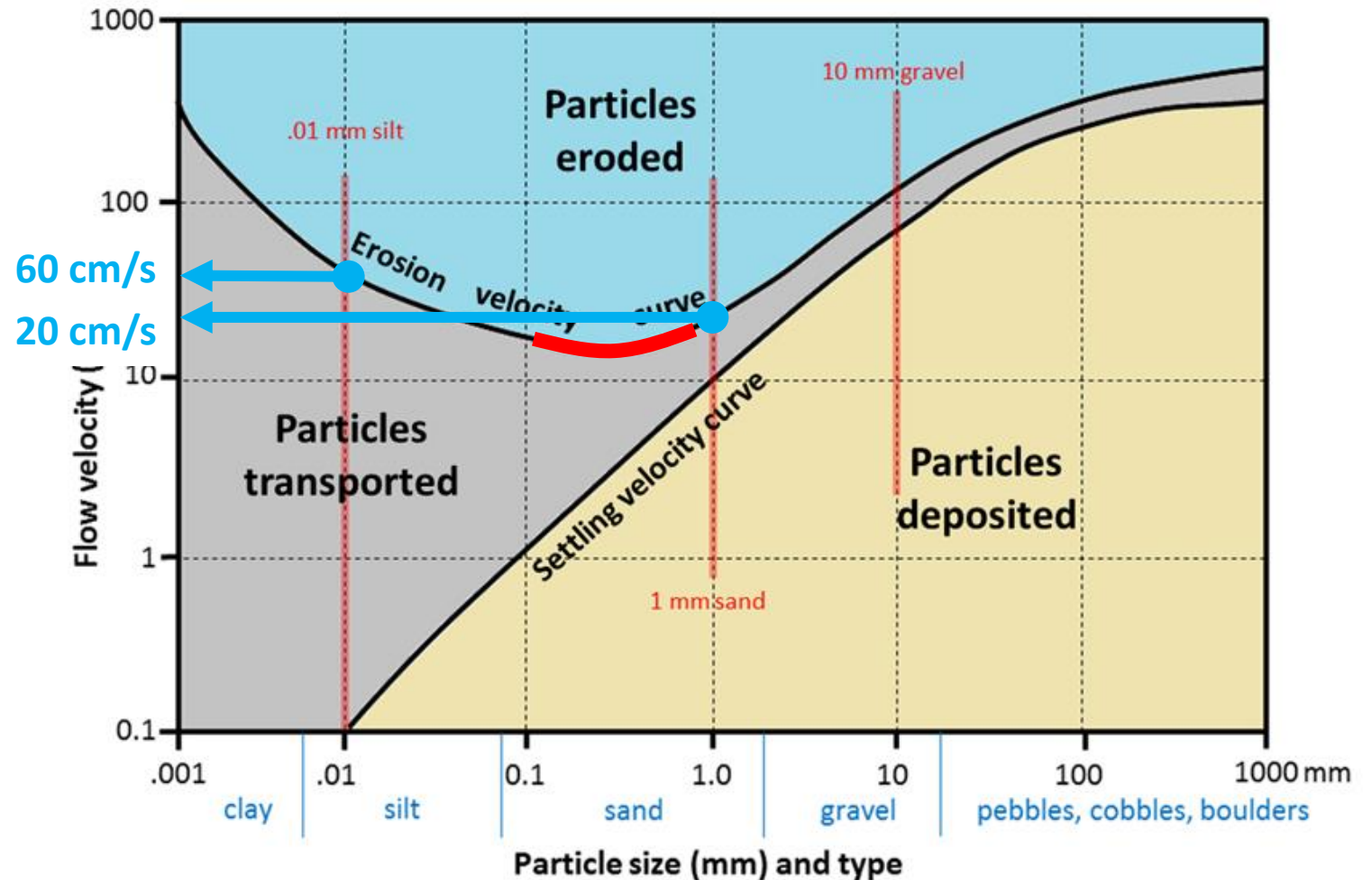


Diagrama de Hjulström-Sundborg. Muestra las relaciones entre el tamaño de las partículas y la tendencia a ser erosionadas, transportadas o depositadas a diferentes velocidades actuales.

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Transporte de sedimento

La relación entre el tamaño de las partículas y la probabilidad de ser erosionados, transportados o depositados no es lineal.

Se necesita más velocidad para erosionar una pequeña partícula de limo (0.01 mm) que un grano de arena 100 veces más grande (1mm)!!!

Un río puede **erosionar**, **transportar** y **depositar** sedimentos al mismo tiempo.

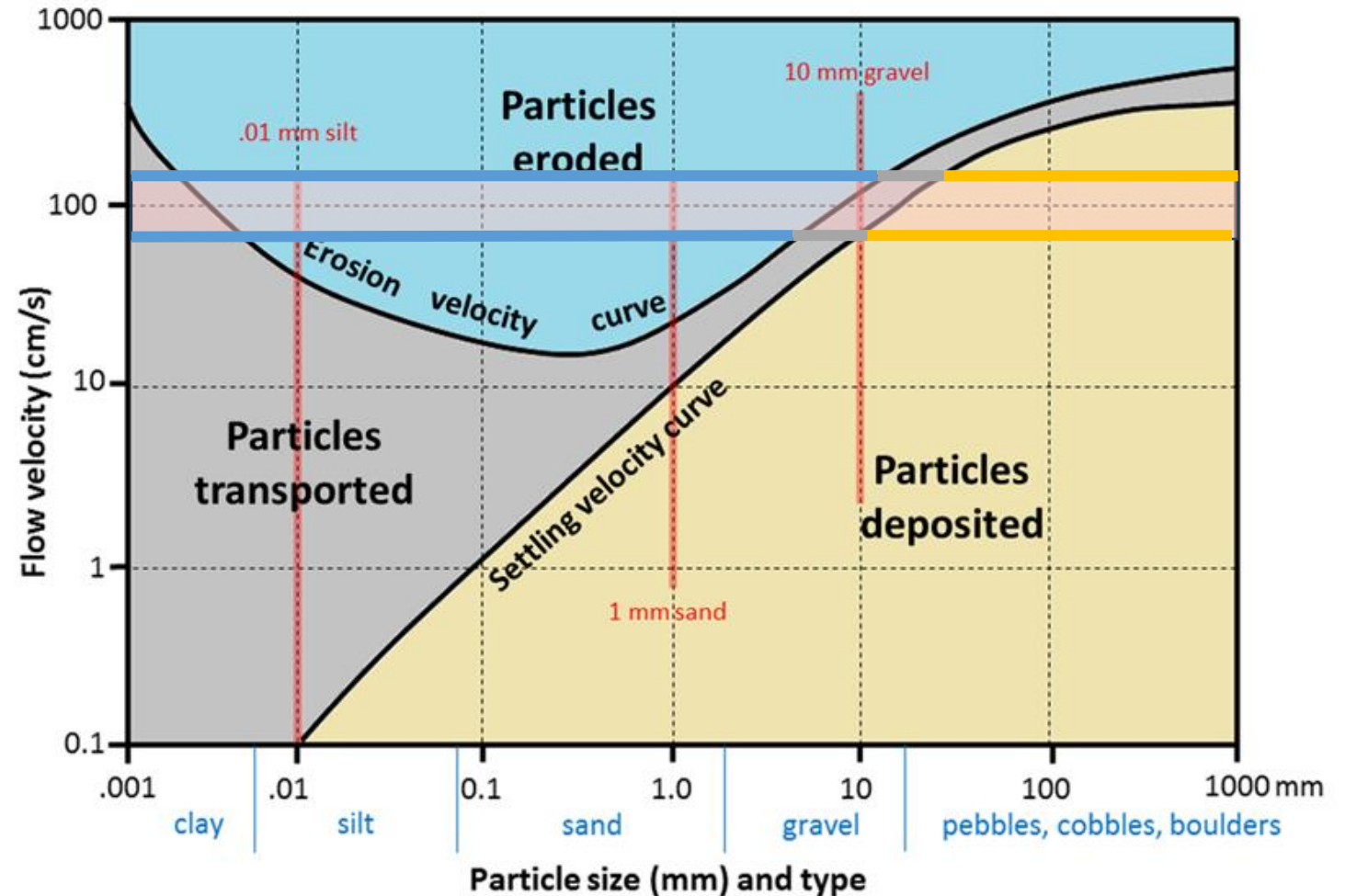


Diagrama de Hjulström-Sundborg. Muestra las relaciones entre el tamaño de las partículas y la tendencia a ser erosionadas, transportadas o depositadas a diferentes velocidades actuales.



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

#### Flujo laminar

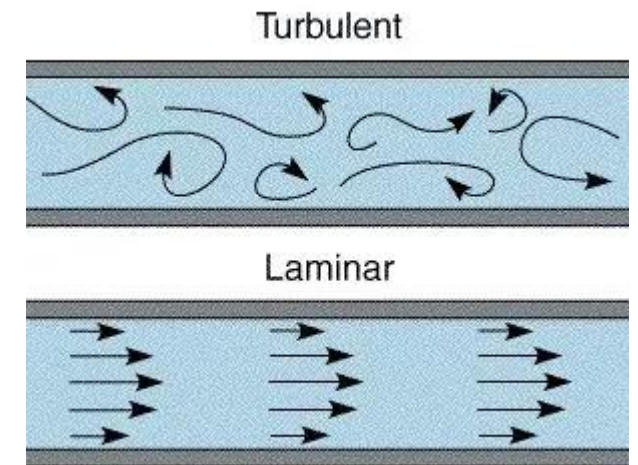


El agua fluye en capas paralelas  
El lecho del río es uniforme  
Menos erosión

#### Flujo turbulento

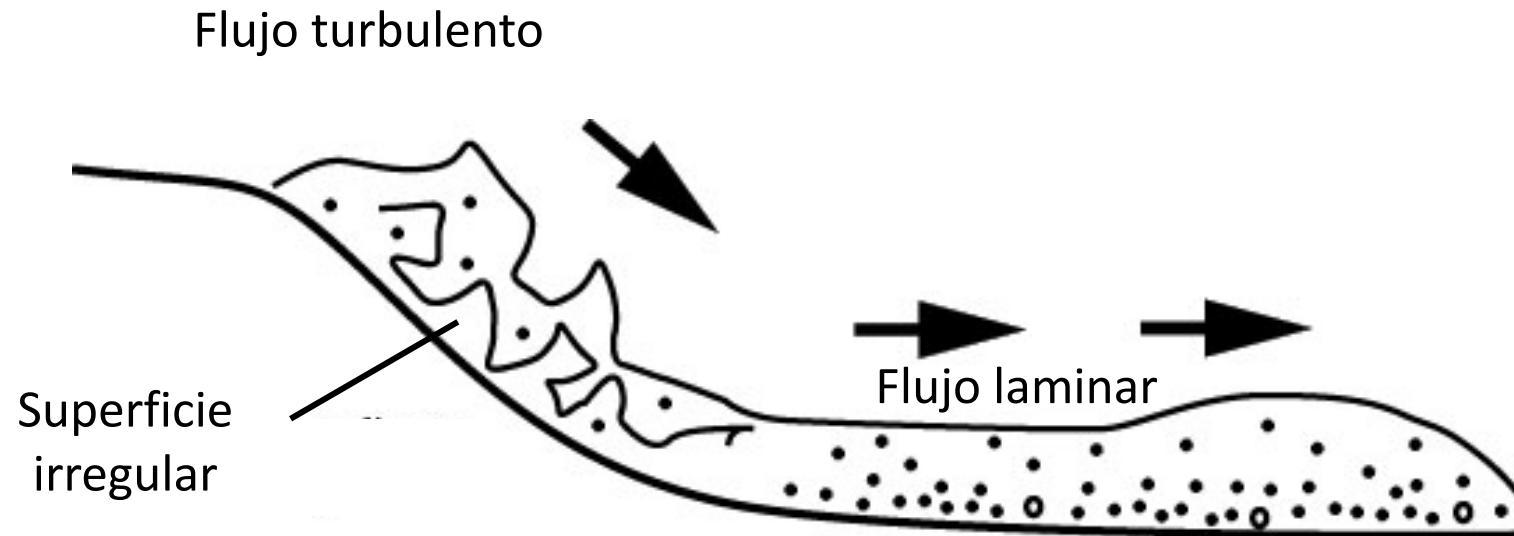


El agua fluye de forma turbulenta  
El lecho del río es desigual  
Más erosión



## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos



#### Flujo turbulento

- Ocurre normalmente en los cursos altos de un río
- Asociado con un flujo irregular y revuelto.
- Efectivo erosionando y transportando sedimento.
- Ocurre donde los rápidos son visibles en el curso del río.

#### Flujo laminar

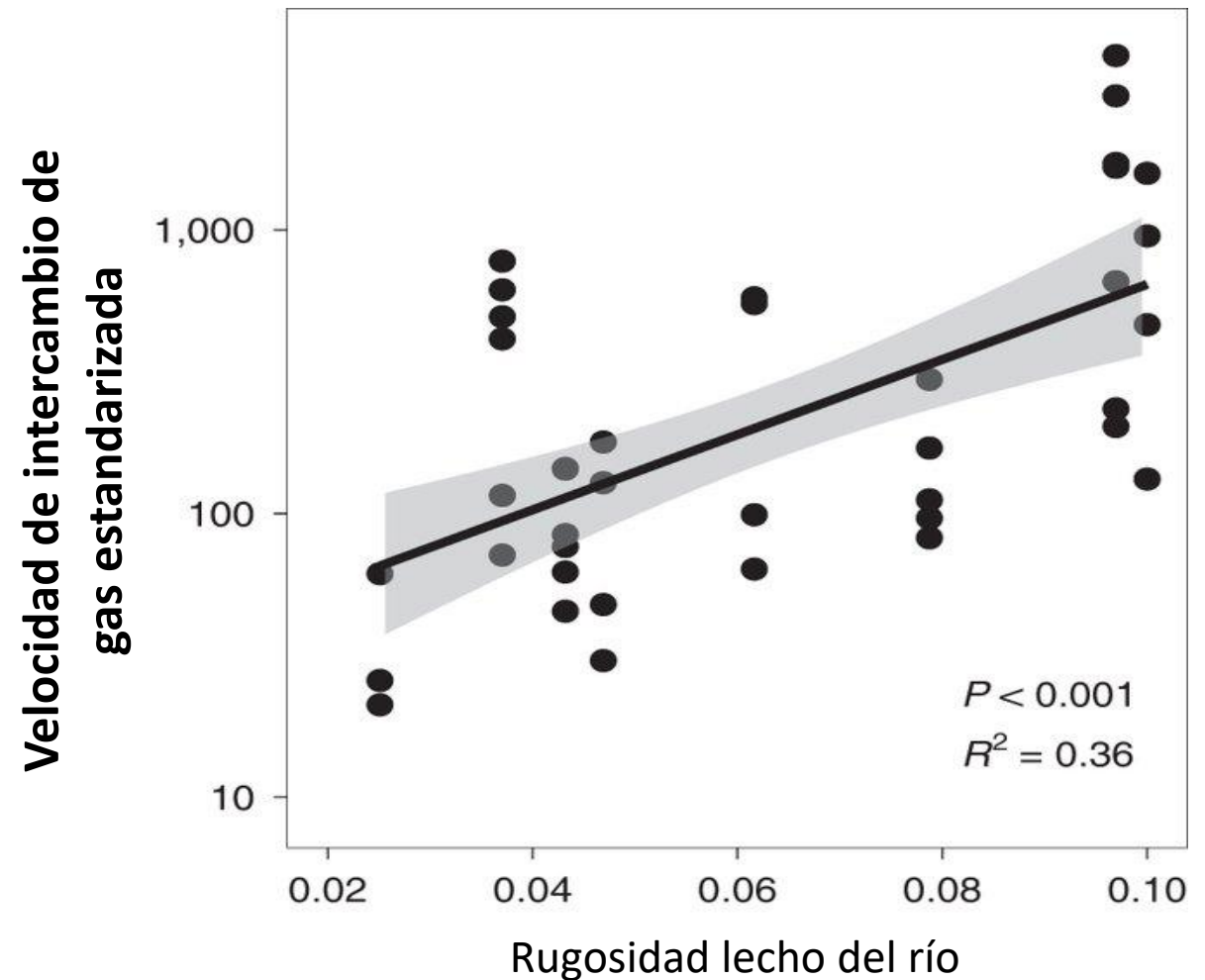
- Asociado al lecho de un río que está igualado y uniforme.
- El agua fluye en finas capas.

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

La rugosidad del lecho fluvial acelera el **intercambio de gases** entre agua y atmósfera, al determinar un flujo más **turbulento**.

Las aguas turbulentas suelen estar saturadas en **oxígeno**.



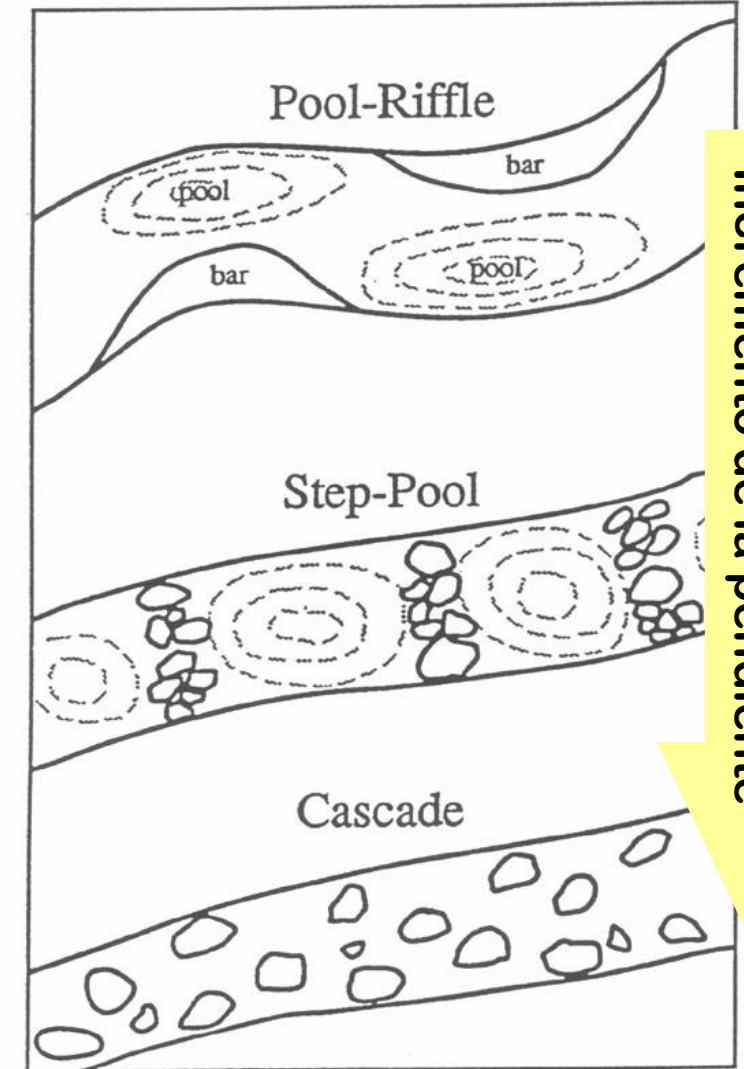
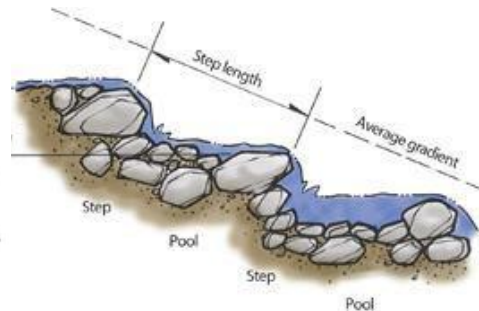
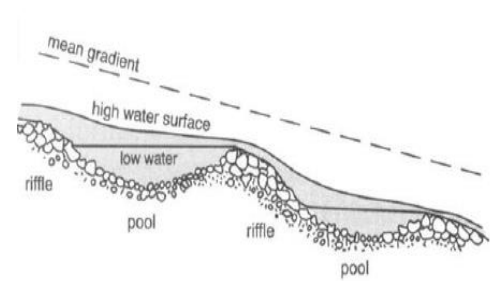
*Ulseth et al. 2019, Nature Geosciences*



# e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

## Régimen de corriente en ríos

La heterogeneidad de regímenes de velocidad de la corriente en ríos es una variable clave para la conservación de la biodiversidad.



Poza-Rápidos

Salto-Poza

Torrente



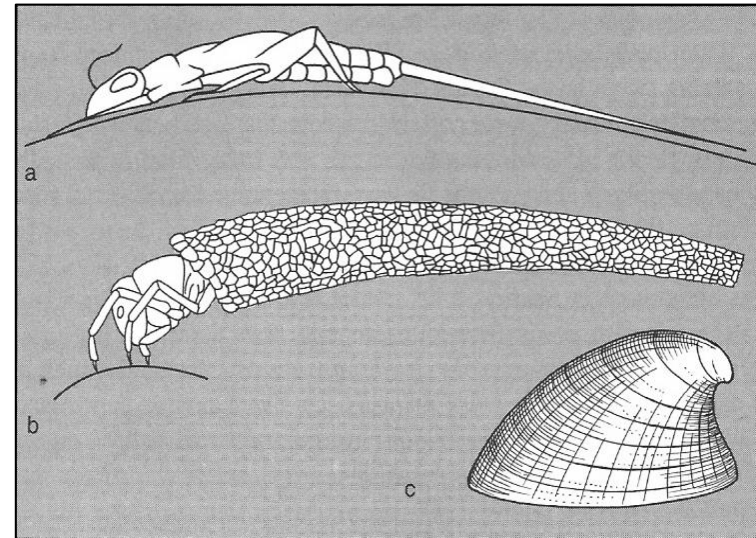
## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Régimen de corriente en ríos

La heterogeneidad de regímenes de velocidad de la corriente en ríos es una variable clave para la **conservación de la biodiversidad**.



*Anfípodos e isópodos (sin apéndices para sujetarse) utilizan las aguas tranquilas que se crean tras rocas o plantas que actúan como barreras (“dead water regions”).*



Los animales que “pastan” en la superficie de rocas son **aplanados** y pueden aferrarse al sustrato mediante **ganchos o ventosas**.



*Ancylus*



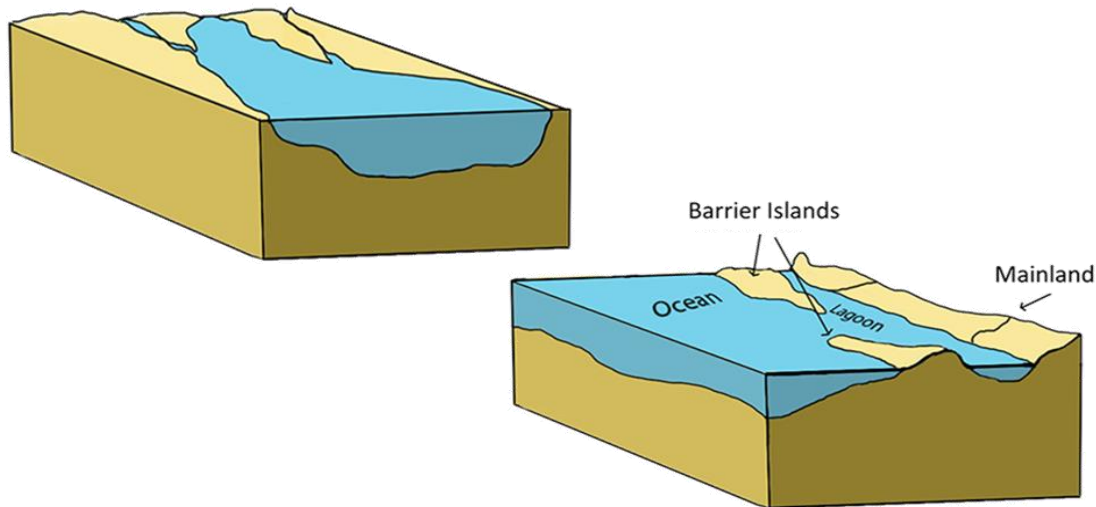
*Algunos crean redes para atrapar la materia orgánica que arrastra la corriente (e.g. Hydropsychidae)*

## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Estratificación y mezcla en estuarios

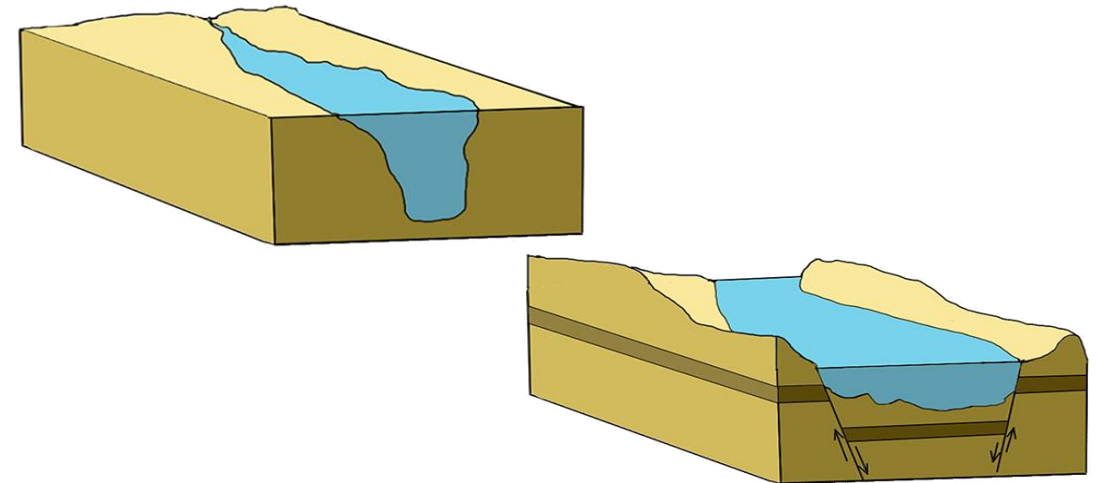
Un **estuario** es un cuerpo de agua costero semi-cerrado que tiene una conexión libre con el mar abierto y dentro del cual la salinidad es diferente de la salinidad del mar abierto adyacente.

**Estuario de llanura costera.** El nivel del mar ha subido e inundando lo que alguna vez fue un valle fluvial.



**Estuarios en bares.** Existe una barrera entre el continente y el océano que impide la mezcla completa del agua con el océano, y recibe entrada de agua dulce del continente.

**Fiordos.** Formados en cuencas profundas en forma de U talladas por el avance de los glaciares. Cuando los glaciares se derritieron y retrocedieron, el nivel del mar subió y llenó estos canales.

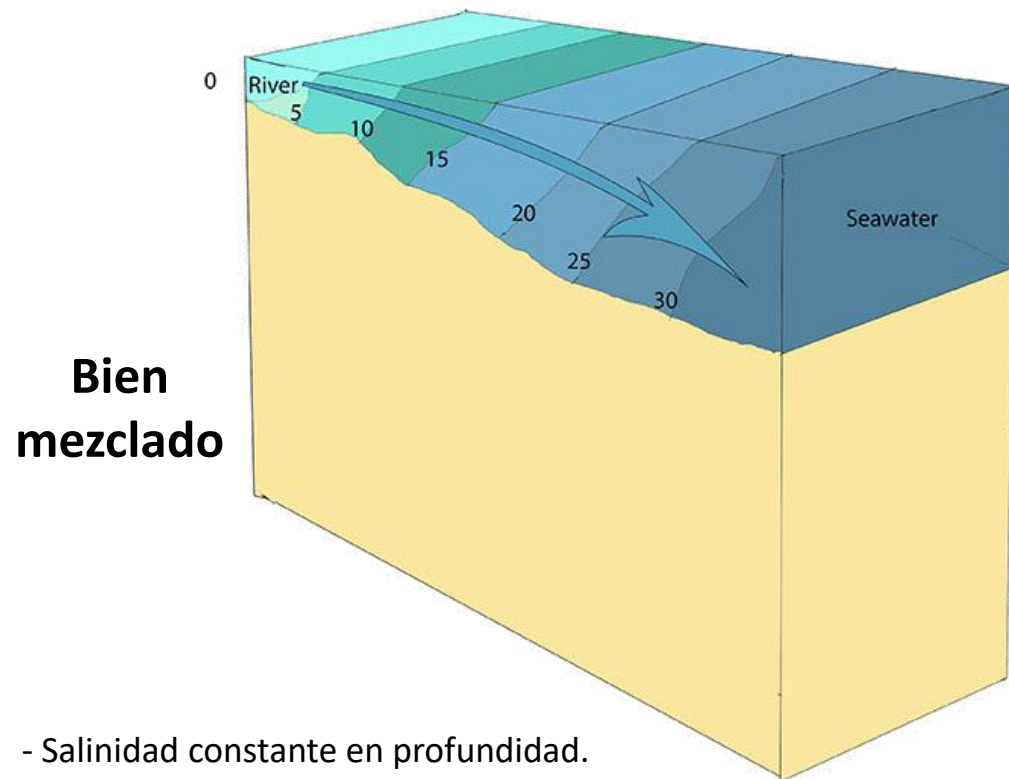


**Estuarios tectónicos.** Resultan de movimientos tectónicos, donde las fallas provocan que algunas secciones de la corteza descendan y se inundan con agua de mar.

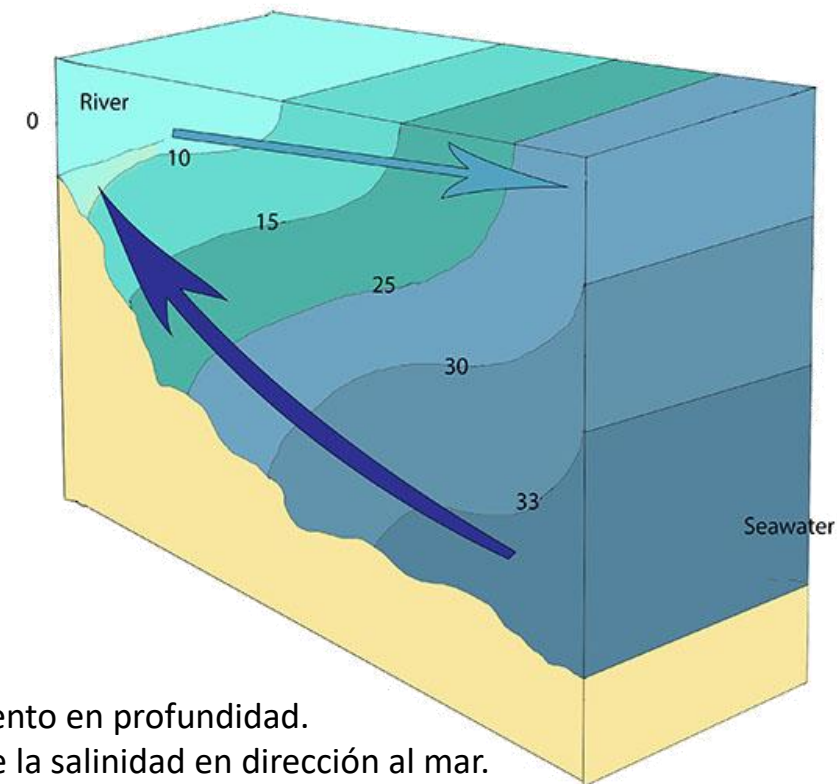
## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Estratificación y mezcla en estuarios

En función de su salinidad y patrones de mezcla...



- Salinidad constante en profundidad.
- Aumento de la salinidad en dirección al mar.
- Poca profundidad.



- Ligeramente aumento en profundidad.
- Aumento de la salinidad en dirección al mar.
- Mayor profundidad.

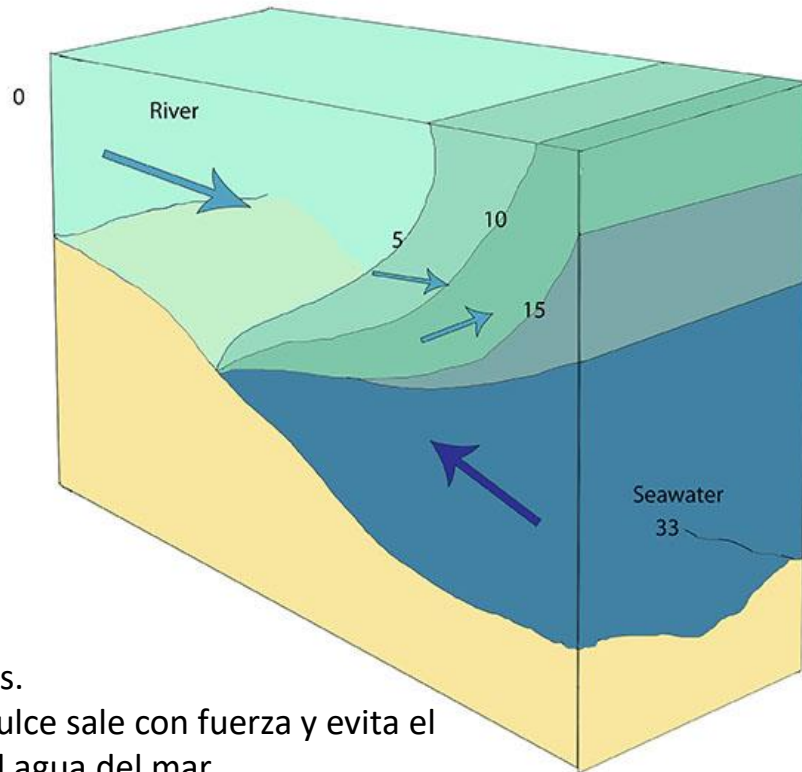


## e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

### Estratificación y mezcla en estuarios

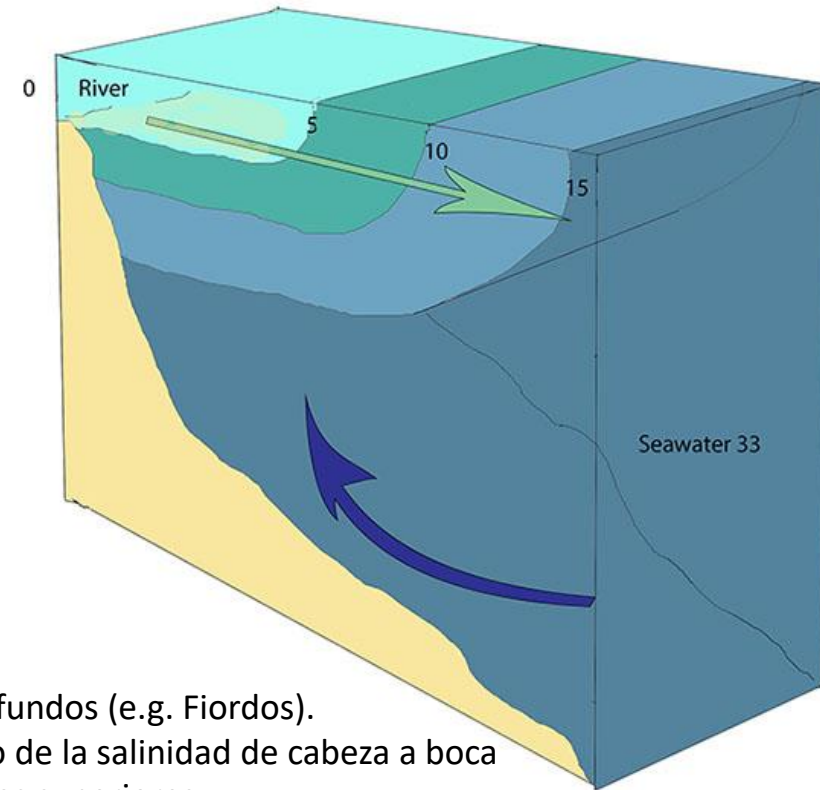
En función de su salinidad y patrones de mezcla...

#### Cuña salina



- Profundos.
- El agua dulce sale con fuerza y evita el ingreso del agua del mar.
- El agua dulce fluye en superficie, el agua salada en profundidad formando una cuña.

#### Estratificados



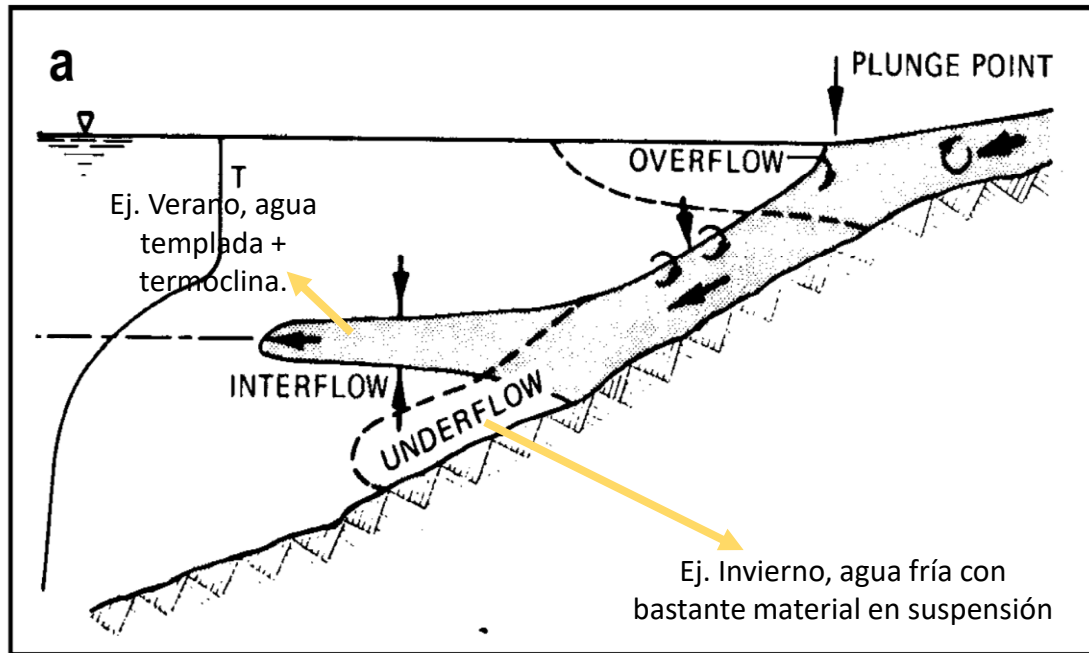
- Muy profundos (e.g. Fiordos).
- Aumento de la salinidad de cabeza a boca en las capas superiores.
- En profundidad agua de salinidad oceánica estándar.



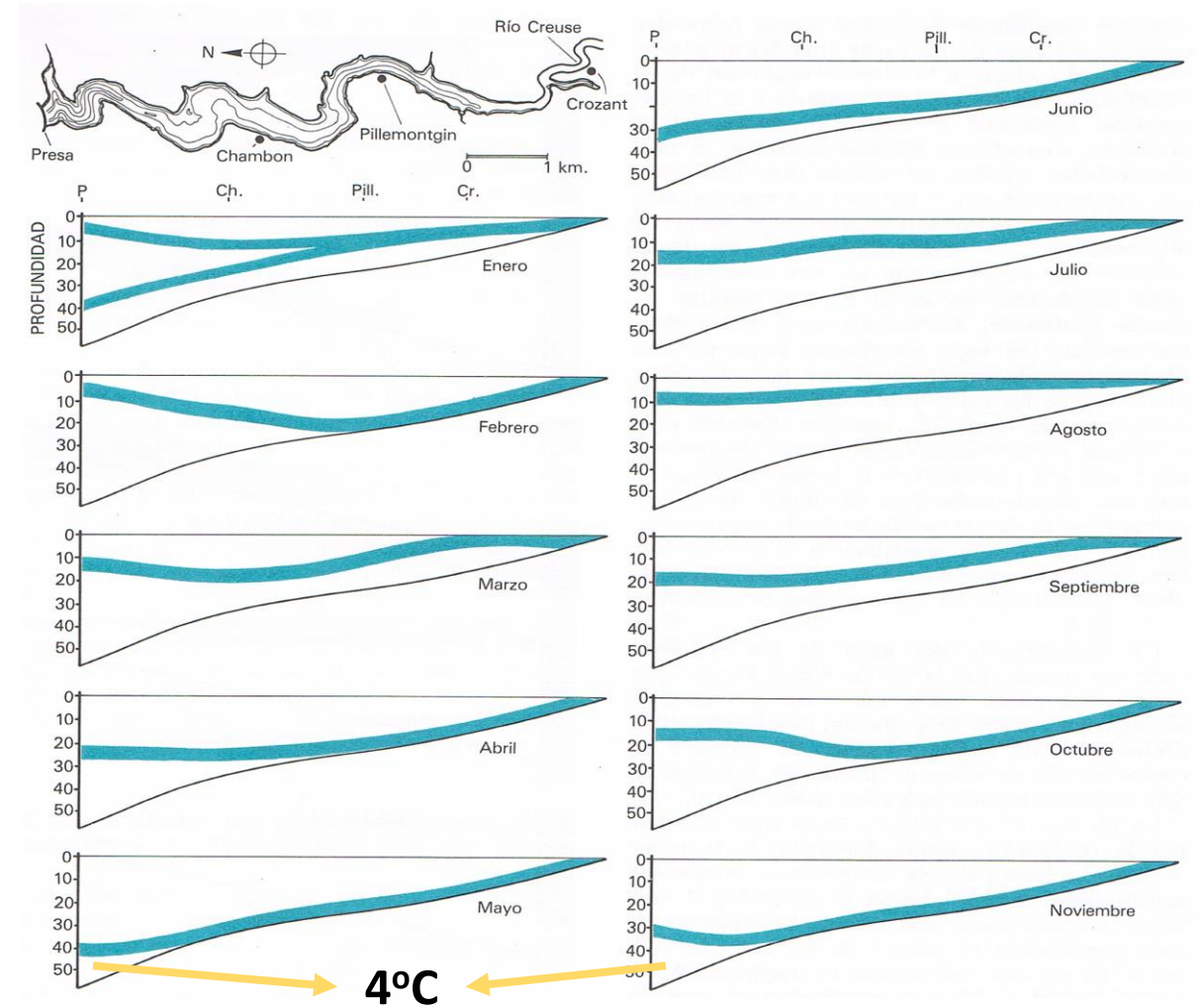
# e) Flujos laminar y turbulento en aguas corrientes

## Hidrodinámica de embalses

En **embalses**, las diferencias térmicas entre el agua del río y el agua embalsada determinan la profundidad de la mezcla.



Esquema representando los tipos de entrada al embalse.



Circulación de las aguas del río Creuse en el embalse de Eguzon durante un año.

## f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica, disfótica y afótica

### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo

Para una determinada longitud de onda en una masa de agua uniforme la atenuación será exponencial siguiendo la **ecuación de Beer-Lambert**:

$$I_z = I_0 e^{-k_d z}$$

$I_z$  = Intensidad de la luz a una profundidad  $z$ ;  $I_0$  = Intensidad de la luz en la superficie;  $k_d$  = **Coefficiente de atenuación vertical**;  $z$  = Profundidad

Esta ecuación la podemos despejar para estimar la  $K_d$ .

$$\begin{aligned} I_z / I_0 &= e^{-k_d z} \\ \text{Ln} (I_z / I_0) &= \text{Ln} e^{-k_d z} \\ \text{Ln} (I_z / I_0) &= -k_d z \cdot \text{Ln} e \\ \text{Ln} (I_z) - \text{Ln} (I_0) &= -k_d z \\ k_d z &= -\text{Ln} (I_z) + \text{Ln} (I_0) \end{aligned}$$

$$K_d \text{ (m}^{-1}\text{)} = (\text{Ln} (I_0) - \text{Ln} (I_z)) / z$$

(CANTIDAD DE LUZ ABOSORBIDA POR METRO DE AGUA)

$$\text{Ln} e = 1$$

Ejemplos en diap. 41-46



## f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica, disfótica y afótica

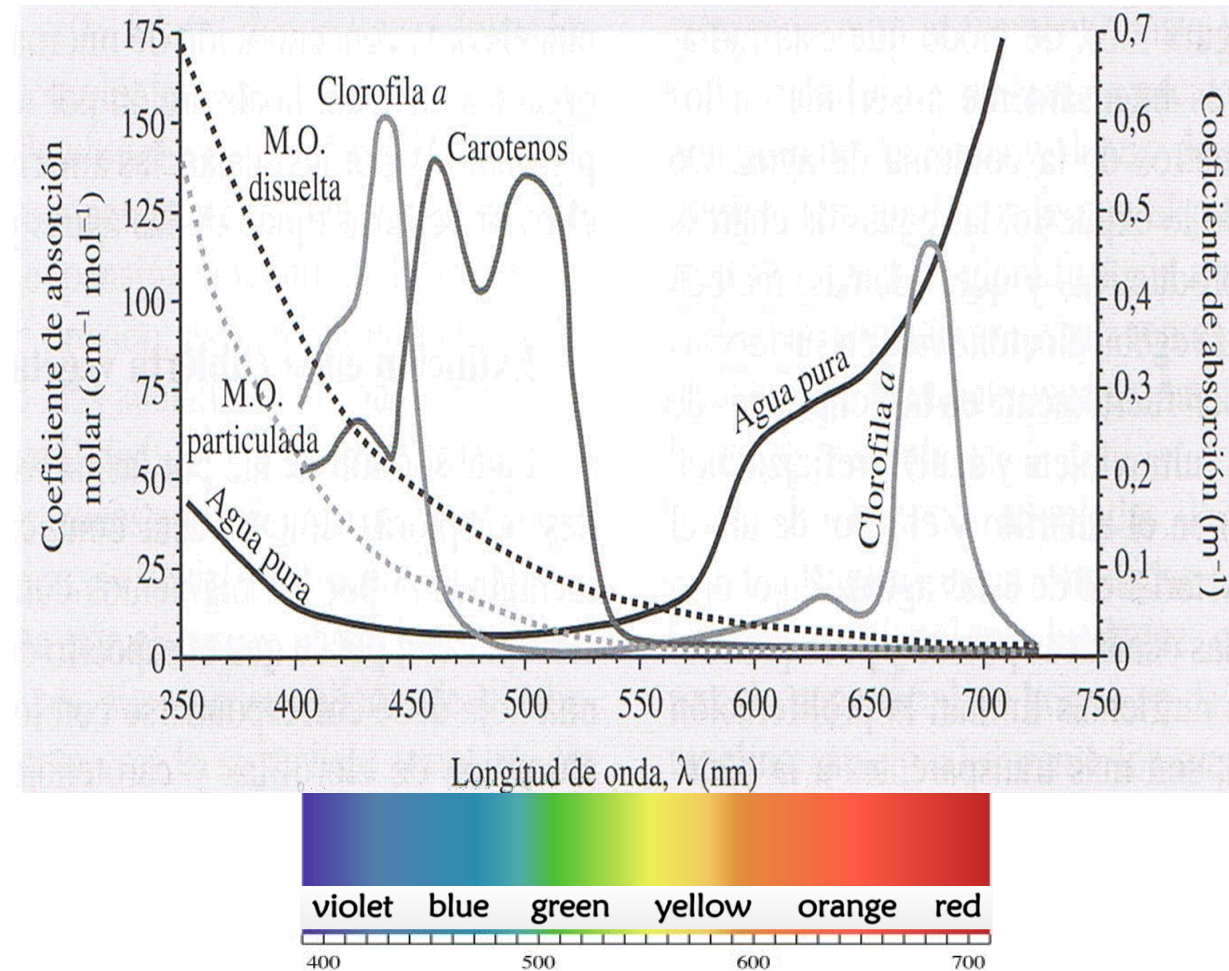
### Alcance de la radiación penetrante: extinción o atenuación de la luz - Cálculo

El valor de  $k$  es la suma de varios componentes que absorben la luz a distinta longitud de onda:

$$k = k_w + k_p + k_d;$$

donde  $k_w$  = Agua;  $k_p$  = partículas;  $k_d$  = disuelto

Espectros de absorción del agua (derecha), pigmentos vegetales (izquierda) y sustancias orgánicas disueltas (unidades arbitrarias).



## f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica, disfótica y afótica

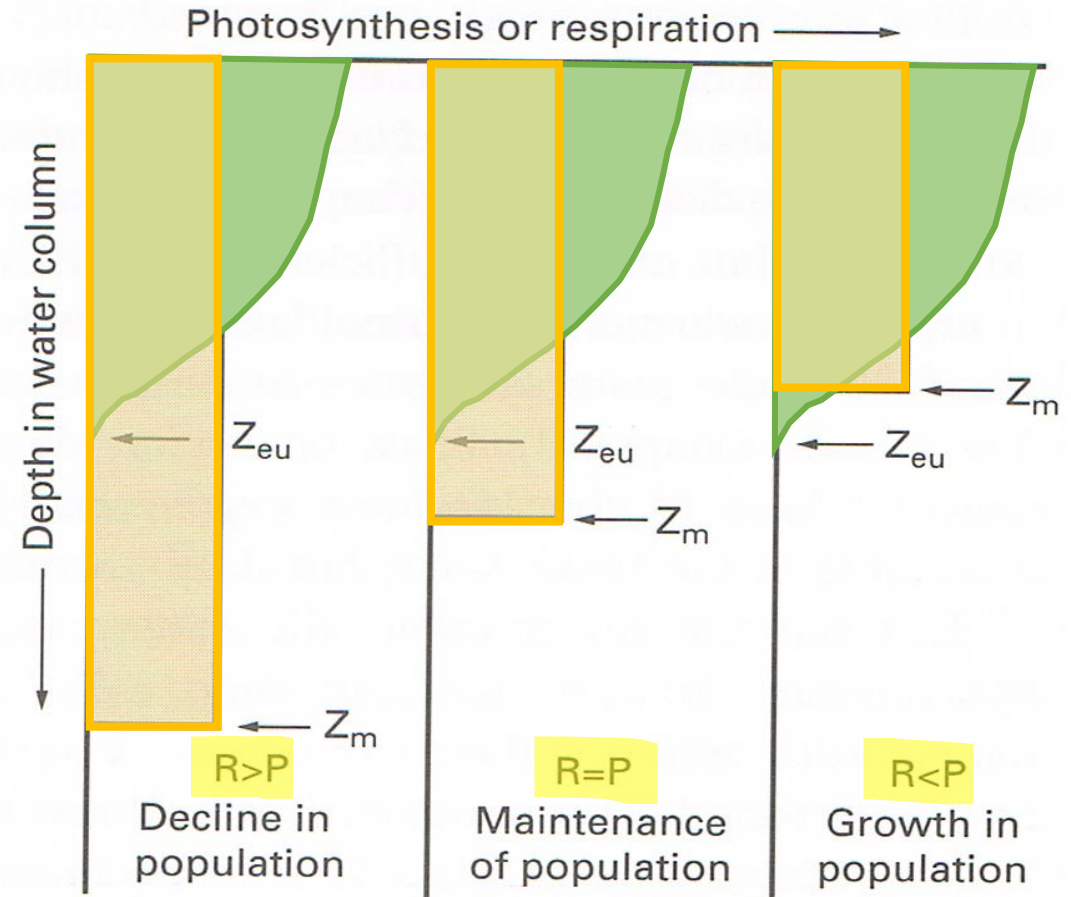
### Zona eufótica. Balance fotosíntesis-respiración.

La luz recurso limitante para los productores primarios acuáticos: **Zona eufótica**

La energía mínima que una microalga necesita para sobrevivir es aprox.  $10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Fotosíntesis Bruta = Respiración; Fotosíntesis Neta (FB - R)= 0).

La profundidad a la que el flujo de fotones cae por debajo de este valor se le llama **profundidad de la zona eufótica** ( $Z_{eu}$ ). Aproximadamente la **profundidad donde solo llega el 1% de la luz de superficie**.

La relación entre las profundidades de las **zonas eufótica** ( $Z_{eu}$ ) y de **mezcla** ( $Z_m$ ) determinantes del balance P:R de las poblaciones de fitoplancton





## f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica, disfótica y afótica

### Una estima barata de $Z_{eu}$

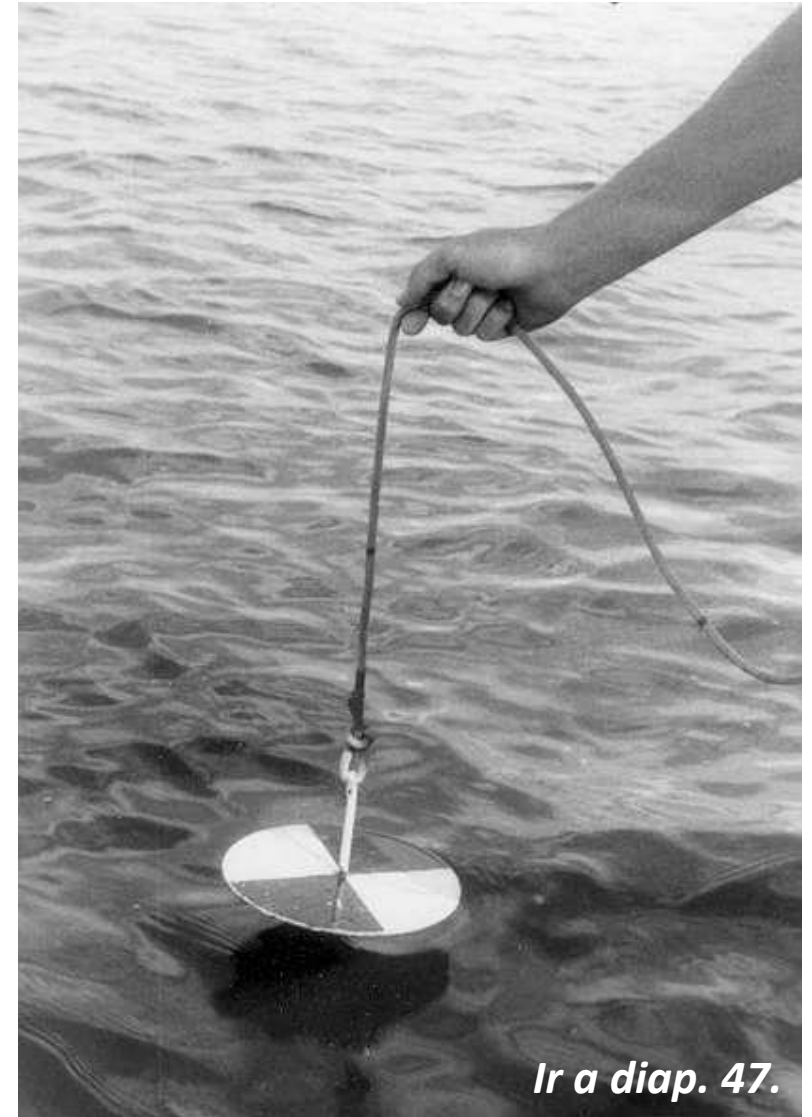
Pietro Angelo Secchi (1818-1878), fue el inventor de un disco (20 cm) para medir la transparencia del agua.

Una medida “grosera” de  $Z_{eu}$  consiste en medir la profundidad del disco de Secchi ( $Z_{sd}$ ):

$$Z_{eu} = 1.84 \cdot Z_s$$

*1.84 es un valor medio, valores entre 0.95 – 3.09 han sido medidos para lagos del Suwałki Landscape Park (Polonia)*

*Borowiak and Borowiak 2016, Limnol. Rev.*



*Ir a diap. 47.*

## f) Absorción y extinción de la luz: fotosíntesis y zonas eufótica y afótica

### Zona eufótica. Balance fotosíntesis-respiración.

En **océano** abierto la luz puede penetrar hasta los 1000 m de profundidad, pero no de forma significativa.

Esto divide al océano en tres zonas según su profundidad y disponibilidad de luz: **EUFÓTICA**, **DISFÓTICA**, y **AFÓTICA**.

