

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión



María Rosario Vidal-Abarca Gutiérrez
Dpto. Ecología e Hidrología
Universidad de Murcia

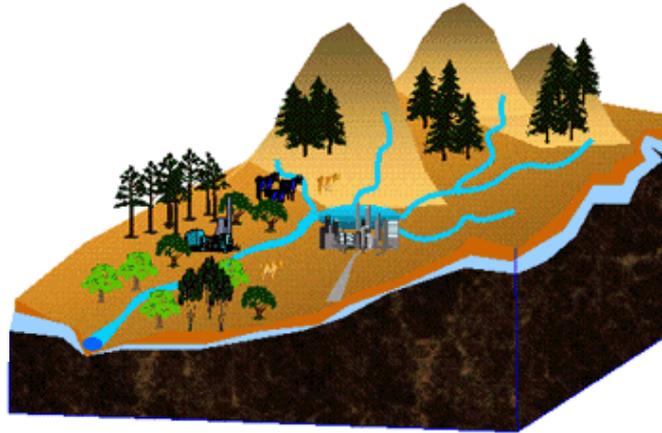
Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

	CONTENIDOS
1.	La cuenca hidrológica, unidad de gestión y espacio de conexión con el ciclo hidrológico
2.	El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento. Datos del agua en el mundo. Conflictos por el agua. La gota fría como un elemento de perturbación natural del ciclo del agua.
3.	Origen de los materiales presentes en el agua. Conexión con el ciclo del agua y con los compartimentos a distintas escalas
4.	Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, T ^a y estratificación térmica. Movimientos del agua.
5.	Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO ₂); en suspensión.
6.	La cuenca como espacio de sostenibilidad: perturbaciones naturales y antrópicas,

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

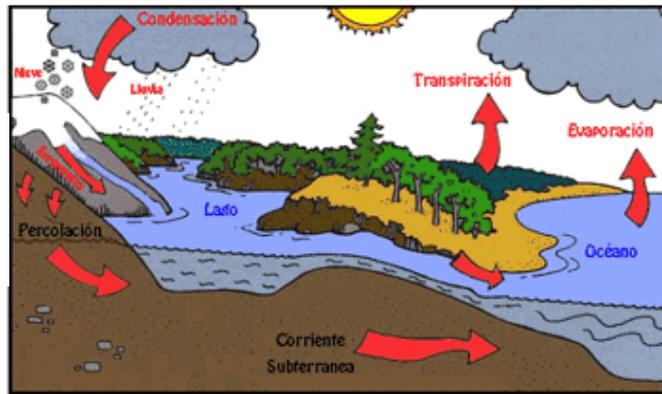
1. La cuenca hidrológica, unidad de gestión y espacio de conexión con el ciclo hidrológico

La cuenca hidrológica se ha utilizado como unidad de planificación y gestión de los recursos naturales, principalmente el agua



La cuenca hidrológica es la una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación converge dando lugar a una red de drenaje.

Tiene la ventaja de tener fácilmente identificables todos los componentes del ciclo hidrológico



El funcionamiento de una cuenca se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con suelos y aguas.

http://elearning.semarnat.gob.mx/cte/MATERIALESAPOYO/manejo%20de%20recursos%20naturales%20y%20planeaci%C3%B3n%20ambiental/img/graficos_docs/grafico1-man_integ_cuen.gif

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

1. La cuenca hidrológica, unidad de gestión y espacio de conexión con el ciclo hidrológico

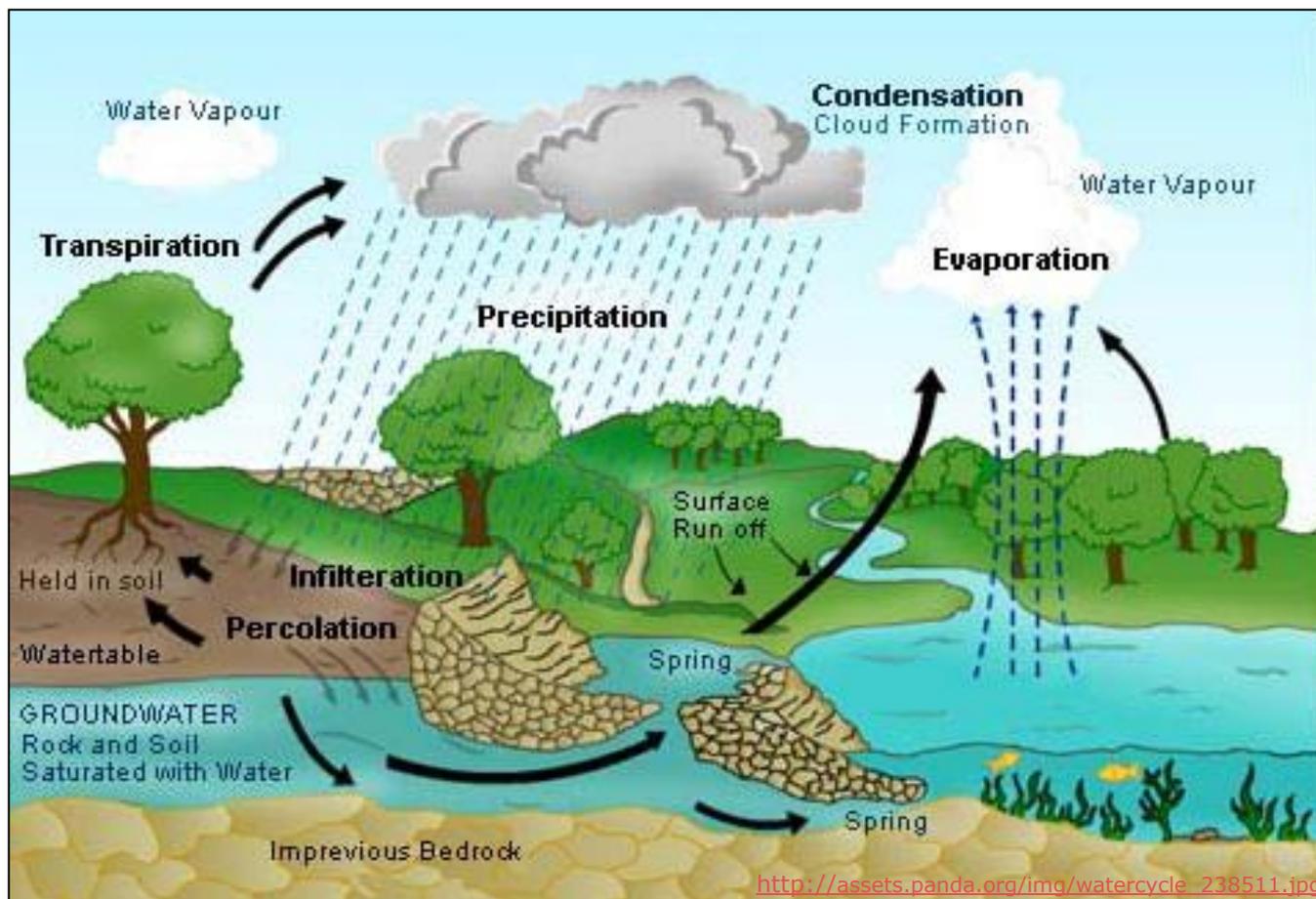
En las cuencas hidrológicas ocurren muchos procesos dinámicos como consecuencia de la interrelación de los diferentes elementos naturales de la tierra. Algunos son cíclicos y continuos, y otros son eventuales y aleatorios; unos cubren extensiones muy grandes y otros pueden darse en áreas de microcuencas; unos se completan básicamente con un solo elemento natural, otros son una combinación compleja de elementos; algunos son muy conocidos y estudiados desde hace mucho tiempo, y otros recientemente considerados como procesos importantes en la naturaleza y poco estudiados. Pero todos son claramente interdependientes dentro de las cuencas.

Procesos geodinámicos	a) Internos: · Movimientos epirogenicos · Movimientos orogénicos (sísmicos, volcánicos) b) Externos: · Meteorización, edafización, etc · Erosión hídrica: marina, fluvial, etc
Procesos hidrológicos: ciclo del agua	a) Precipitación b) Escorrentía superficial, subsuperficial, subterránea c) Infiltración d) Evaporación
Procesos biológicos: biodiversidad	a) Sucesión vegetal b) Evolución animal
Procesos antrópicos	a) Usos del suelo b) Ocupación del territorio c) Crecimiento poblacional...

http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/metodologia_planes_maestros/metodologia_planes_maestros1.pdf

2. El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento.

- El ciclo del agua implica: Cambios de estado: agua líquida → evaporación → condensación → congelación → fusión
- Cambios de compartimentos: océanos → atmósfera → superficie terrestre (ríos, lagos, etc)



Ver videos

[El ciclo del agua](#)

[El origen del agua](#)

Leer texto

[Consideraciones en torno al ciclo del agua](#)

2. El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento.

•OCEANOS:

- Mayor volumen
- Mayor cantidad de sales

•ATMOSFERA:

- Bajo contenido en sales
- Evaporación y precipitación separan aguas marinas y continentales

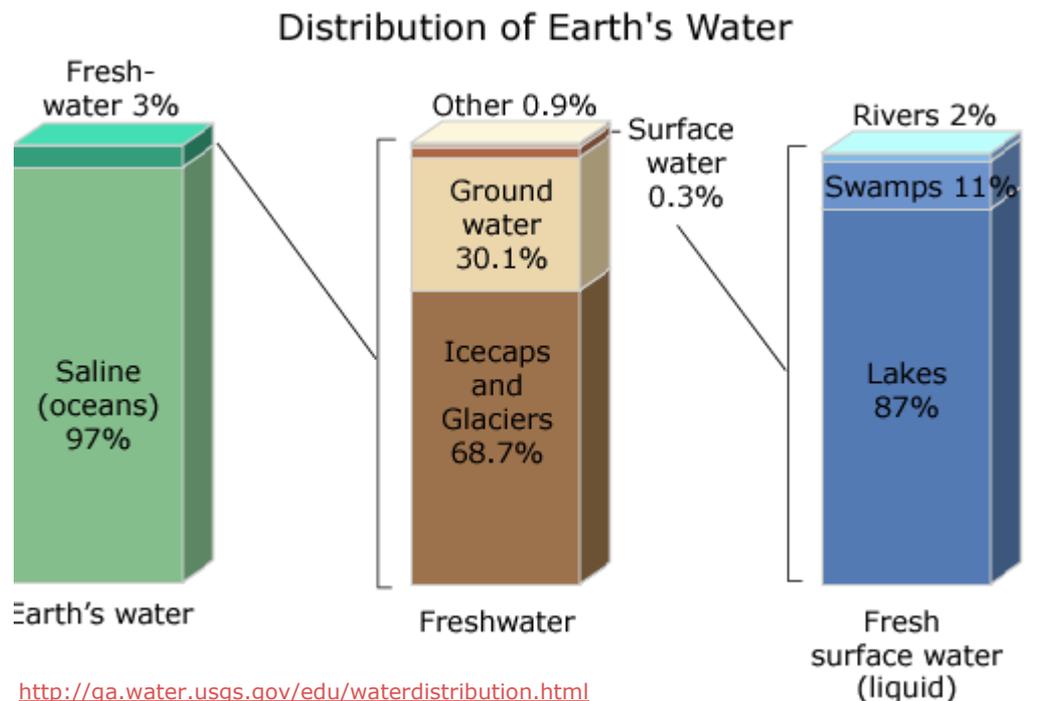
•SUPERFICIE TERRESTRE:

- Agua en estado sólido
- Aguas superficiales
- Aguas subterráneas

- El agua se presenta en tres estados físicos diferentes: líquido, sólido y gaseoso
- Importancia del agua atmosférica en el mantenimiento del ciclo hidrológico
 - *La Tierra como destilador
 - caldera: aguas marinas
 - condensador: aguas continentales

- Mantenimiento de la temperatura en la superficie de la Tierra
 - Maquinaria térmica

2. El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento.



La barra de la izquierda muestra que alrededor del 97 % de todo el agua en el mundo está en los océanos. La barra de en medio muestra como del 3 % de agua dulce, el 69 % esta en los casquetes polares y en glaciales y como mas del 30 % se encuentra en los acuíferos. De todo el agua de la tierra solo el 0.3 % esta disponible en ríos y lagos.

En la tabla siguiente se presentan los datos con mas detalle.

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

2. El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento.

¿Cuánta agua hay en la Tierra?

Water source	Water volume, in cubic kilometers	Percent of fresh water	Percent of total water
Oceans, Seas, & Bays	1,338,000,000	--	96.5
Ice caps, Glaciers, & Permanent Snow	24,064,000	68.7	1.74
Groundwater	23,400,000	--	1.7
Fresh	10,530,000	30.1	0.76
Saline	12,870,000	--	0.94
Soil Moisture	16,500	0.05	0.001
Ground Ice & Permafrost	300,000	0.86	0.022
Lakes	176,400	--	0.013
Fresh	91,000	0.26	0.007
Saline	85,400	--	0.006
Atmosphere	12,900	0.04	0.001
Swamp Water	11,470	0.03	0.0008
Rivers	2,120	0.006	0.0002
Biological Water	1,120	0.003	0.0001
Total	1,386,000,000	-	100

Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

2. El ciclo del agua a nivel mundial: compartimentos y funcionamiento.

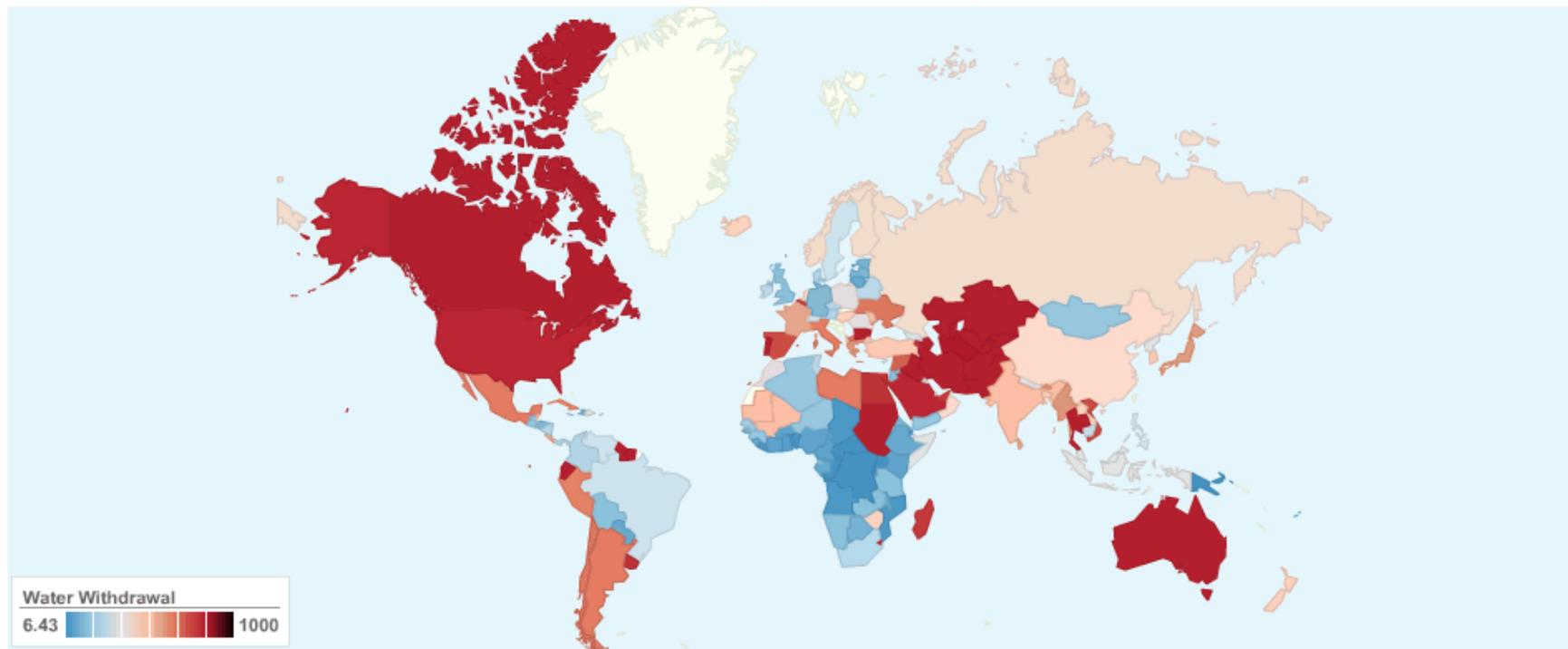
Cada compartimento tiene un tiempo de renovación diferente

COMPARTIMENTO	VOLUMEN Millones Km³	TIEMPO MEDIO RENOVACIÓN
Océanos	1348,0000	Unos 3000 años
Agua sólida	27,8200	Muy largo (8000 años)
Circulando en la corteza terrestre (acuíferos)	8,0620	Unos 300 años
Aguas continentales a.-lagos agua dulce b.-lagos salados c.-ríos	0,2300 0,1250 0,1040 0,0012	1-100 años 10-1000 años 12-20 días
Atmósfera	0,0105-0,0130	9-10 días

2. El ciclo del agua a nivel mundial: Datos de agua en el mundo.

El agua dulce no se distribuye de forma regular por el planeta y tampoco el consumo per capita

Total Water Use per capita by Country



<http://iaqua.es/2010/02/uso-de-agua-per-capita-en-el-mundo/>

El mapa muestra el uso total de agua per cápita por país.
La media de uso de agua en el mundo es: **~ 499 m³ / hab / año (499.000 litros por persona)**

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

2. El ciclo del agua a nivel mundial: Conflictos por el agua.

Ver videos

[Water Scarcity](#)

Contesta a las siguientes cuestiones:

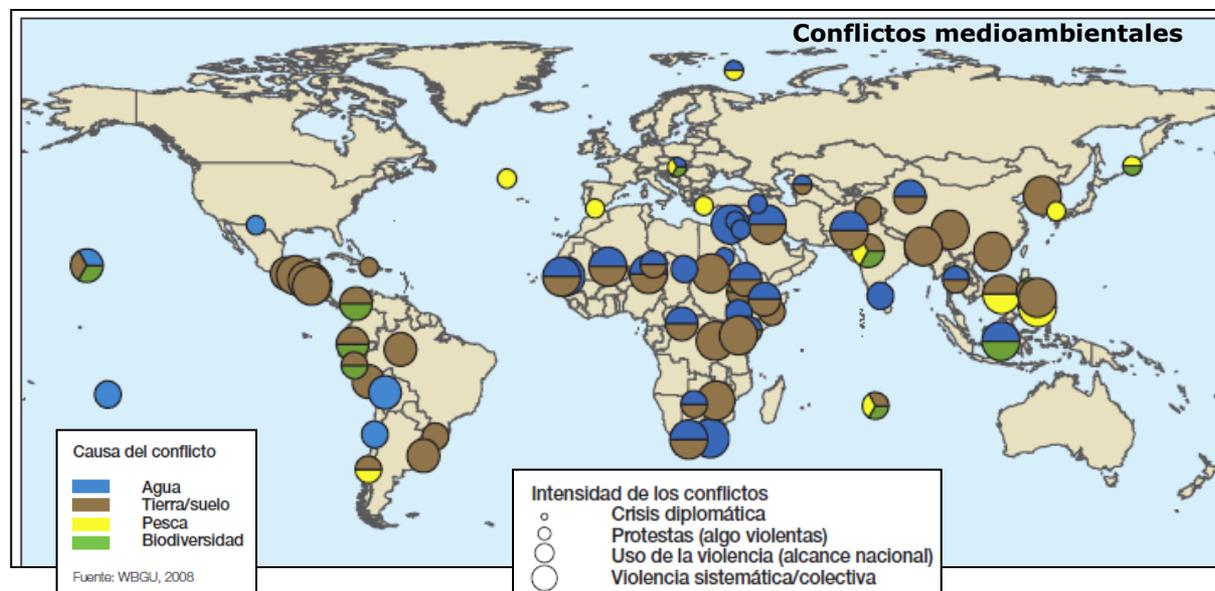
¿Qué es la escasez económica del agua?.

¿A que zonas del planeta afecta?

Los desastres naturales, como las riadas, las sequías o los corrimientos de tierras, están a la orden del día, sin olvidar la reciente alarma en torno a la escasez de alimentos y agua.

En las últimas dos décadas, ha desaparecido el 35 % de los manglares. Algunos países han perdido hasta un 80 % de los manglares debido a su conversión para explotaciones de acuicultura, a la sobreexplotación y a las tormentas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005)

Desde 1900, se han destruido en torno al 50 % de los humedales del mundo. Mientras que este fenómeno tuvo lugar en los primeros 50 años del siglo XX en los países del Norte, desde los años cincuenta la destrucción se ha centrado en los humedales tropicales y subtropicales, que están sometidos a una presión cada vez mayor para destinarlos a otros usos



Extraído de: Comunidades Europeas, 2008. La economía de los ecosistemas y la biodiversidad

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Oportunidades y desafíos para las empresas y la industria*. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.754.aspx.pdf>

Materia: Avances ecológicos para la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos continentales

2. La gota fría como un elemento de perturbación natural del ciclo del agua.

[Ver videos](#)

[Leer texto](#)

[Inundaciones en Águilas \(Murcia\)](#)

[Gota fría](#)



¿DÓNDE OCURRE?

■ Zona de gotas de aire frío
■ Zona afectada por inundaciones



- Los efectos devastadores de la gota fría se aprecian sobre todo en la franja mediterránea de nuestro país, pero en otros lugares, como en el País Vasco o en zonas del interior de Castilla o de la costa atlántica, también conocen la fuerza de este fenómeno natural.
- El riesgo de que se produzca la gota fría es mayor en las primeras semanas del otoño, sobre todo en los últimos días de octubre. Pero también se ha producido a veces en abril.

Realización: Cyan
Ilustración: Lorenzo & Berazaluze

3. Origen de los materiales presentes en el agua. Conexión con el ciclo del agua y con los compartimentos a distintas escalas.

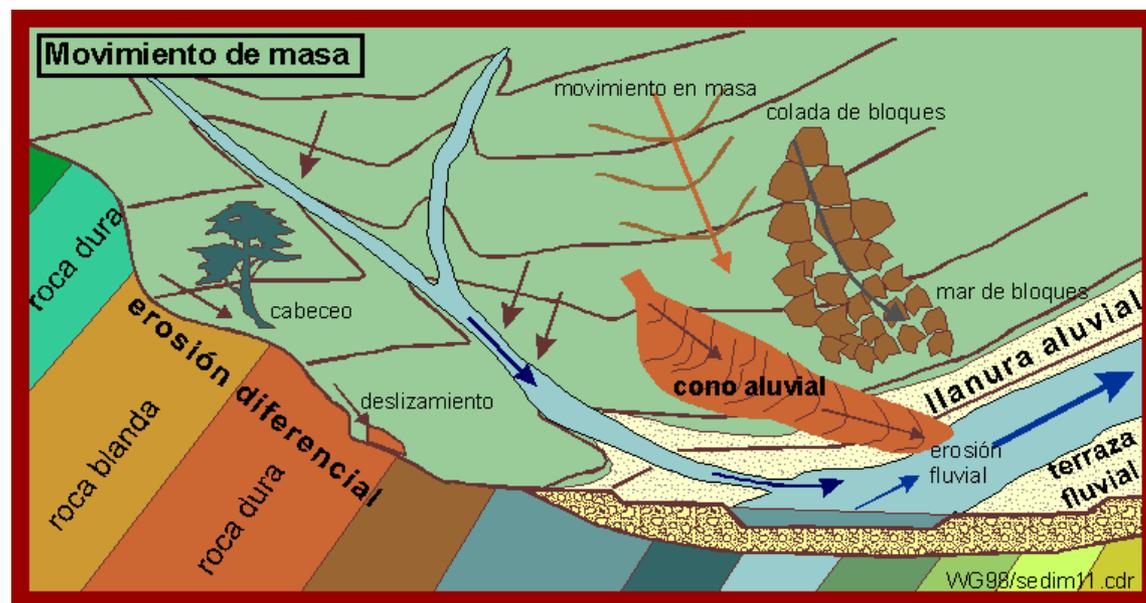
El ciclo hidrológico cuando interacciona con la materia produce fenómenos como:

- Descomposición de las rocas
- Erosión del suelo
- Formación de suelos
- Sedimentación

Tanto en la naturaleza como en el laboratorio los procesos químicos que ocurren son de igual naturaleza, como por ejemplo reacciones de:

- precipitación-disolución
- oxidación-reducción
- Reacciones ácido-base
- Interacciones, etc

Todas estas reacciones están mediadas por el agua.

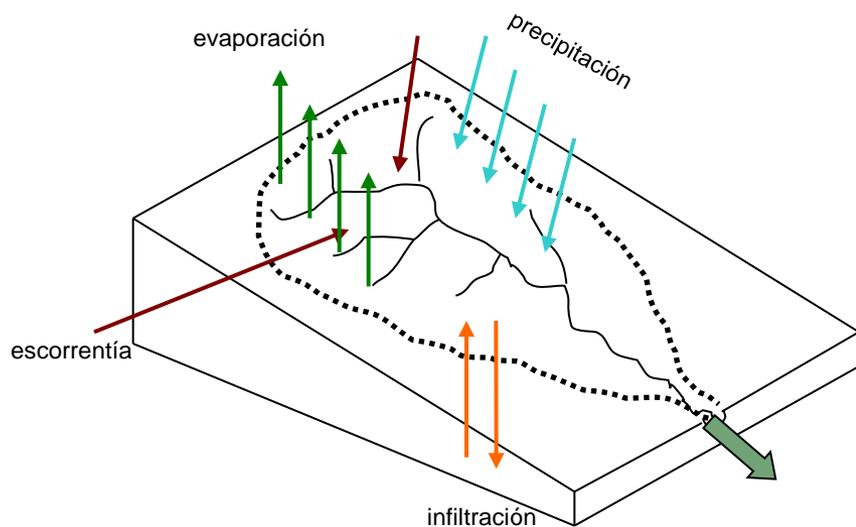


<http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05a.htm>

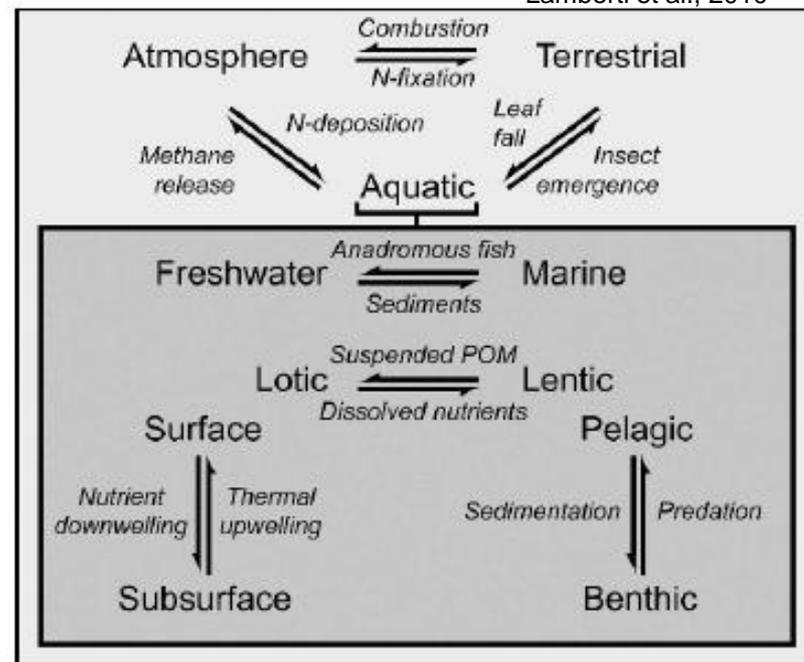
Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

3. Origen de los materiales presentes en el agua. Conexión con el ciclo del agua y con los compartimentos a distintas escalas.

El ciclo hidrológico generalmente se representa a escala global. Sin embargo, el ciclo hidrológico opera a muchas escalas, desde el que se desarrolla en toda la Tierra hasta el que se puede identificar y cuantificar en una pequeña cuenca de drenaje.



Lamberti et al., 2010

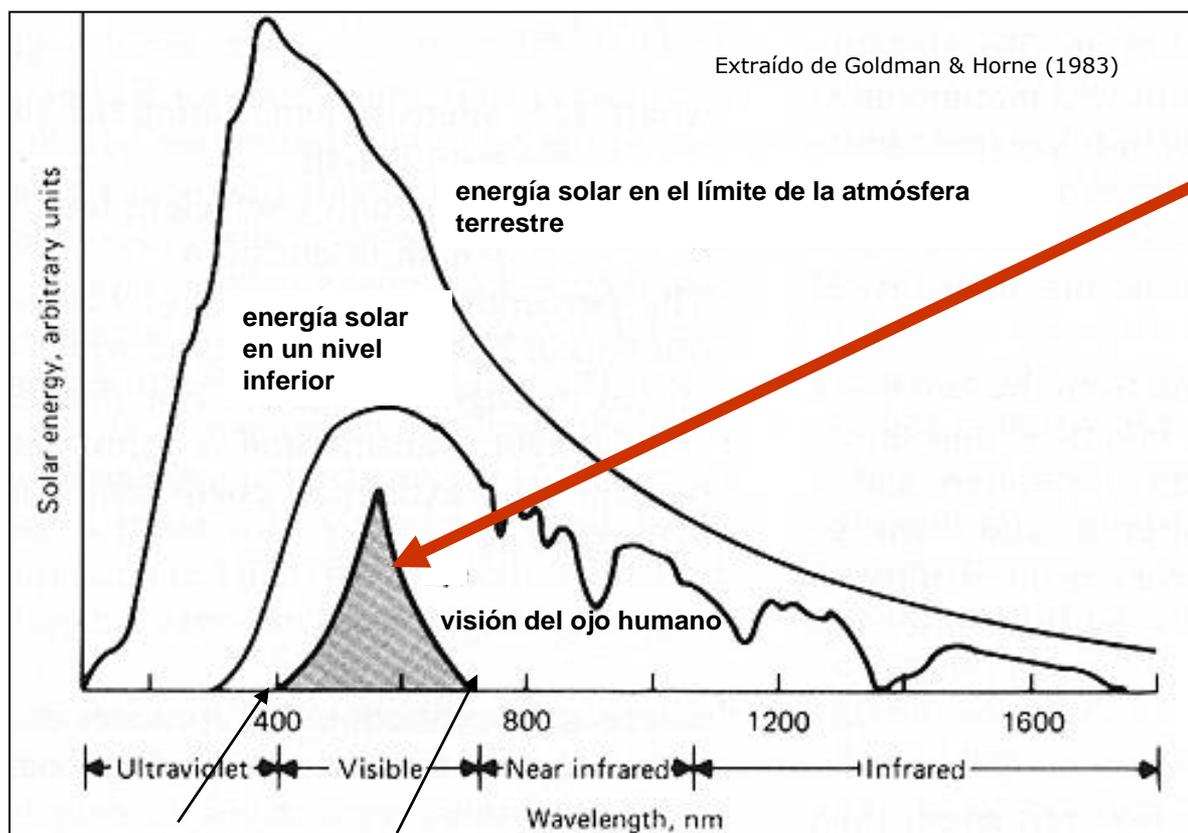


En este esquema se presentan las relaciones entre distintos compartimentos: atmósfera-medio terrestres-medio acuático. Dentro del ecosistema acuáticos: aguas superficiales y aguas subterráneas; sistemas lóticos (ríos) y leníticos (humedales), compartimentos del bentos (fondos) con los pelágicos (columna de agua).
POM = materia orgánica gruesa

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.

La radiación solar es la fuente de energía que controla el metabolismo de los ecosistemas acuáticos, convirtiendo la energía solar en química a través de la fotosíntesis. Además esta energía sirve para la estratificación térmica y producir movimientos en el agua.



El área oscura muestra la visión del ojo humano del espectro solar: entre 400 y 700 nm

La radiación termal, que no se muestra en la gráfica, está entre 5000 y 14000 nm, y junto con la radiación ultravioleta constituye la mitad, aproximadamente, de la energía que llega a una masa de agua

390 **710**
← **PAR** →

PAR=Radiación fotosintéticamente activa

4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.

La irradiancia de la luz mide el número de fotones que pasan a través de una unidad de área ($\mu\text{Einstein/s/m}^2$)

La ecuación de Birge es la que comúnmente se utiliza para expresar la absorción de la luz en el agua

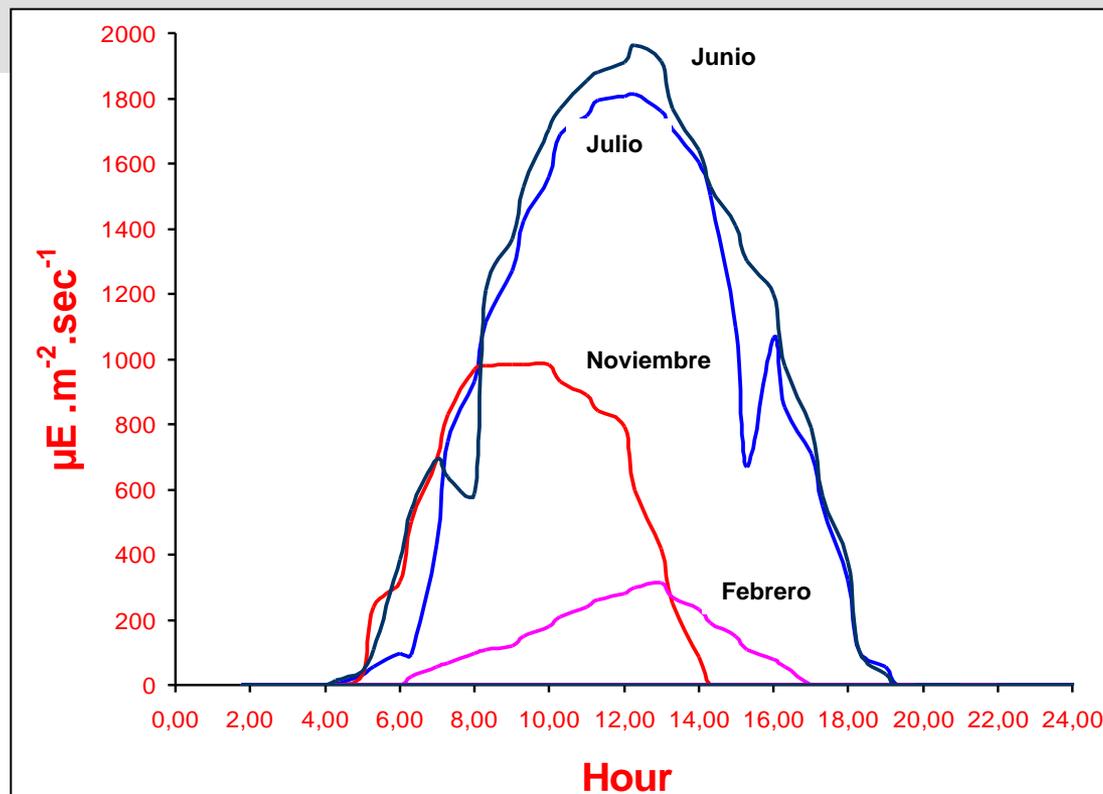
$$\% \text{ absorción} = 100 * (I_0 - I_z) / I_0 = 100 (1 - e^{-n})$$

I_0 = irradiancia en la superficie del agua

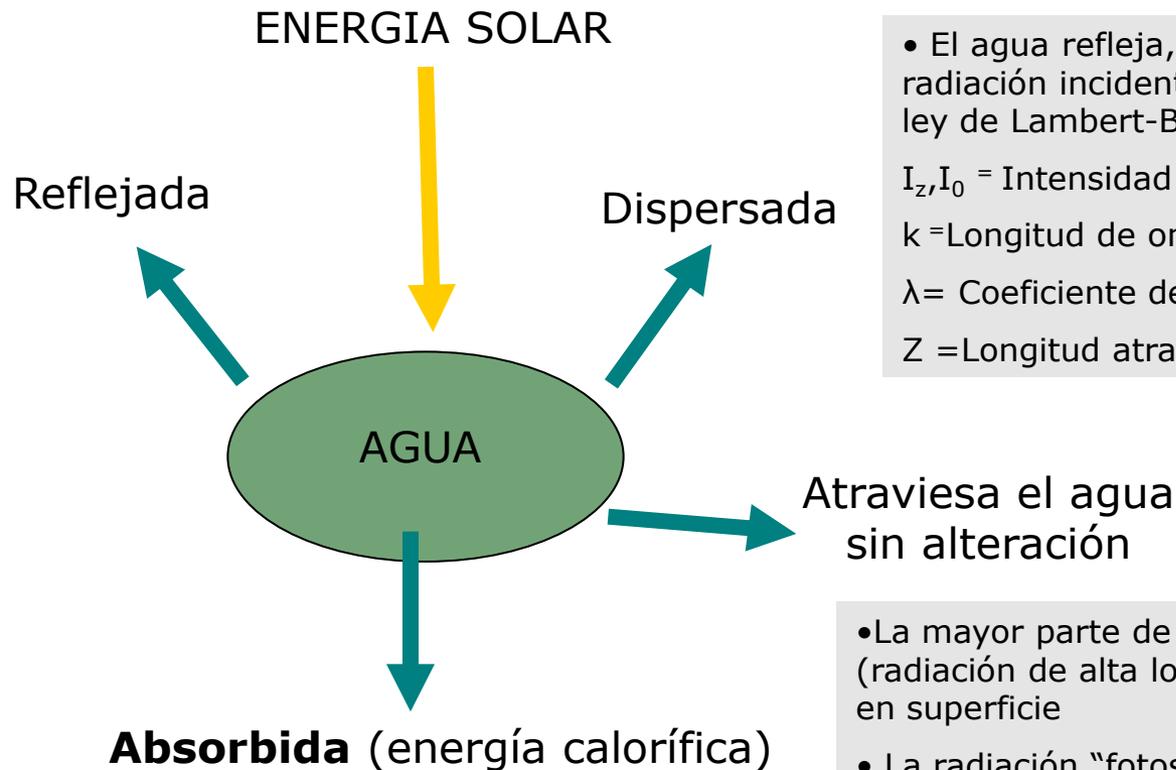
I_z = irradiancia a la profundidad z

n = coeficiente de extinción

La radiación solar cambia a lo largo del día y en las estaciones del año, lo cual afecta a la producción primaria de los ecosistemas acuáticos.



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.



- El agua refleja, absorbe y dispersa la radiación incidente, que se atenúa según la ley de Lambert-Beer: $I_{\lambda z} = I_{\lambda 0} e^{-k\lambda z}$

I_z, I_0 = Intensidad entrante y saliente

k = Longitud de onda de la luz absorbida

λ = Coeficiente de extinción

Z = Longitud atravesada

- La mayor parte de la energía calorífica (radiación de alta longitud de onda) se detiene en superficie

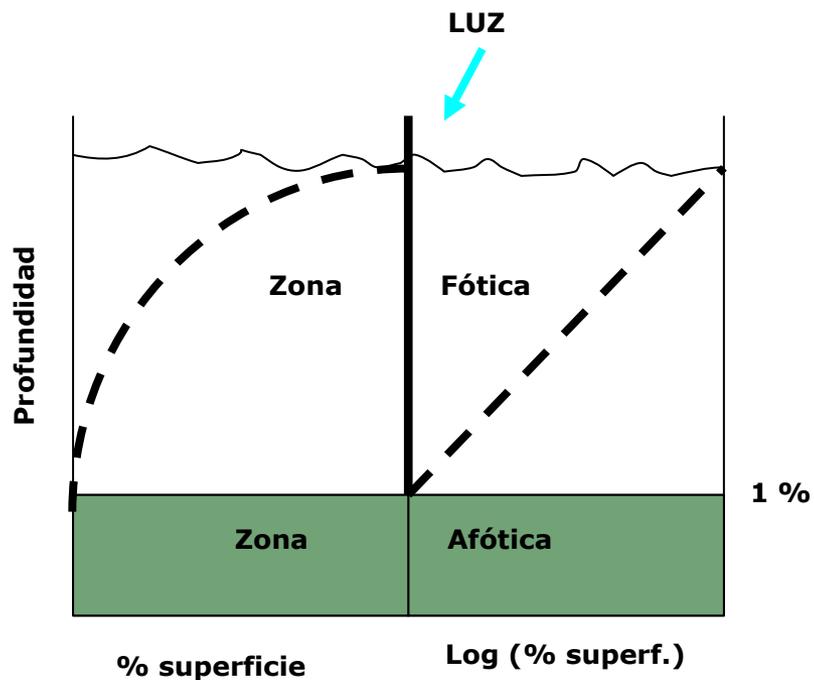
- La radiación "fotosintética" se extinguen con la profundidad (unos 100 metros)

- Más del 50 % del total de energía luminosa es absorbida en los primeros metros de la columna de agua.

- La profundidad a la que puede penetrar la luz depende de la cantidad de sustancias disueltas y en suspensión del agua.

- La absorción en una columna de agua uniforme es exponencial, es decir la luz se reduce en una proporción fija respecto a la profundidad.

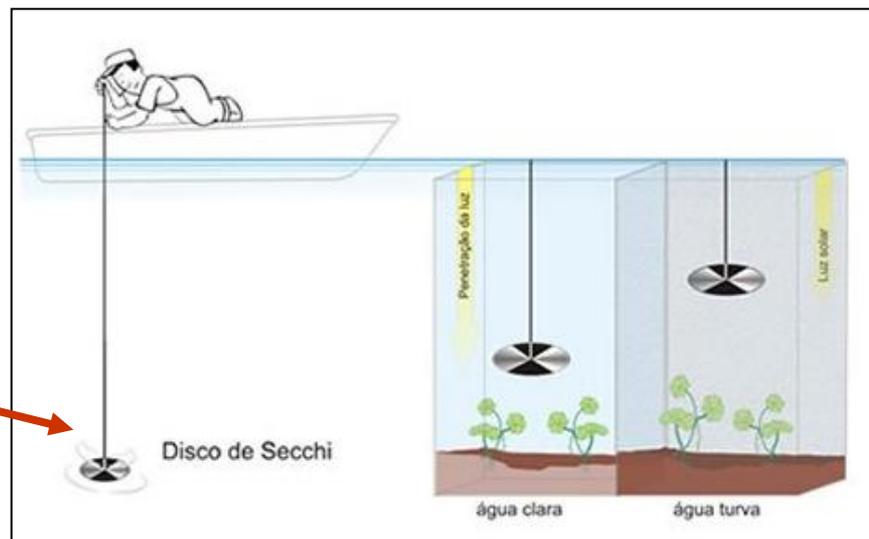
4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.



- La pendiente de la línea recta es el coeficiente de extinción
- El volumen donde la intensidad de la luz está por encima del 1 % del valor de la superficie es la zona fótica o eufótica (donde la fotosíntesis supera a la respiración)
- Por debajo del 1% está la zona afótica, donde la respiración consume más oxígeno que el que es producido por la fotosíntesis
- El límite entre ambas es la profundidad de compensación

¿Cómo se mide la luz?

- Métodos fotoeléctricos
- Disco de Secchi: es un disco de 20 cm de diámetro. Mide la transparencia, es decir la profundidad de la máxima visibilidad.



http://www.cmbconsultoria.com.br/wp-content/gallery/cache/104_x_ilustradiscosecchi.jpg

4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.

• IMPORTANCIA DE LA LUZ

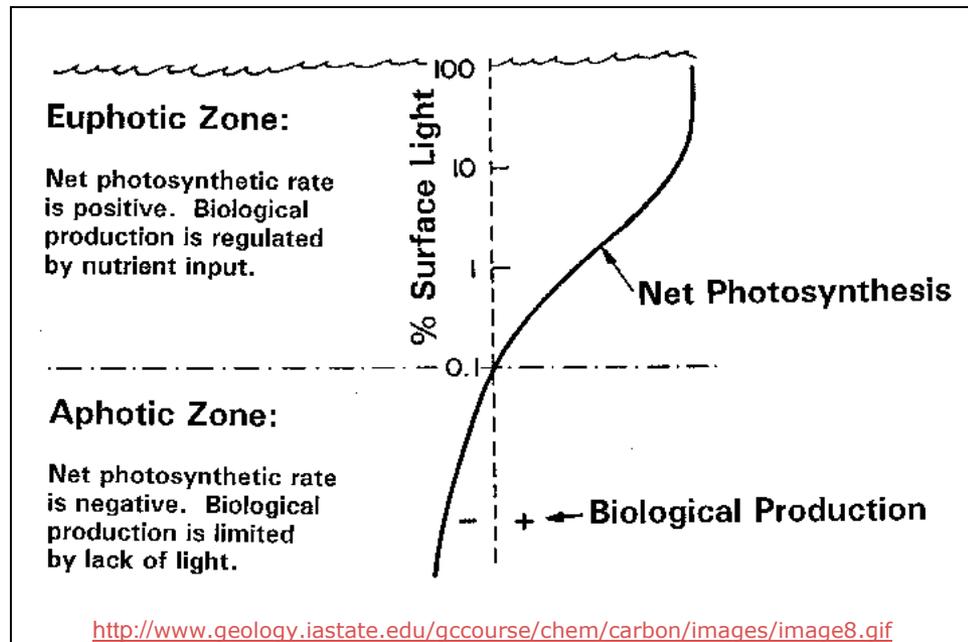
-Fotosíntesis

- Algas y macrófitos necesitan entre 4-9 cuantos de luz para reducir una molécula de CO₂
- Cada pigmento tiene una absorción específica (clorofila "a" 640-405 nm; clorofila "b" 620-440 nm)
- La tasa de fotosíntesis no es mucho mayor a intensidades altas de luz debido al efecto de inhibición

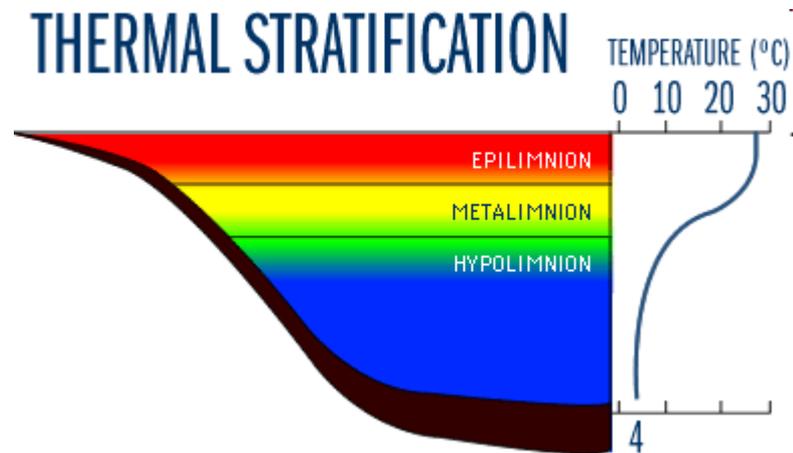
-Afecta a la actividad de los organismos acuáticos (por ejemplo en la Deriva)

-En las aguas subterráneas

- Pérdida de visión: organismos ciegos



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.



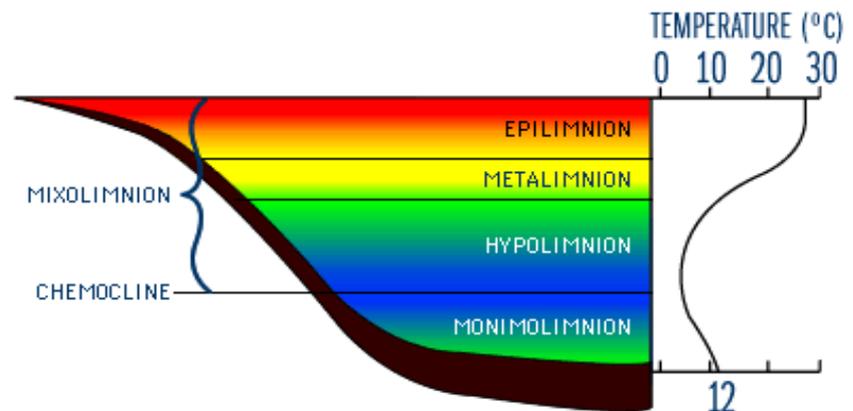
- El calor se pierde en superficie por evaporación del agua,
- y se transmite hacia abajo lentamente por conducción
- o más rápidamente con ayuda de las turbulencias generadas por el viento
- lo que genera diferencias en la densidad de distintas capas del agua y acaba *estratificándolas*

http://pearl.maine.edu/windows/community/Water_Ed/Images/thermalstrat.gif

Hay casos en que la circulación vertical por la turbulencia y el viento no llega hasta las aguas más profundas. Se produce entonces *meromixis* y es debido a:

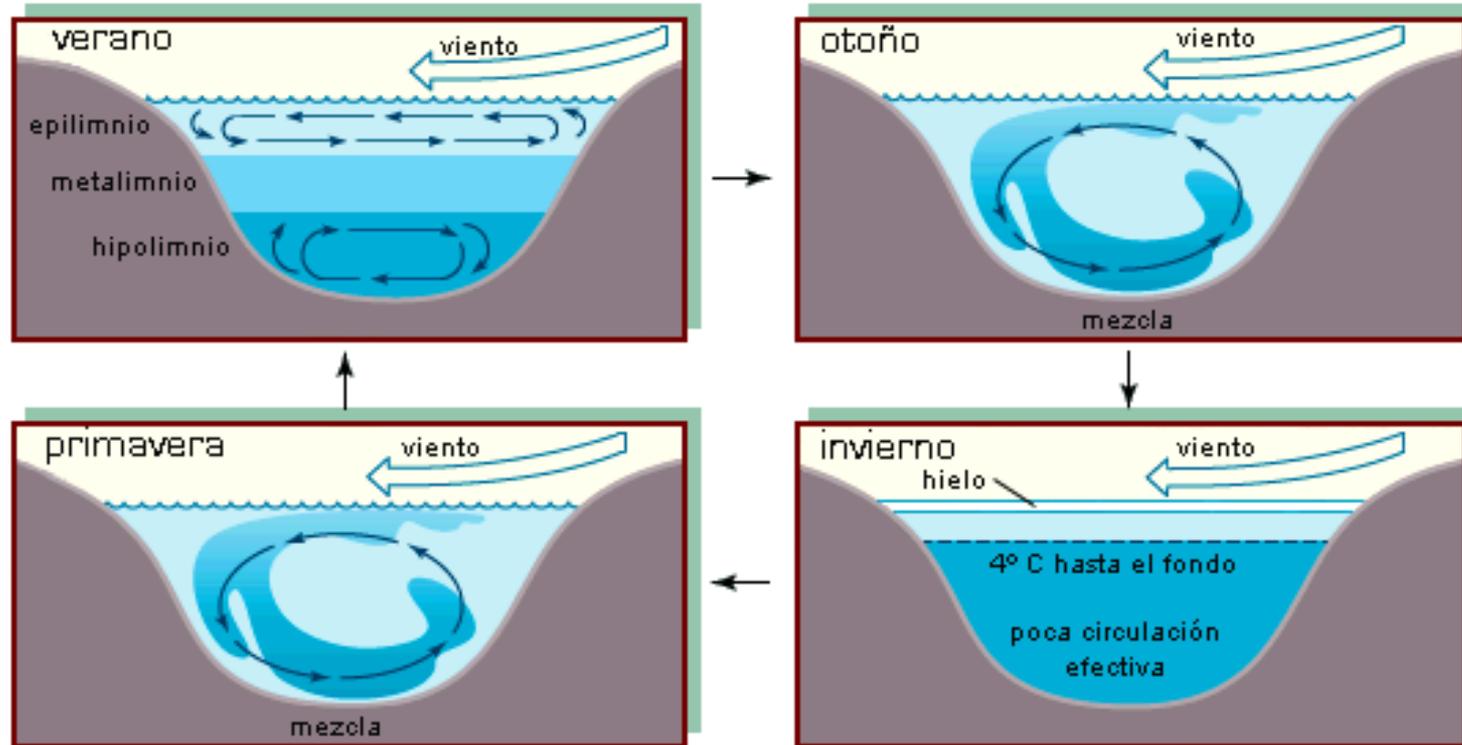
- La presencia de aguas salinas (más densas) en el fondo (p.e., fiordos)
- A masas de agua aisladas tras un invierno muy frío.
- Por intrusión de aguas subterráneas que aumentan la turbidez y, como consecuencia, la densidad (p.e., lagos cársticos como Bañolas)

STRATIFICATION OF A MEROMICTIC LAKE



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.

Ciclo estacional de temperatura y circulación en un lago de la zona templada (lago dimictico)

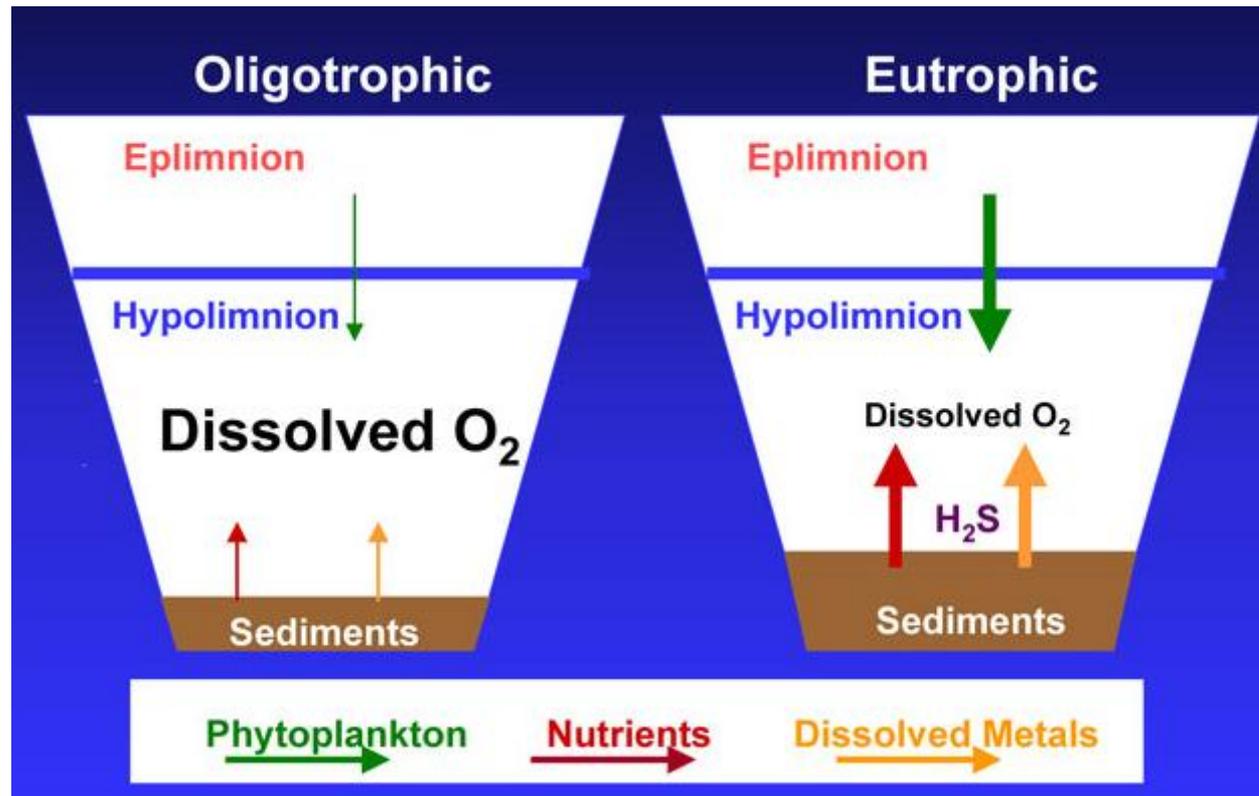


Los lagos pueden ser clasificados en función de la estratificación térmica:

<http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html#clases>

La termoclina de los embalses suele formarse a mayor profundidad que la de los lagos, en parte debido a la extracción de agua por el fondo de la presa, que la hace descender. En general, la termoclina de los embalses se encuentra entre los 7 y 20 metros de profundidad.

4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.



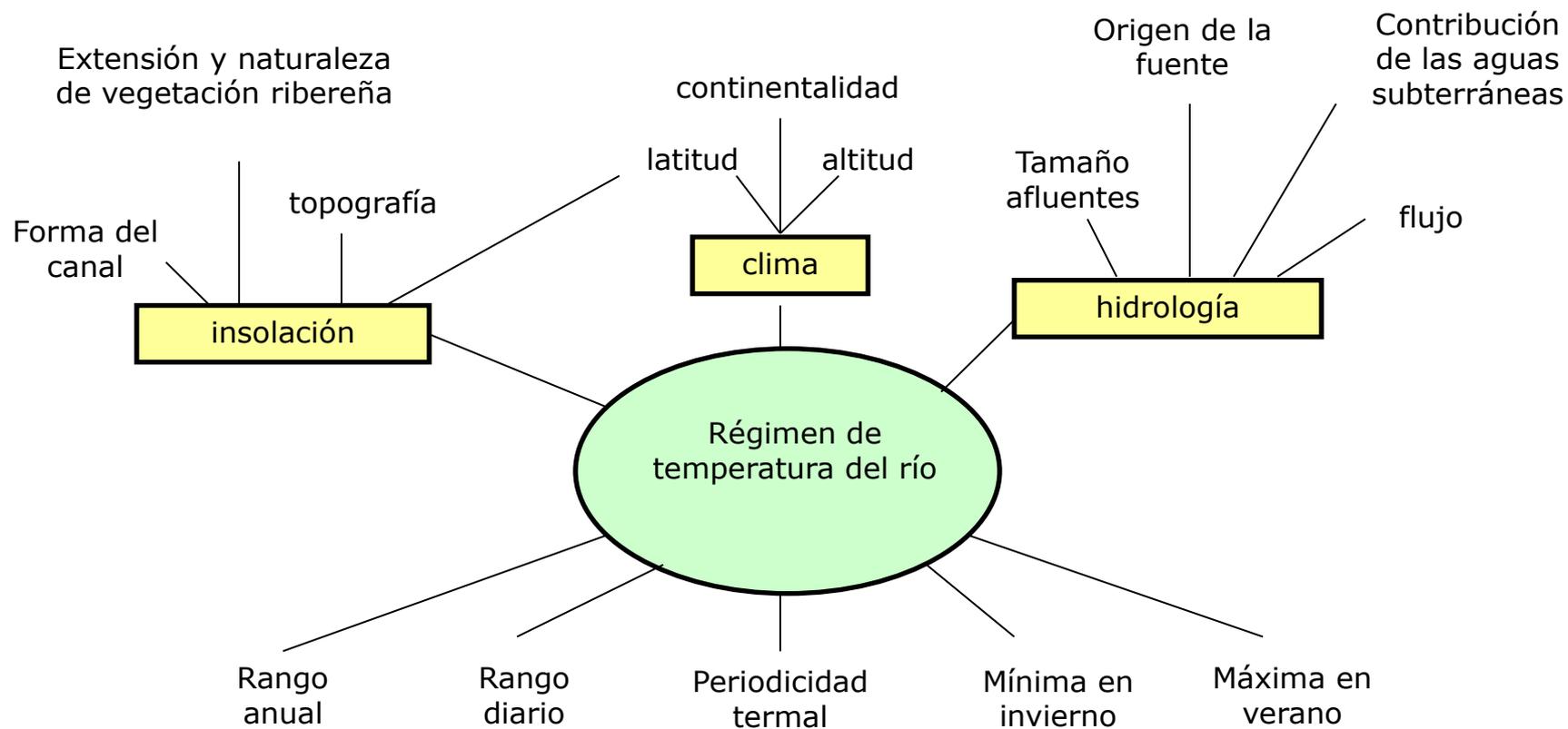
<http://www.aqualinkinc.com/images/lake-stratification-750x562.jpg>

- Todo este proceso tiene consecuencias para la vida, entre otras razones porque influye en la concentración de oxígeno del agua.
- En el gráfico se observa el efecto que tiene la termoclina sobre la concentración de oxígeno en dos lagos, uno eutrófico y otro oligotrófico

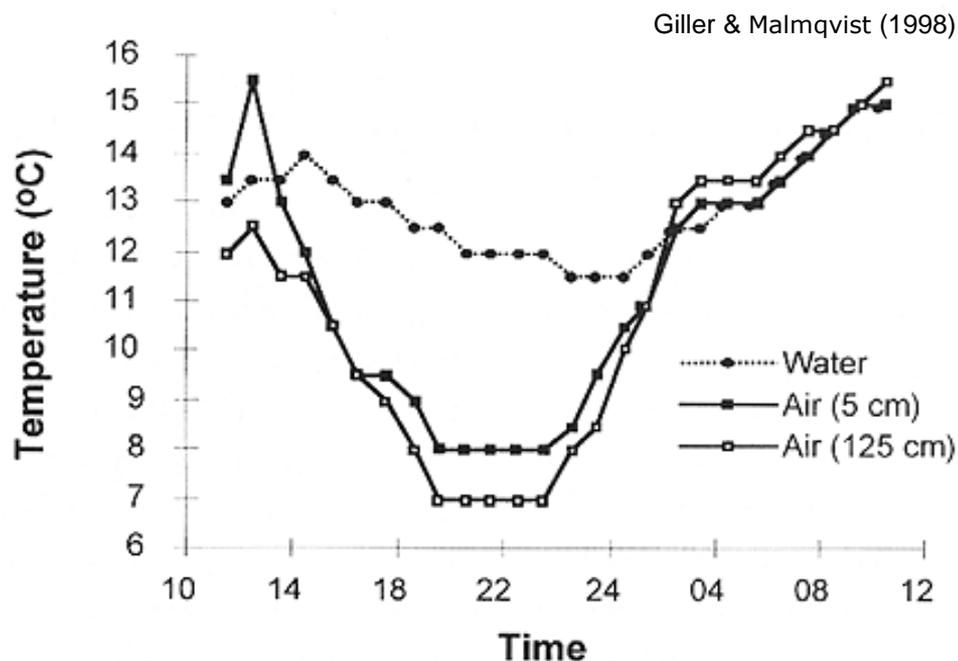
Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, Tª y estratificación térmica.

- La temperatura en los ríos varía a escala temporal (diaria, estacional) y a escala espacial (dependiendo de su situación latitudinal y altitudinal)



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: luz, T^a y estratificación térmica.

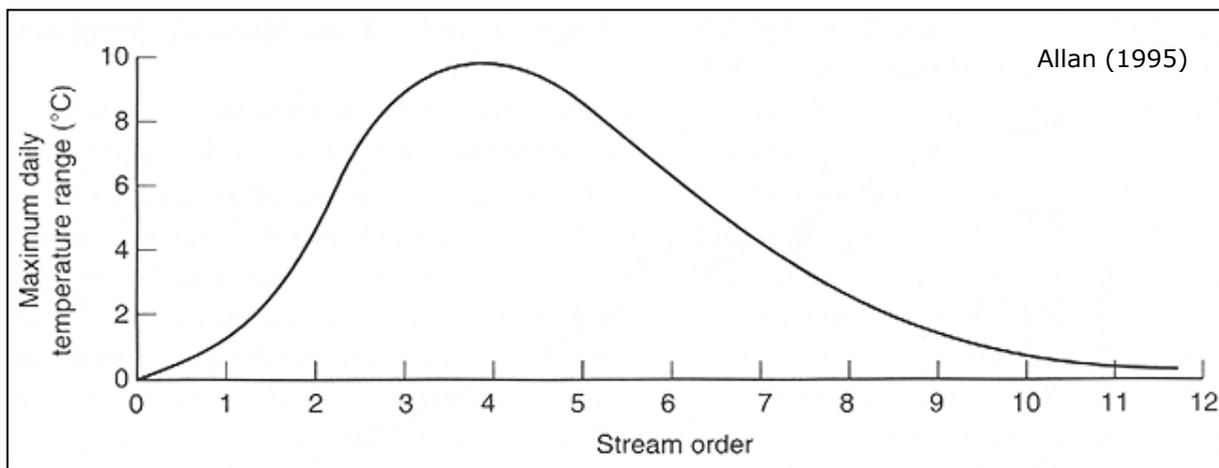


Variación de la temperatura diaria en un río de la región templada, rodeado de bosque, en marzo. Se presenta la temperatura del agua, la del aire a 5 cm del suelo y a 125 cm

¿Dónde hay mayor fluctuación diaria? ¿Por qué?

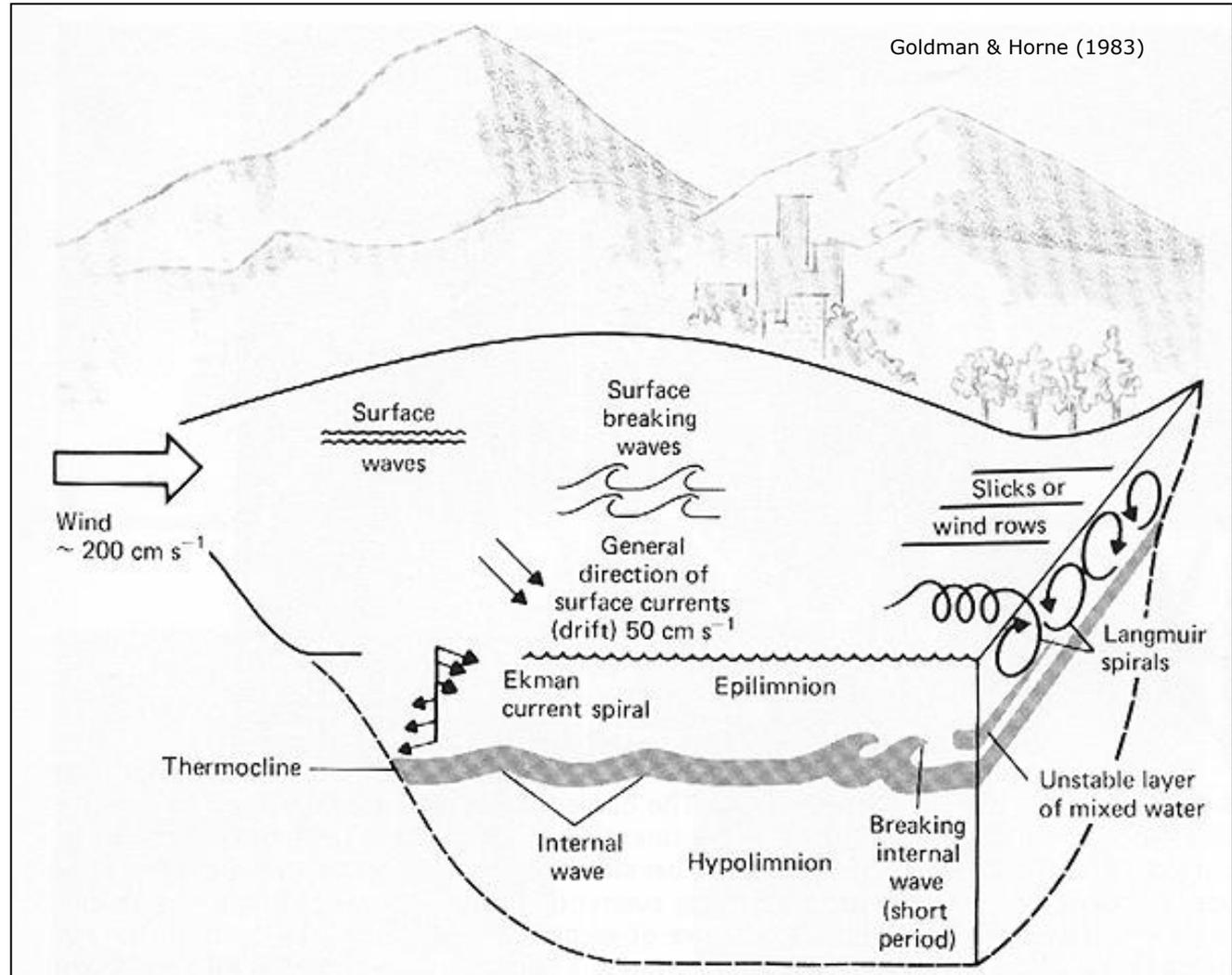
Rango de temperatura máxima diaria del agua en relación al orden del cauce (stream order) en ríos de la región templada

¿Por qué en los cauces de orden intermedio la temperatura máxima es mayor?



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: Movimientos del agua.

En el diagrama se presentan las fuerzas (viento, gravedad, evaporación y rotación de la tierra) y las corrientes de agua y olas resultantes. El viento mueve el agua, la gravedad hace que el flujo horizontal sea más tranquilo que el vertical, la evaporación enfría la superficie del agua la cual entonces se sumerge y la rotación terrestre mueve el flujo superficial hacia la derecha (en el hemisferio norte) y hacia la izquierda (en el hemisferio sur).



4. Propiedades físicas del agua y sus implicaciones limnológicas: Movimientos del agua.

En un río se pueden distinguir distintos flujos de agua:

- Flujo laminar: velocidades lentas, movimientos uniformes, etc
- Flujo turbulento: altas velocidades, movimientos caóticos, choques entre partículas.
- La cantidad de turbulencias puede ser predicha por el *numero de Reynolds*

$$Re = \rho Dv/\mu$$

ρ = densidad

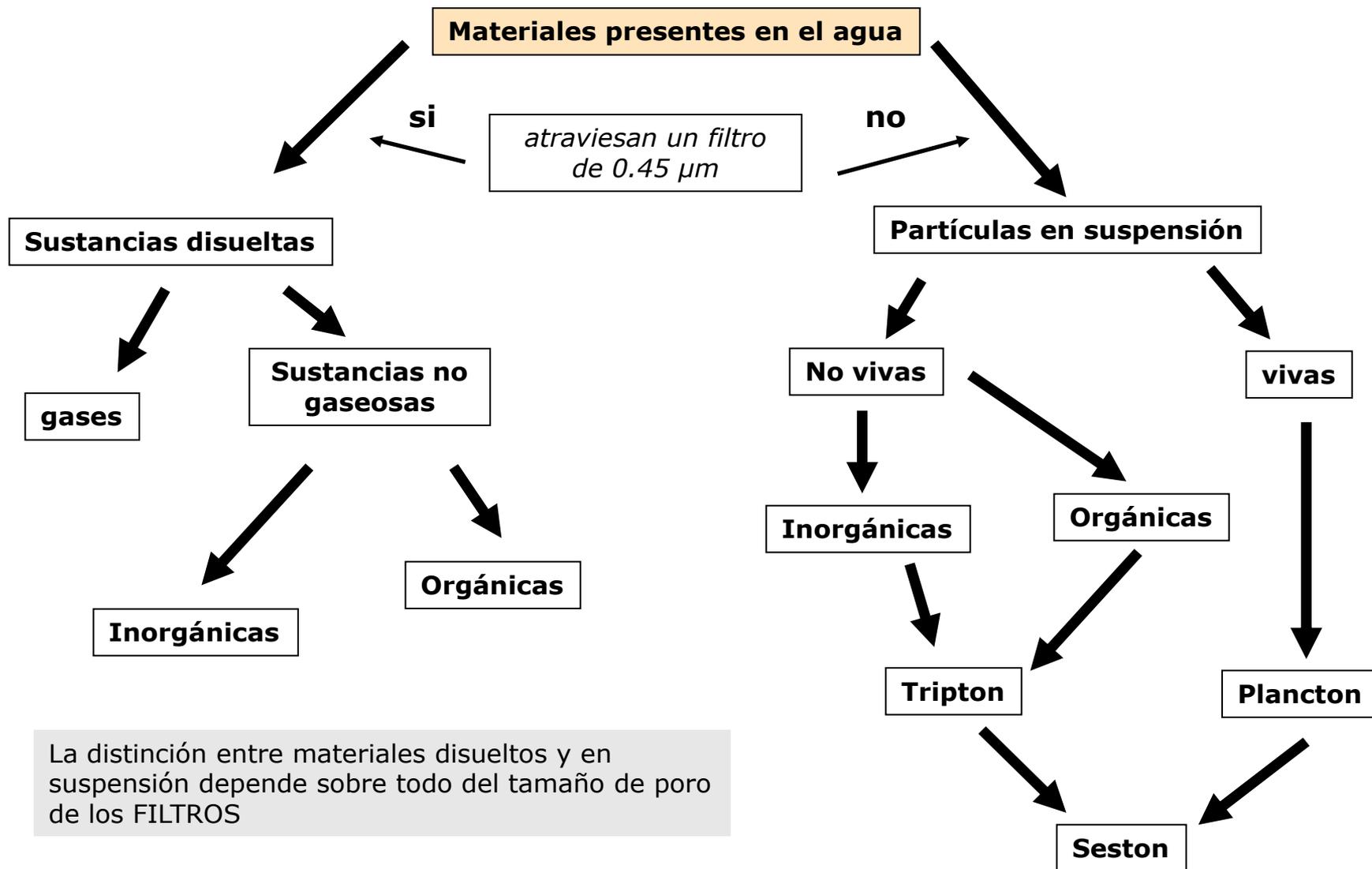
D = diámetro del canal o tubo

v = velocidad

μ = viscosidad

- Un valor alto de Re implica altas velocidades en una capa ancha de agua o baja viscosidad, o una combinación de los tres factores.
- Cuando $Re < 500$ el flujo será laminar. Cuando $Re \approx 2000$, el flujo será turbulento.

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.



5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

¿Cómo cambia la composición del agua de lluvia después de correr por el suelo?

Composición del agua dulce de Hubbard Brook, New Hampshire (USA). Concentraciones medias entre 1963-74.

	Agua de lluvia	Agua de escorrentía	Circulación por terreno deforestado
	% equivalentes	% equivalentes	% equivalentes
Ca²⁺	7.9	47.9	60
Mg²⁺	3.25	18.2	19.5
Na⁺	5.16	25.3	9.75
K⁺	1.77	3.44	12.4
H⁺	71.58	6.96	
NH₄⁺	12.06	1.83	
SO₄²⁻	59.7	76.9	14.9
NO₃⁻	23.5	18.9	
Cl⁻	13.2	9.04	4.5
HCO₃⁻	0.097	8.85	

Describe lo que ocurre en cada caso

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO_2); en suspensión.

La salinidad

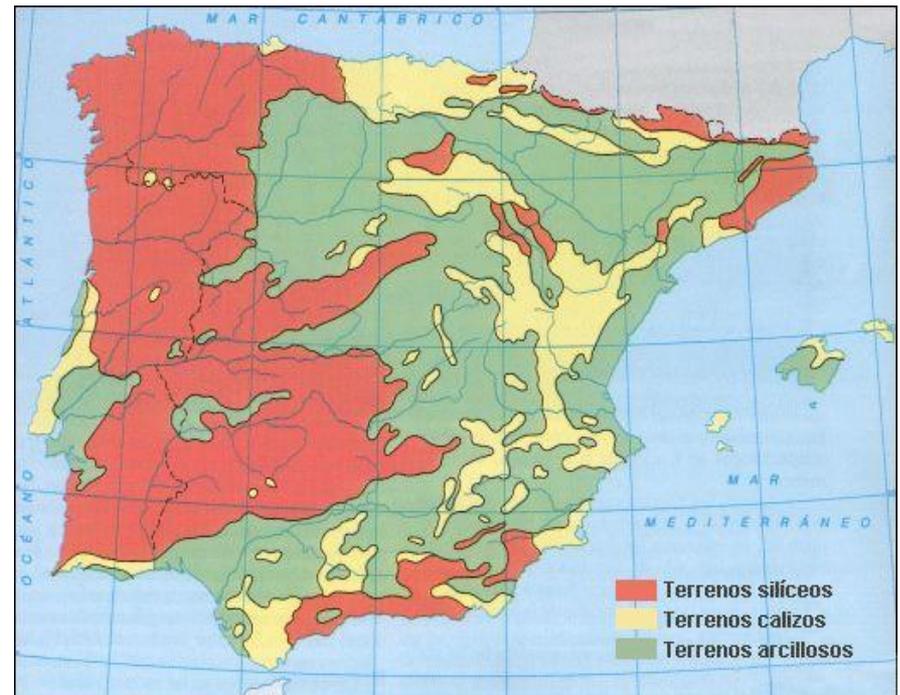
- La cantidad de sólidos disueltos en un kg de agua, expresado en g es la SALINIDAD
- La salinidad de las aguas continentales está determinada fundamentalmente por
 - 4 aniones: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
 - 3 cationes: $\text{CO}_3^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$, Cl^-

La salinidad muestra una relación positiva y altamente significativa con la Conductividad eléctrica, que se define como la cantidad de electricidad transportada de un electrodo a otro en un segundo a través de una sección de un cm^2 , a una diferencia de potencial de un voltio y se expresa en $\mu\text{Siemens/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$) (NO se cumple a altas salinidades).

Los sólidos totales disueltos (STD) es otra medida equivalente a la salinidad y se obtiene filtrando una muestra de agua, evaporando el filtrado ($<100^\circ\text{C}$) y midiendo el peso seco.

Aguas blandas contienen baja concentración de sales: drenaje de rocas ígneas.

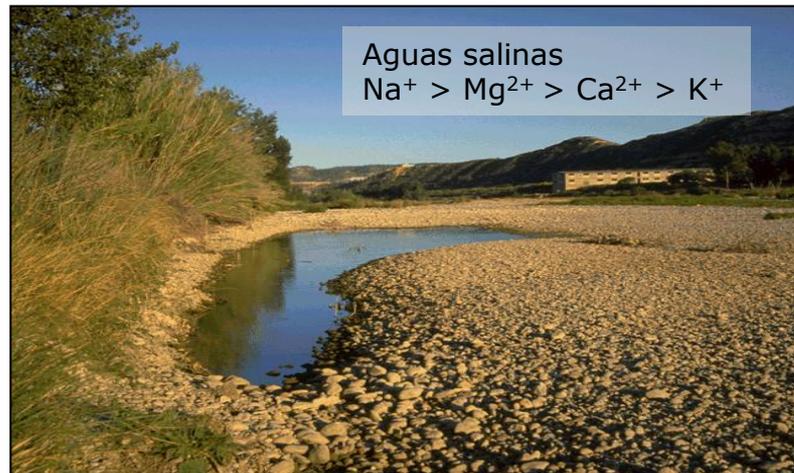
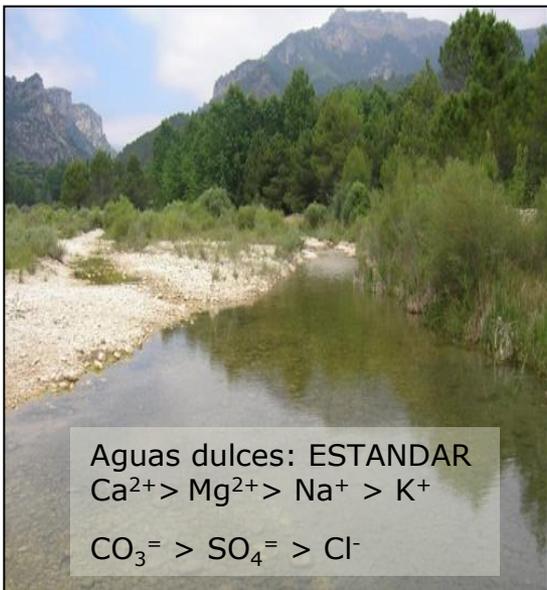
Aguas duras contienen altas concentraciones de sales: drenaje de terrenos calizos



<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/corteza/img/LITOLOGI.jpg>

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO_2); en suspensión.

Distribución de los iones principales



Aguas dulces y duras: $\text{CO}_3^{=} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=}$

Terrenos blandos : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=} > \text{CO}_3^{=}$

Terrenos con cloruros: $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{=} > \text{SO}_4^{=}$

La salinidad de las aguas continentales depende de:

Escorrentía

Geología de la cuenca de drenaje (incluido edad de los materiales)

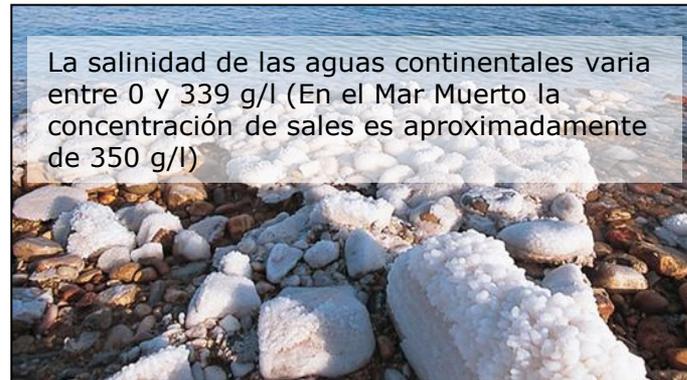
Tamaño de la cuenca

Distancia al mar

Las entradas atmosféricas (precipitación)

Procesos de evaporación-precipitación

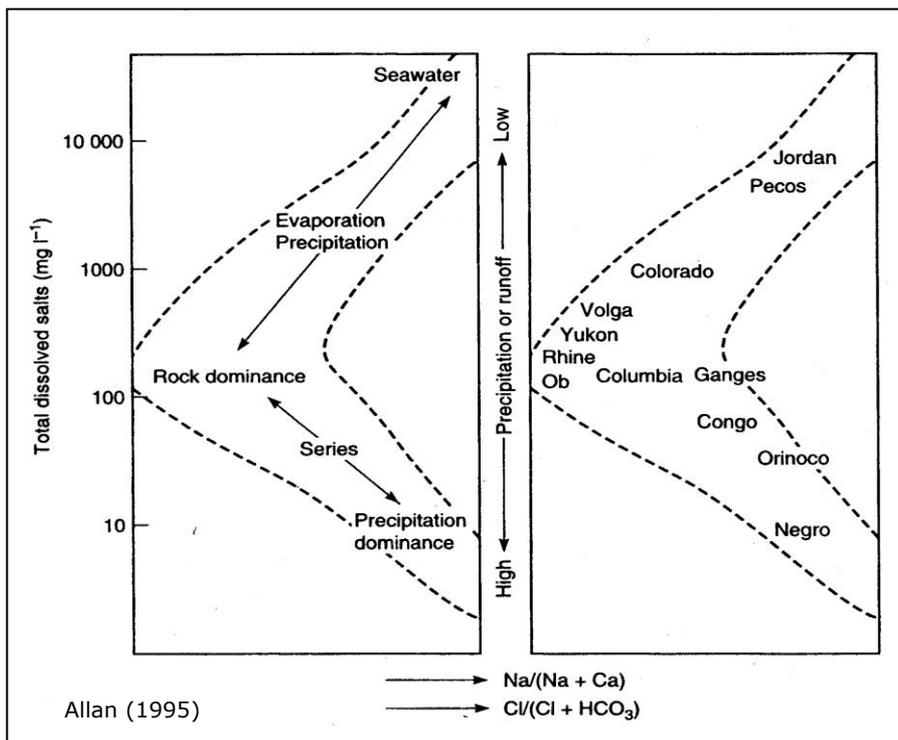
Se admite que a partir de 3 – 3.5 g/l las aguas son salinas.



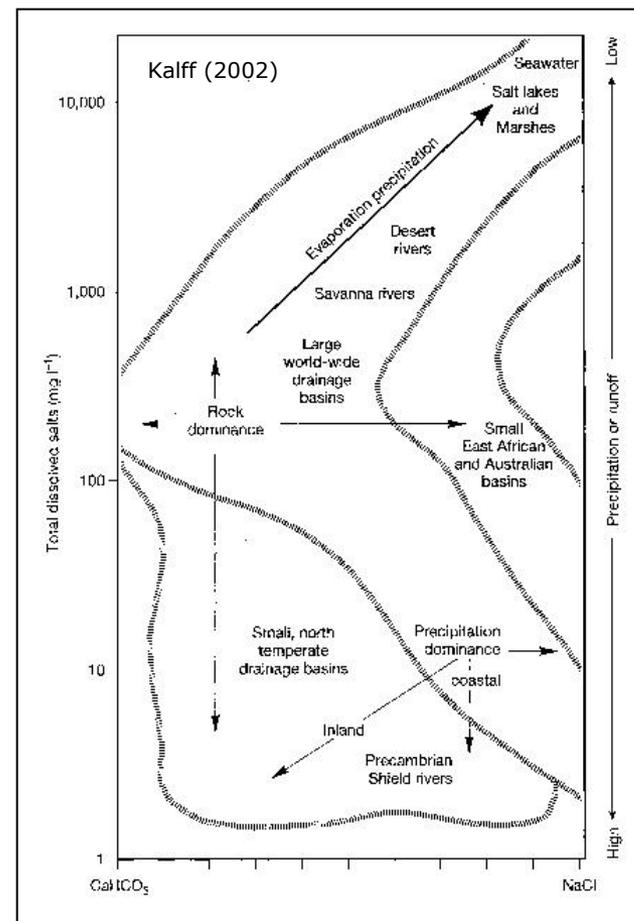
http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun_75.Ies.SCO.jpg

Secuencia de precipitación: CO_3Ca (calcita) $\rightarrow \text{CO}_3\text{Mg}$ (Dolomita : $(\text{CO}_3)_2 \text{CaMg}$) $\rightarrow \text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso)

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.



Esta gráfica es una modificación de la anterior, cuando se le incluyen muchos más datos sobre ríos de otras partes del mundo. Nota como el esquema se desvirtúa bastante.



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).

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

Salinidad (g/l) y principales iones (entre paréntesis su concentración en %) en algunos lagos salinos. Observar la alta variabilidad tanto en la salinidad como en la composición iónica.

Lake/Sea	Salinity (g l ⁻¹)	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	+CO ₃	
Redberry (CA)	18	1.9 (29.2)	0.2 (1.7)	0.1 (1.8)	2.3 (67.4)	0.2 (2.2)	12.5 (83.1)	0.6 (3.2)	0.1 (1.5)	
Van (TR)	23	8.1 (94.8)	0.4 (2.8)	0.0 (0.1)	0.1 (2.4)	5.9 (44.6)	2.4 (13.6)	2.4 (10.7)	3.5 (31.1)	
Seawater	35	10.8 (77.0)	0.4 (2.0)	0.4 (4.0)	1.3 (18.0)	19.4 (90.0)	2.7 (9.3)	0.1 (0.4)	0.0 (0.0)	
Bogoria (KE)	36	14.4 (98.6)	0.3 (1.2)	0.0 (0.2)	0.0 (0.0)	3.4 (14.1)	0.2 (0.6)	17.7 (85.3)		
Gallocanta (ES)	40	7.9 (53.1)	0.2 (1.0)	0.3 (2.6)	3.4 (43.3)	18.1 (71.3)	9.7 (28.3)	0.0 (0.0)	0.1 (0.3)	España
Soda (US)	82	20.0 (71.4)	1.5 (3.2)	0.6 (2.6)	3.4 (22.7)	4.1 (9.5)	50.4 (86.2)	1.5 (2.0)	0.8 (2.3)	
Mono (US)	89	29.5 (96.9)	1.5 (2.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.2)	17.6 (32.6)	10.3 (14.1)	11.2 (12.0)	18.9 (41.3)	
Eyre (AU)	116	45.8 (96.4)	0.0 (0.0)	0.9 (2.3)	0.3 (1.3)	68.0 (95.9)	2.9 (4.1)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	
Dead Sea (IR, JO)	295	38.5 (29.7)	6.5 (2.9)	16.4 (14.5)	36.1 (52.8)	196.9 (98.7)	20.6 (0.2)	0.2 (0.1)	0.0 (0.0)	
Great Salt Lake (US)	332	106.4 (80.6)	6.7 (3.0)	0.3 (0.3)	11.1 (16.0)	181.0 (89.8)	27.0 (9.9)	0.5 (0.2)	0.3 (0.2)	
Don Juan (AQ)	339	11.5 (7.9)	0.2 (0.7)	114.0 (90.4)	1.2 (1.6)	212.0 (100.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	

Source: From Hammer 1986.

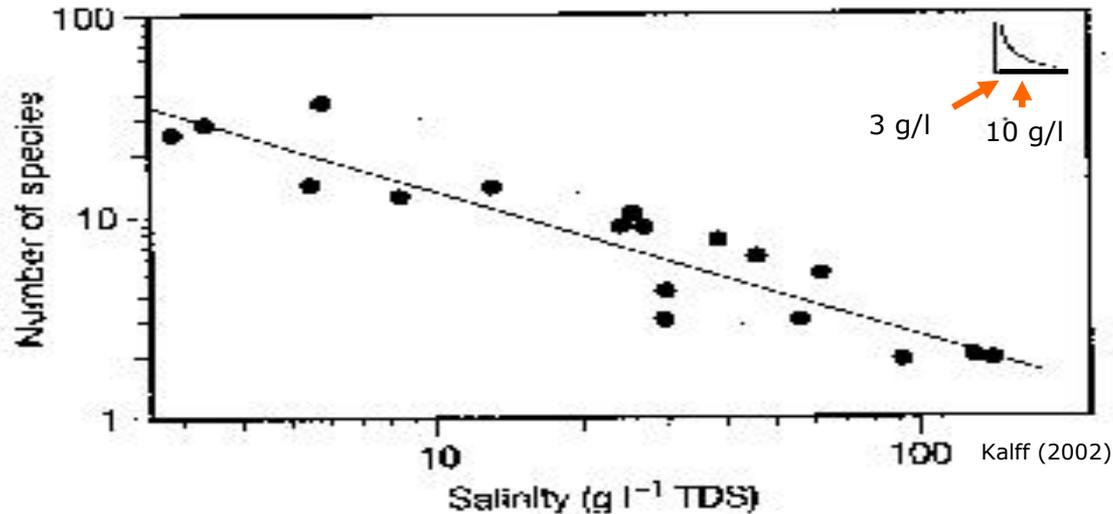
Kalff (2002)

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO_2); en suspensión.

Se han hecho muchos intentos por buscar valores para distinguir las aguas dulces de las salinas. En general se admite que:

- Las aguas salinas son aquellas que tienen una salinidad superior a 3 g/l ($5.500 \mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C .
- Las aguas dulces tienen una salinidad inferior a 0.5 g/l ($670 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C).
- Las aguas subsalinas están entre estos dos valores.
- El agua de mar tienen una salinidad entre 33 y 35 g/l

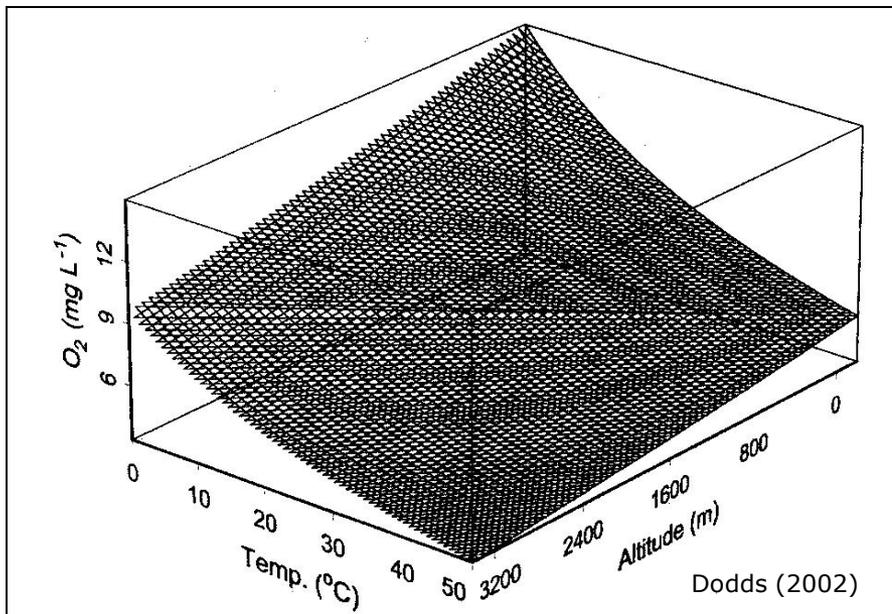


Relación entre el logaritmo de la riqueza de especies de macrobentos y la salinidad (expresada en sólidos totales disueltos) de 18 lagos en Canadá. Observa, en la parte derecha y arriba de la figura, como entre 3 y 10 g/l de salinidad disminuye rápidamente la riqueza de especies y como lo hace más despacio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

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

El oxígeno: solubilidad y difusión

- Las aguas superficiales contienen entre 8-14 ppm O₂
 - No cambia su estructura química al disolverse en el agua
 - Solubilidad del oxígeno es directamente proporcional a la presión parcial del mismo e inversamente proporcional a la temperatura.
-
- La solubilidad del oxígeno depende de la **Temperatura**, de la **Altitud** y de la **Salinidad**



- La solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura.
- Aumenta al hacerlo la presión atmosférica (a mayor altitud menor solubilidad).
- Aumenta con la profundidad.
- Disminuye con la salinidad.
- La concentración de oxígeno en el agua puede exceder el nivel de saturación.

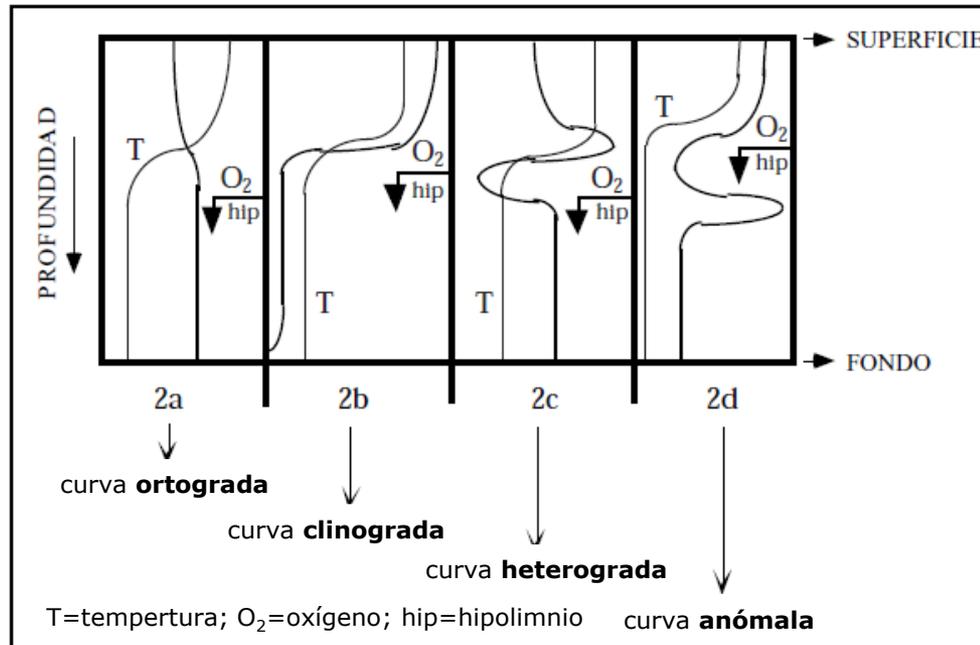
El grado de difusión del oxígeno depende de la turbulencia. Suponiendo un agua inicialmente desprovista de oxígeno, al cabo de un año la concentración a una profundidad de 6 m sería de 0.25 ml/l

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

Distribución espacio-temporal del oxígeno en los ecosistemas de aguas continentales

Perfiles verticales de la distribución de oxígeno en cuerpos de agua estratificados

En cuerpos de agua oligotróficos, que presentan una baja actividad fotosintética la distribución del oxígeno a lo largo de la columna de agua varía en función de la temperatura. Este patrón se conoce como curva **ortograda** (2a). Como veis no se observan cambios apreciables en la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del perfil de profundidad.



* Modificada de Horne y Goldman (1994).

La curva **clinograda** (2b) presenta un contenido relativamente mayor de oxígeno cerca de la superficie, donde se desarrolla la actividad fotosintética. Este patrón de distribución vertical de oxígeno se observa en cuerpos de agua estratificados, con una alta productividad. Se produce una reducción significativa de oxígeno en el hipolimnio, como resultado de la descomposición aeróbica de la materia orgánica.

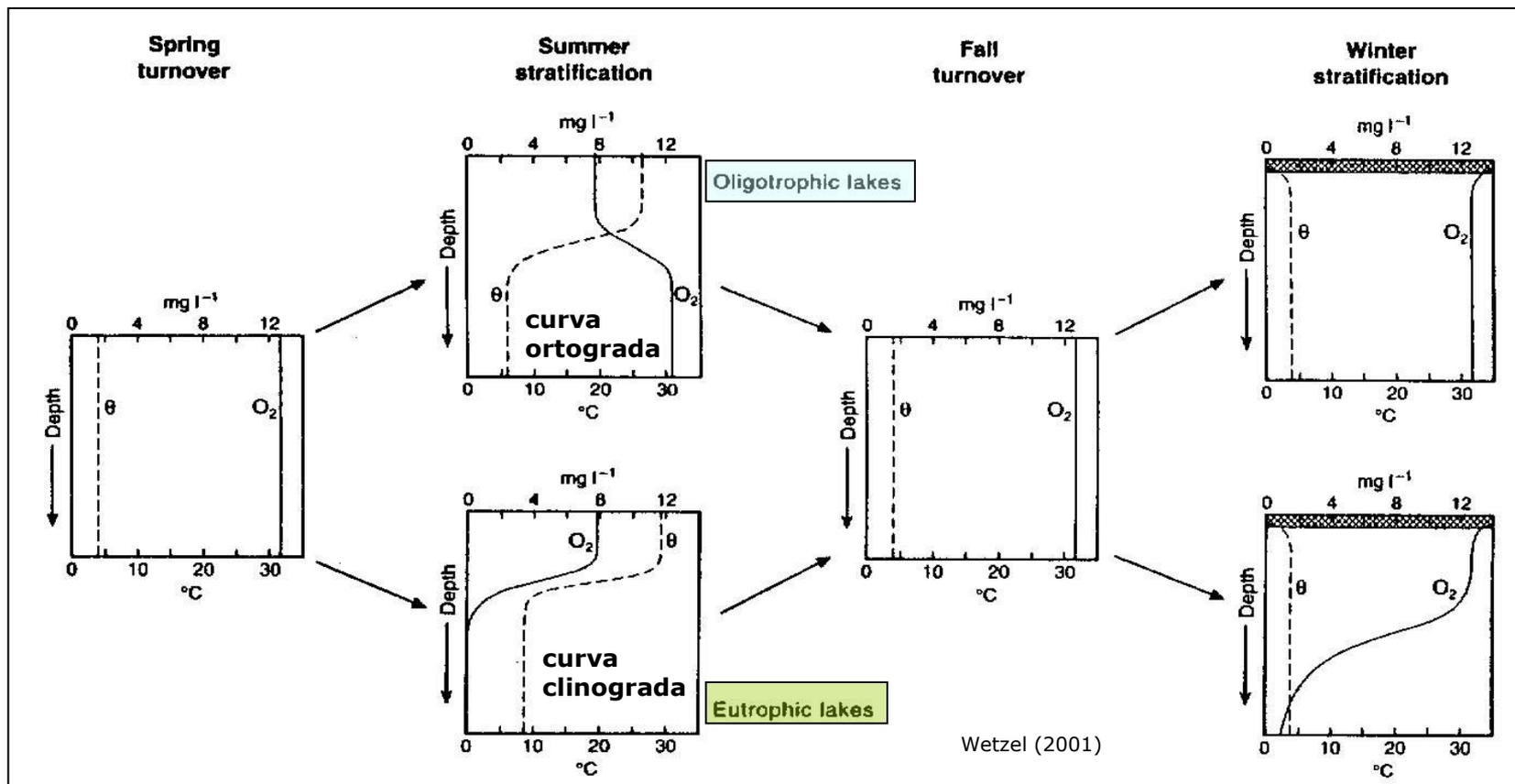
La curva **heterograda** (2c) presenta una pendiente irregular en profundidad, que puede ser negativa (disminución O₂ disuelto) debido a la acumulación de organismos heterótrofos de manera que la respiración domine sobre la actividad fotosintética. También puede ser positiva cuando hay muchos organismos fototróficos.

Se pueden obtener curvas **anómalas** en la distribución vertical del oxígeno disuelto debido a la entrada de aguas superficiales frías, ricas en oxígeno (2d). El mismo fenómeno puede producirse también por la estratificación a profundidades intermedias de afluentes que tienen una concentración de oxígeno diferente.

Modificado de: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>

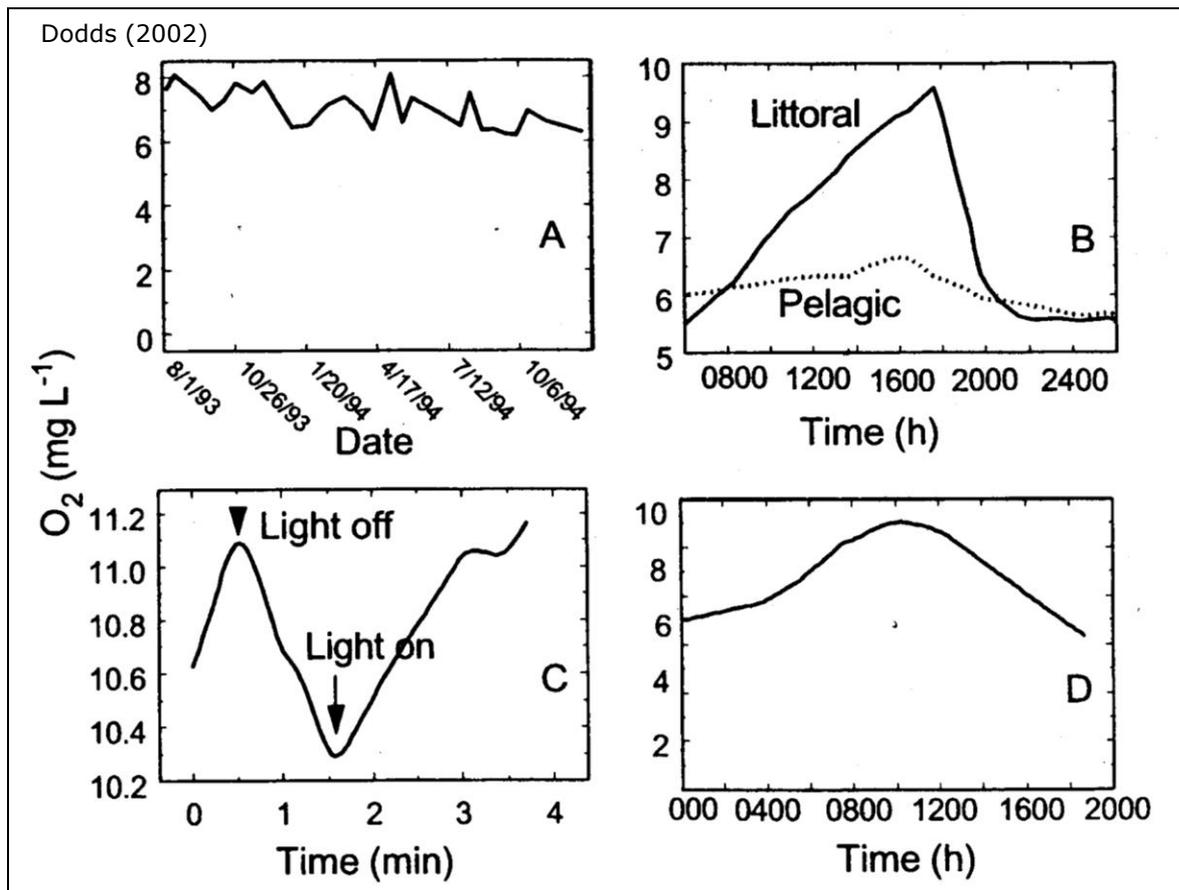
5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO_2); en suspensión.

Distribución vertical ideal de las concentraciones de oxígeno y temperatura durante las cuatro estaciones del año en dos lagos dimícticos: uno oligotrófico y otro eutrófico



Observa como cambian las concentraciones de oxígeno y la temperatura a lo largo del año.
Intenta darle una explicación.

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

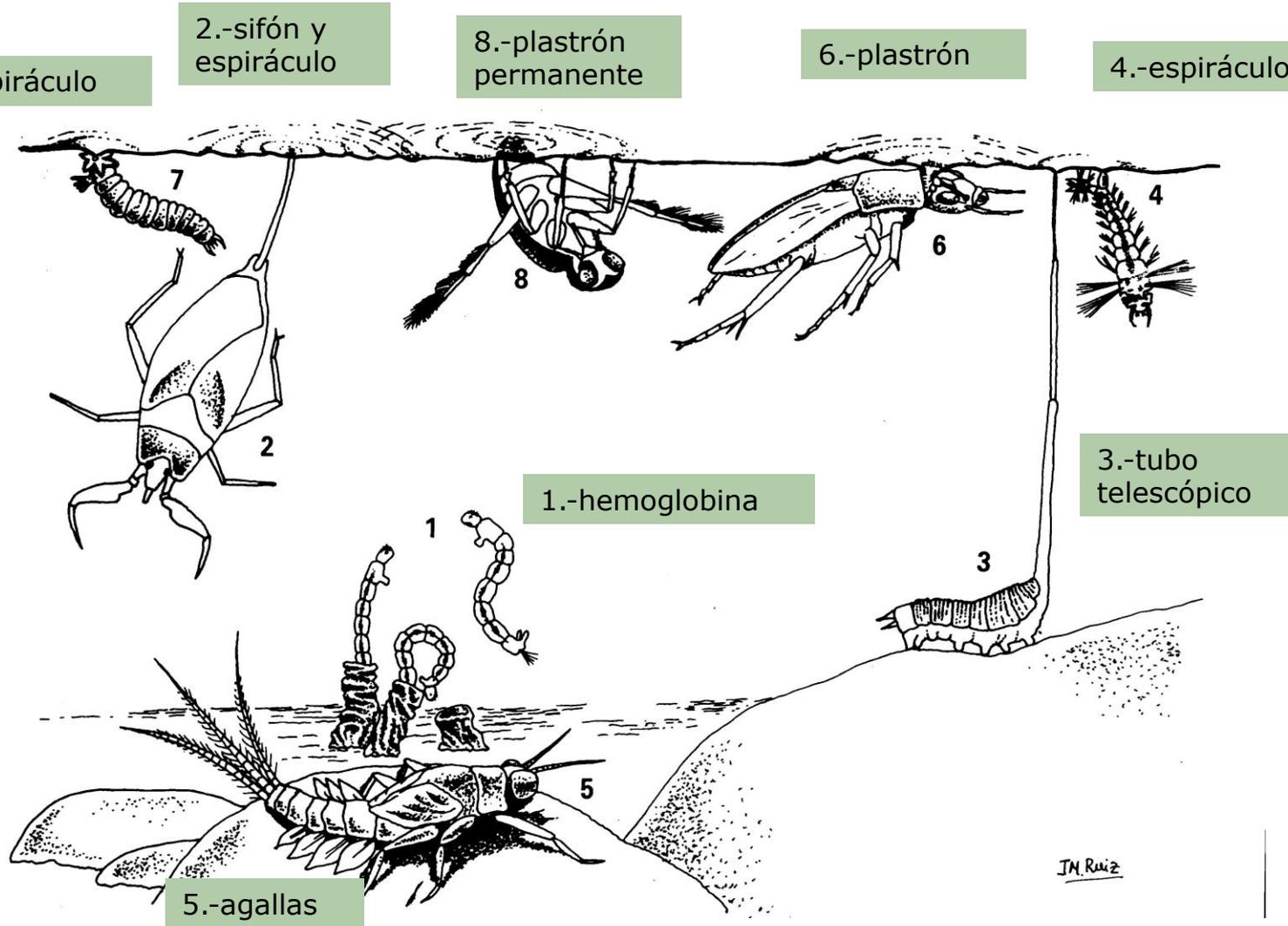


Variación temporal del oxígeno en: (A) aguas subterráneas de Kansas, (B) zonas pelágica y litoral de un lago en Indiana, (C) una comunidad de perifiton, (D) en un río.

Observa la escala de tiempo a la que ocurre cada fenómeno.

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

La respiración de los organismos acuáticos



5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

El pH

El término pH expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación, así como de su concentración

El agua se disocia según: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

Los H⁺ no existen en disolución, se unen a moléculas de agua para formar puentes de H

$\text{pH} = \log 1/\text{H}^+$ **p** del pH es el potencial de actividad del ión H⁺

En agua dulce pH = 6.5 – 8.7

Hay aguas ácidas, volcánicas, o de drenaje de minas, con pH <3

Hay aguas alcalinas, muy ricas en sodio con pH > 9

el pH en algunos humedales puede tener valores menores de 4.0

El agua de lluvia en equilibrio con el CO₂ atmosférico debería tener un pH alrededor de 5.6, si consideramos al ácido carbónico como única fuente del ión H⁺. No obstante, en algunas áreas de nuestro planeta el pH de la lluvia presenta valores muy por debajo de este valor. Este fenómeno se conoce con el nombre de **lluvia ácida**.

El pH regula muchos procesos biológicos mediados por enzimas (p.e. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales (p.e. NH₄⁺, PO₄⁻³ y Mg²⁺); o la movilidad de metales pesados como el cobre, que es tóxico para muchos organismos.

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

El potencial redox

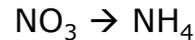
Potencial red-ox (Eh) = presión eléctrica existente en un líquido como resultado de las concentraciones respectivas de oxidantes y reductores.

Oxidación = pérdida de electrones
Reducción = ganancia de electrones

Elementos oxidantes = capaces de captar electrones : Cl, O, S
Elementos reductores = capaces de ceder electrones : Ca, K, Mg, Na

Un sistema de oxidación-reducción puede actuar en uno u otro sentido dependiendo de la condiciones del medio, pH, temperatura, etc.

A pH neutro y 25 °C la mayoría de las aguas tiene Eh = 500 mV
En estas condiciones la mayoría de nutrientes y metales están en forma oxidada y son estables.
Si se produce una bajada en la concentración de oxígeno, se producen reacciones de reducción, por ejemplo:

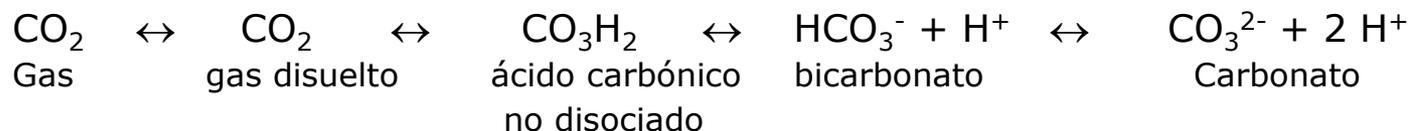


El gradiente vertical de potencial red-ox depende de:
-Sedimentación de la materia orgánica
-difusión del oxígeno hacia abajo

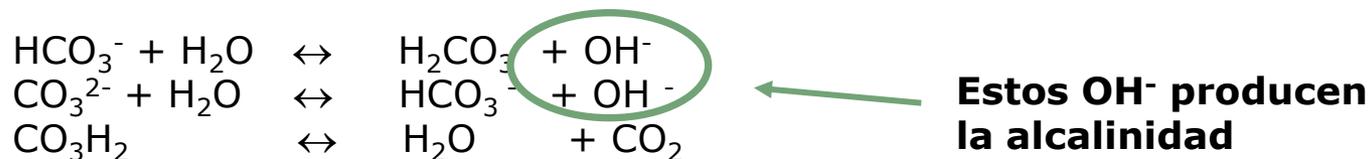
5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

La alcalinidad: su importancia en los ecosistemas acuáticos

- Se refiere a la capacidad de neutralizar la acidez del agua, o la cantidad de ácido necesario para neutralizar los OH⁻, aunque no necesariamente ácidos.
- La alcalinidad en el agua se debe a bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Se expresa en mg/l o miliequivalentes/l
- El sistema carbónico-carbonatos es el principal mecanismo tamponador de las aguas, con lo que está ligado al pH del agua.



Una vez establecido el equilibrio en el agua, los iones bicarbonato y carbonato se disocian

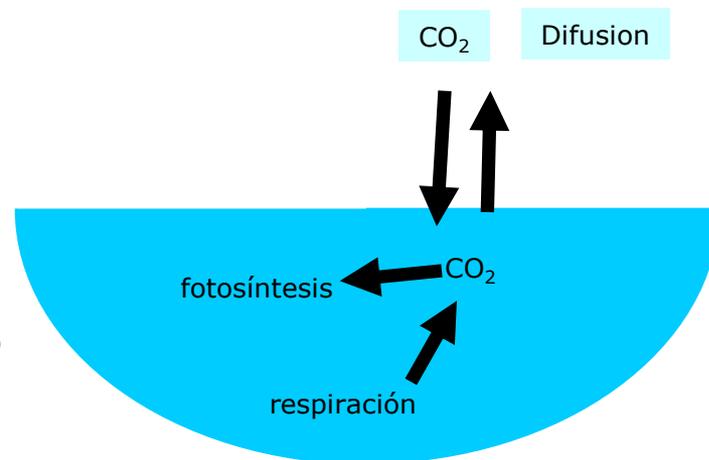


5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO₂); en suspensión.

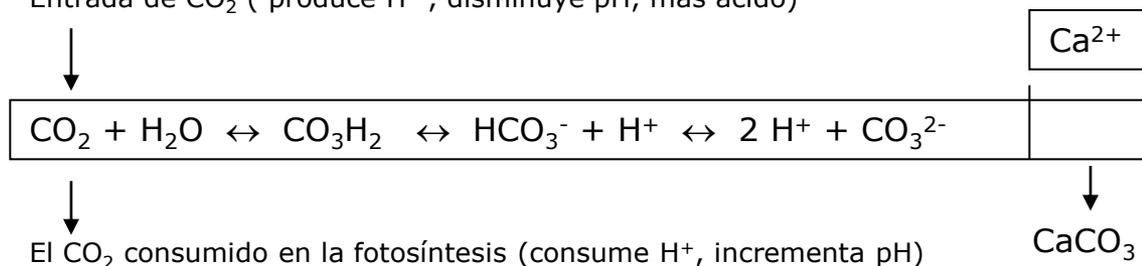
Flujo del dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono no solo se disuelve en el agua, también reacciona con ella.

- El CO₂ cuando entra en contacto con el agua → CO₃H₂
- La fotosíntesis y la respiración son los procesos que más influyen en las cantidades de CO₂ en el agua.
- Durante cortos periodos de tiempo de elevada fotosíntesis puede haber una limitación de CO₂ por demanda de las plantas.
- En aguas duras puede haber una precipitación de Carbonato cálcico en periodos de intensa fotosíntesis:
Lluvia → suelo CO₃H₂ + CO₃Ca → Ca²⁺ + 2HCO₃⁻
Entonces:



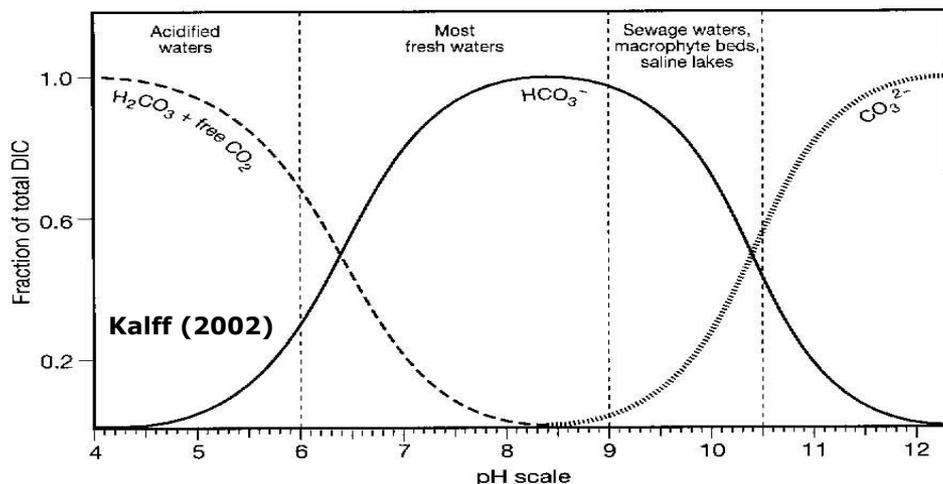
Entrada de CO₂ (produce H⁺ , disminuye pH, más ácido)



Si el CO₂ es consumido en la fotosíntesis → Precipita el carbonato rodeando a las plantas.

Lección 2. La cuenca hidrológica como marco físico de gestión

5. Tipología de los materiales: disueltos: no gaseosos (sales: aniones y cationes); gaseosos (el oxígeno, el CO_2); en suspensión.



En la gráfica se observa la distribución de las distintas formas de carbono inorgánico en ríos y lagos en relación con los cambios en el pH. Observa que a pH de 6-8 el bicarbonato es la forma dominante. El CO_2 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.

Velocidades de reacciones en ambas direcciones	rápida	lenta	muy rápida	muy rápida	
	CO_2 gas	CO_2 gas disuelto	CO_3H_2 Acido carbónico no disociado	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ Bicarbonato	$\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+$ Carbonato
Cantidad de C disponible	mucha	muy poca	poca	bastante	media

6. La cuenca como espacio de sostenibilidad: perturbaciones naturales y antrópicas

En las cuencas hidrográficas ocurren fenómenos naturales que alteran la estructura y composición de los elementos de lo configuran. Las avenidas de agua y las sequías forman parte de la dinámica hidrológica natural del ciclo del agua. Ambos fenómenos ayudan a mantener las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos, regenerando nutrientes, redistribuyendo los sedimentos, proporcionando suelo fértil, etc. Alterar estos fenómenos impide mantener las funciones que realizan los ecosistemas acuáticos.

perturbaciones hidrológicas naturales

riadas

crecidas

estiajes

sequias



6. La cuenca como espacio de sostenibilidad: perturbaciones naturales y antrópicas

Algunas características y efectos de los fenómenos hidrológicos naturales

	crecidas	estiajes	avenidas	sequías
Tipo de fenómeno	habitual	habitual	perturbación	perturbación
Predecibilidad	media	alta	baja	media-baja
Frecuencia	variable	estacional	baja	media-baja
Intensidad	media-baja	baja	alta	alta
Efectos sobre:				
cauce	redistribución de materiales	deposición de materiales	remodelación del cauce	cambio estructura cauce
nutrientes	Exportación	Acumulación y transformación	lavado y exportación	transformación intensa
materia orgánica	exportación	Acumulación y mineralización	lavado y exportación	Mineralización intensa
organismos	Reorganización de la comunidad	fenómenos competencia	lavado y muerte	deshidratación y muerte
Procesos ecológicos	vía de conexión uniformización	fragmentación de hábitats	rejuvenecimiento	terrestrialización (invasión vegetación terrestre)

6. La cuenca como espacio de sostenibilidad: perturbaciones naturales y antrópicas

La deforestación, por ejemplo altera muchas funciones entre ellas la calidad del agua, los nutrientes, los suelos, etc.

