

TEMA 10: LA HIDROSFERA.

1. CONCEPTO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA.

2. EL CICLO DEL AGUA.

3. BALANCE HÍDRICO.

4. LAS AGUAS OCEÁNICAS.

5. DINÁMICA DE LAS AGUAS CONTINENTALES.

6. RECURSOS HÍDRICOS.

7. GESTIÓN DEL AGUA.

8. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

8.1. EMBALSES.

8.2. TRASVASES.

8.3. DESALINIZACIÓN.

9. USOS DEL AGUA.

10. EL AGUA COMO RECURSO ENERGÉTICO.

11. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

11.1. TIPOS DE CONTAMINACIÓN Y CONTAMINANTES.

11.2. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DULCES.

11.3. CONTAMINACIÓN DEL MAR: MAREAS NEGRAS.

12. SOBREEXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

13. LA CALIDAD DEL AGUA: PARÁMETROS DE ESTUDIO.

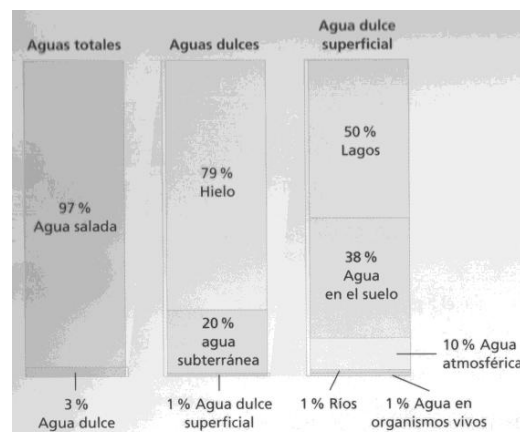
1. CONCEPTO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA.

La hidrosfera es el sistema terrestre formado por el conjunto de agua presente en la Tierra en cualquiera de sus estados: **líquido**, que incluye aguas subterráneas, mares, océanos, lagos y ríos; **sólido**, que origina casquetes polares y glaciares; y **gaseoso**, que se condensa y forma las nubes.

La Tierra es el único planeta del sistema solar que presenta agua líquida en su superficie, pero eso no siempre fue así, ya que en las primeras etapas de la formación de nuestro planeta no existía agua en estado líquido en la superficie.

El agua en la hidrosfera se reparte en cuatro grandes depósitos:

- **Mares y océanos:** contienen la mayor parte del total del agua, algo más del 97%.
- **Aguas continentales:** comprenden las aguas superficiales (aguas salvajes, torrentes, ríos y lagos), las aguas subterráneas y los glaciares. En conjunto constituyen aproximadamente el 2,8 % del total de la hidrosfera.
- **Atmósfera:** se encuentra en forma de vapor de agua y supone una mínima parte del total (0,001%).
- **Biosfera:** forma parte del cuerpo de los seres vivos, y supone un 0,0005%.



Los océanos ocupan las 3/4 partes de la superficie terrestre y constituyen un mecanismo de transporte de calor más eficaz que la atmósfera, convirtiéndose en los principales reguladores del clima junto con la atmósfera.

2. EL CICLO DEL AGUA.

El agua fluye entre los diferentes depósitos de la hidrosfera movida por la energía solar y la fuerza de la gravedad, constituyendo un circuito cerrado denominado **ciclo hidrológico**, que pone en movimientos grandes masas de agua y de energía.

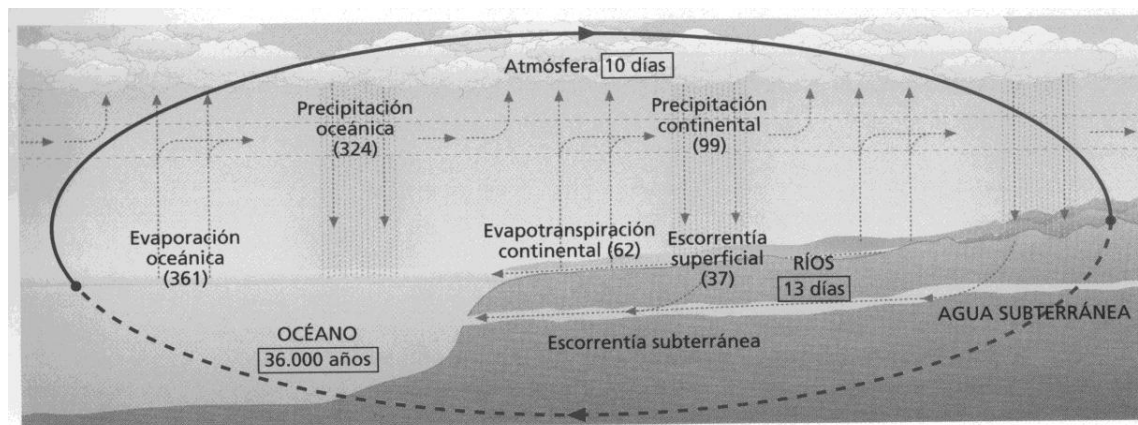
La energía solar produce la **evaporación** del agua superficial, tanto continental como oceánica, y al evaporar el agua, se acumula una gran cantidad de energía como calor latente. Una pequeña cantidad de vapor de agua procede de la **transpiración** de los seres vivos, y ambos procesos se denominan **evapotranspiración**.

El enfriamiento ascendente produce su **condensación** y la formación de nubes, y por medio de la **precipitación** el agua es devuelta en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve) sobre los océanos o continentes. En este último caso sigue varios caminos:

- En suelos saturados de agua, el agua discurre sobre la superficie terrestre (**escorrentía superficial**) en forma de corrientes de agua líquida (aguas salvajes, torrentes y ríos).
- En suelos poco saturados y permeables. Se infiltra en el terreno (**escorrentía subterránea**), pasando a constituir las aguas subterráneas, que pueden formar acuíferos cuando alcanzan capas impermeables y que acaban por desembocar en el mar.
- Otra parte queda **retenida** transitoriamente de diferentes formas: lagos naturales, pantanos artificiales, glaciares, incorporada en la biosfera y en aguas subterráneas muy profundas (agua fósil)

Pero, en último término, el agua de las precipitaciones continentales vuelve a la atmósfera por evapotranspiración, o al mar por escorrentía debida a la gravedad, cerrándose el ciclo.

La cantidad de agua evaporada de los océanos es mayor que la que reciben por precipitaciones, lo contrario sucede en los continentes, es decir, que existe un déficit de precipitaciones en los océanos (con respecto al agua evaporada) y un superávit en los continentes. Este exceso (37.000 km^3) es devuelto al océano mediante la escorrentía superficial y subterránea o en forma de hielo aportado por los glaciares. La cantidad de agua que entra en ciclo anualmente (423.000 km^3) es una ínfima parte del volumen total de agua ($1.386 \cdot 10^6 \text{ km}^3$).



El ciclo del agua que acabamos de describir es el **ciclo externo**, ya que aunque existen aguas subterráneas, todo el proceso sucede entre la hidrosfera, atmósfera, biosfera y la parte superior de la geosfera. Pero también existe un **ciclo interno**, donde se emite agua de origen magmático, a través de los volcanes o dorsales oceánicas, que se mezcla con el agua del ciclo externo y vuelve al interior de la Tierra en las zonas de subducción.

3. BALANCE HÍDRICO.

Para conocer las disponibilidades de agua de una cuenca hidrográfica, acuífero, país, ..., es preciso conocer el **balance hídrico** del sistema en cuestión, que se define como la cuantificación de las entradas y salidas de agua en el sistema en un tiempo determinado.

El período de tiempo considerado es el "año hidrológico", que comprende los doce meses siguientes a la época en que las precipitaciones y el almacenamiento son mínimos; en España comprende del 1 de septiembre al 30 de agosto del año siguiente.

Ordinariamente se cumple que las entradas de agua en la cuenca son iguales a las salidas. Las entradas se deben a las precipitaciones (P), mientras que las salidas se producen por evapotranspiración (ET) y por escorrentía total (ES), tanto superficial como subterránea.

En su forma más simple se expresa mediante la ecuación

$$P = ET + ES$$

Los resultados de los balances se suelen expresar en términos relativos, como porcentajes de la precipitación. Así, el balance hídrico en España es:

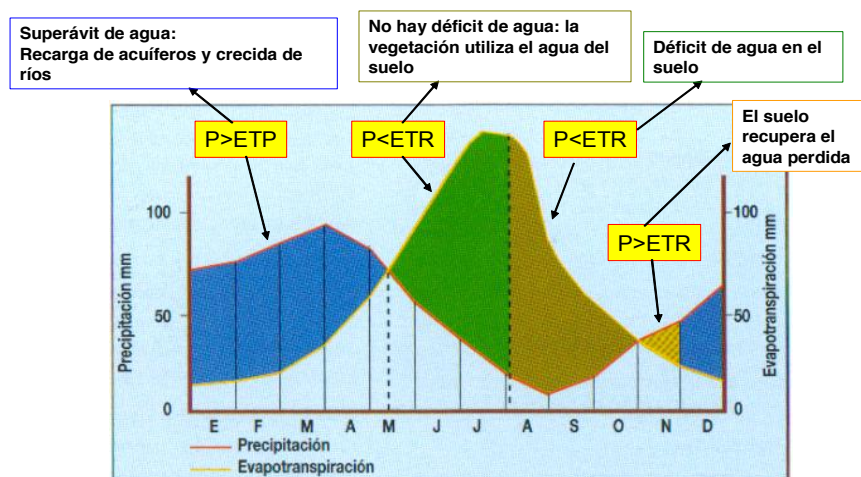
$$P (100\%) = ET (66\%) + ES (34\%)$$

A las entradas de agua hay que sumar o restar el volumen de agua almacenada (V) en el sistema, por lo que la ecuación quedaría:

$$P = ET + ES \pm V$$

Para un período largo de tiempo el volumen de agua almacenada se puede despreciar, pues es constante. El valor medio de la diferencia entre P y ET constituye los **recursos hídricos renovables**.

El balance hídrico se pueden representar gráficamente mediante un **diagrama hídrico**, en el que se compara la evapotranspiración potencial y real con la precipitación, en un tiempo determinado, generalmente mensual. Los diagramas hídricos nos permiten conocer el exceso o déficit probable de agua disponible en el suelo y así poder planificar el riego, el tipo de cultivos, etc. Además es importante para evaluar los recursos hídricos disponibles.



INTERPRETACIÓN DE DIAGRAMA HÍDRICO

4. LAS AGUAS OCEÁNICAS.

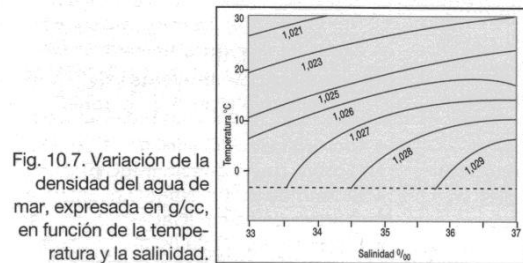
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA OCEÁNICA

Las características y el comportamiento de las aguas oceánicas se deben a tres parámetros: la salinidad, la temperatura y la densidad.

La salinidad

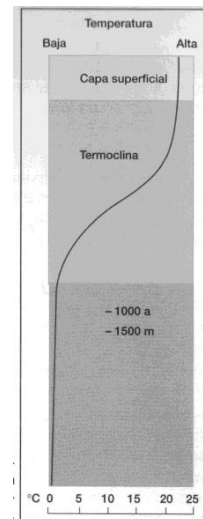
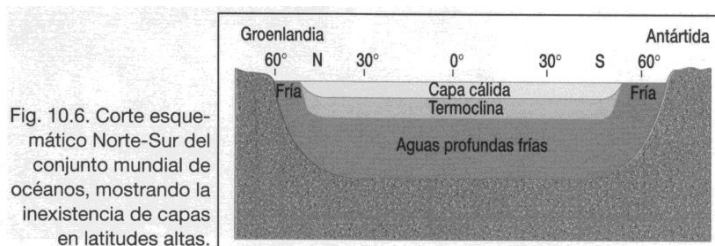
La salinidad se refiere a la cantidad de sales disueltas en el agua marina. Dichas sales proceden de los continentes y llegan al mar por escorrentía y de las dorsales oceánicas y volcanes submarinos. Como no se pueden escapar por evaporación, se acumulan en los océanos.

La salinidad de los océanos oscila entre el 33% y el 38%, y abunda sobre todo sales de Cl^- y Na^+ y en menor proporción SO_4^{2-} , Mg^{2+} y otros iones.



La temperatura

La temperatura del océano varía con la profundidad y con la latitud. En latitudes medias y bajas, los océanos presentan una estructura en tres capas. En la más superficial el agua es calentada por la radiación solar (de 12 °C a 25 °C) y presentan un grosor de 200 a 500 m. Por debajo de esta zona las temperaturas descienden, más o menos bruscamente, a lo largo de una segunda capa llamada **termoclina**. Sus límites son muy variables (según la latitud y estación del año), pudiendo alcanzar los 1.000 m. de grosor. Bajo la termoclina se extiende una gran masa de agua fría profunda, entre los 0 °C y 5 °C, según la latitud, con poca o nula variación térmica.



Densidad

La densidad del agua oceánica depende de la salinidad y de la temperatura, de modo que aumenta al incrementarse el contenido de sales y al descender la temperatura (considerando el máximo de densidad alrededor de los 4 °C).

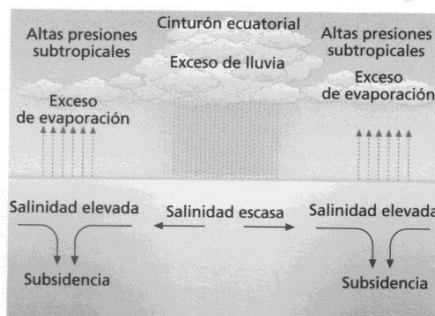


Figura 8. Variación de la densidad del agua marina con la salinidad.

TABLA II Influencia de la temperatura en la densidad del agua	
Temperatura (°C)	Densidad (g/cc)
0 (hielo)	0,91700
0 (agua)	0,99987
2	0,99997
4	1,00000
6	0,99997
10	0,99973
15	0,99913
20	0,99823
50	0,98807
100	0,95838

4.2. LA DINÁMICA OCEÁNICA

En los mares y océanos se producen continuos movimientos de las masas de agua, que pueden ser de varios tipos: corrientes, olas y mareas.

OLAS

Las **olas** son movimientos ondulatorios de la superficie del mar o de grandes lagos, originadas por la acción del viento.

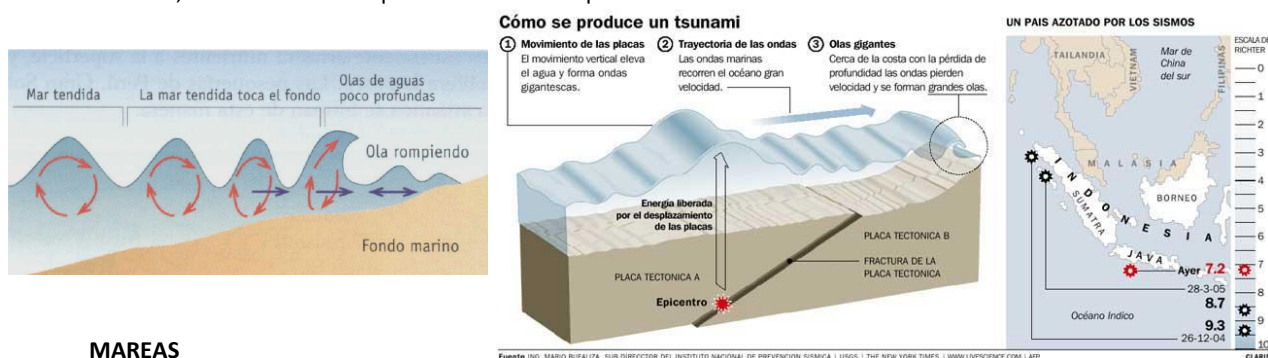
Las olas se forman cuando el viento entra en contacto con la superficie del mar, provocando un movimiento horizontal y vertical de las partículas de agua. Estos movimientos son cíclicos y sincronizados forman ondas que se desplazan en la dirección del viento, al principio de poca altura y baja longitud de onda, pero si la velocidad del viento aumenta y su dirección se mantiene y perdura en el tiempo, van adquiriendo mayor longitud de onda y se forman las olas.

Este proceso se va retroalimentando, de forma que si la velocidad y la dirección del viento se mantienen, las olas van adquiriendo altura y a mayor altura, mayor influencia del viento, pudiéndose generar olas de varios metros de altura.

Cuando las olas alcanzan lugares de poca profundidad, el movimiento cicloidal de las partículas de agua se ve interrumpido, ya que la cresta de la ola (punto más alto) avanza más deprisa que el seno (punto más bajo), la ola se rompe y libera la energía que contiene.

Las olas ejercen una importante acción en el modelado costero y su energía cinética puede ser aprovechada, mediante boyas gigantes, como fuente de energía.

Existen olas de gran tamaño, los tsunamis, debidas a la energía desprendida en el fondo oceánico por seísmos y volcanes. La velocidad y altura que alcanzan son tales que pueden penetrar varios kilómetros en tierra, arrasando todo lo que encuentran a su paso.



MAREAS

Las mareas son subidas y bajadas periódicas del nivel del mar, causadas por la atracción gravitatoria que ejercen la Luna y el Sol. Cuando la altura del agua asciende se habla de **pleamar**, y cuando desciende de **bajamar**.

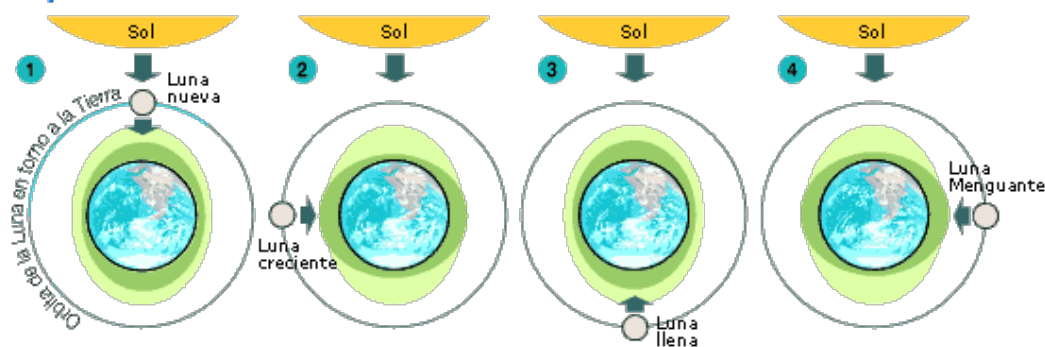
La pleamar se produce por el alineamiento de la Luna con la Tierra, y sucede dos veces al día. El nivel máximo se produce en la zona de la Tierra más próxima a la Luna (pleamar alta) y es algo menor en la zona diametralmente opuesta (pleamar baja). La bajamar se produce en las zonas donde no existe alineamiento Luna-Tierra, de manera que el nivel mínimo de bajamar sucede en las zonas a 90° de las de pleamar.

Cuando se alinean la Luna y el Sol con la Tierra, se suman sus fuerzas atractivas y se producen mareas de máxima amplitud, llamadas **mareas vivas**. Sucede en las fases de Luna nueva y Luna llena. Sin embargo, cuando el Sol, la Tierra y la Luna forman un ángulo recto y la Luna está en fase creciente o menguante, la amplitud es mínima, y se generan **mareas muertas**.

A lo largo del día, debido a las mareas, en las costas se forma una zona que es bañada por las aguas oceánicas solo en determinados momentos del día, la zona intermareal, con una ecología propia y diversa.

Las mareas pueden aprovecharse como fuente de energía mediante centrales mareomotrices.

Esquema de las mareas



- 1 y 3: Cuando la Luna y el Sol están alineados (luna llena y luna nueva), se producen las mayores diferencias de mareas.
- 2 y 4: Cuando la Luna y el Sol están en ángulo recto (lunas crecientes y menguante), se producen las menores diferencias de mareas.

CORRIENTES OCEÁNICAS

Una corriente oceánica es un flujo continuo de agua predominantemente horizontal y persistente en un sentido. Su efecto principal a escala planetaria es que redistribuyen el calor recibido por la Tierra. A escala más local, las corrientes cálidas moderan el frío clima de las costas árticas y las corrientes frías suavizan el calor de los desiertos tropicales en sus franjas costeras.

Se pueden distinguir dos tipos de corrientes: superficiales y profundas.

Corrientes superficiales

Se deben a los vientos superficiales permanentes y se ven afectadas por la Fuerza de Coriolis y por los continentes,, por lo que se originan **torbellinos** donde el agua gira, siguiendo el sentido de las aguas del reloj en el hemisferio norte y en sentido opuesto en el hemisferio sur.

Considerando un océano ideal, como el Atlántico o el Pacífico, se observan dos grandes torbellinos circulares (**corrientes ecuatoriales**), cada uno centrado en los anticiclones subtropicales del hemisferio norte y sur. Como la Tierra gira hacia el este, el torbellino se desvía hacia el oeste, por lo que al chocar contra el continente situado en la parte occidental, se comprime, y así se observa que en los grandes torbellinos, en la zona occidental del océano, la corriente se estrecha y aumenta su velocidad. Lo contrario sucede en el lado oriental del torbellino.

Las corrientes ecuatoriales viran hacia el polo a lo largo del borde occidental de cada océano, formando corrientes cálidas paralelas a la costa, como la corriente del Golfo (o Florida) en el Atlántico, y la corriente de Kuroshio, en el Pacífico.

Por otro lado, al girar hacia el este, las corrientes del torbellino se ven afectadas por los vientos del oeste de latitudes medias, por lo que el giro se completa con una corriente frías que se dirige hacia el ecuador, bordenado el lado oriental del océano, como la corriente de las Canarias, la corriente de Perú o de Humbolt y la corriente de Benguela.

Otras corrientes frías son la corriente Circumpolar Antártica, que forma una orla continua alrededor del continente antártico y la corriente del Labrador, procedente del Norte.

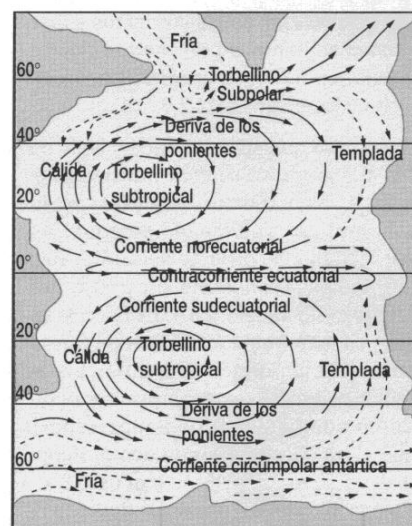
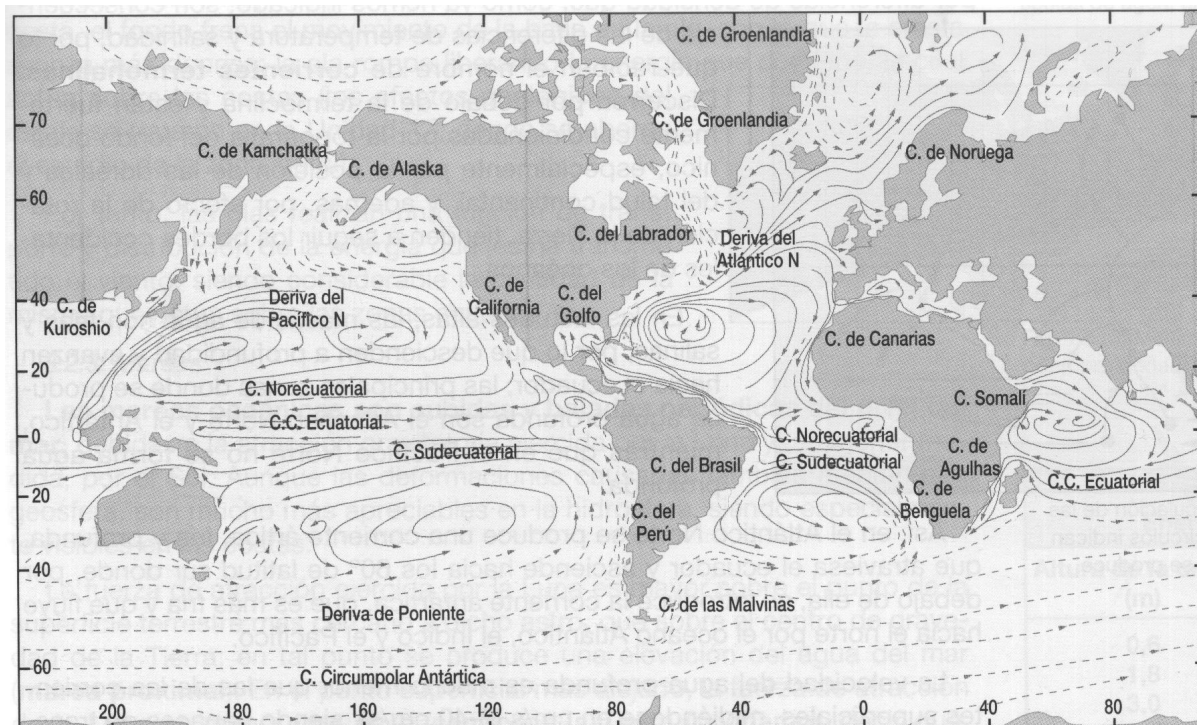
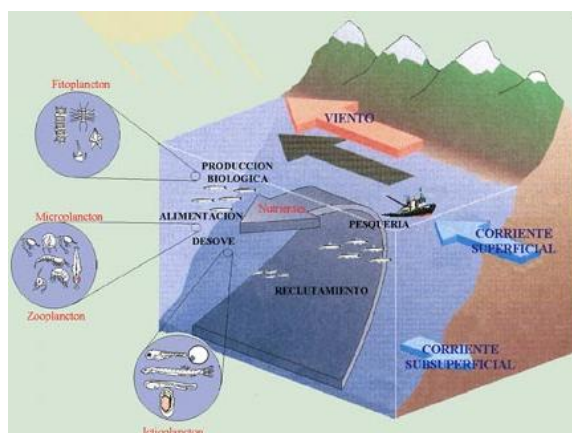


Fig. 10.8. Esquema de las corrientes superficiales en un océano ideal.



Importancia de las corrientes superficiales

- Ayudan a redistribuir el calor y por tanto intervienen en la regulación del clima. Partiendo de las zonas ecuatoriales hacia las latitudes altas, las aguas calentadas viajan hacia las costas de regiones frías, suavizando el clima. Al mismo tiempo, las corrientes frías logran templar el clima cálido de regiones tropicales. Algunos autores hablan de la “cinta transportadora oceánica” para referirse a este fenómeno de reparto de calor en el océano global, fenómeno que estudiaremos más adelante.
- Un efecto importantísimo, desde el punto de vista biológico, es el denominado **afloreamiento costero** (o **upwelling**). Esto ocurre en las zonas costeras occidentales de los continentes (borde oriental del océano), como por ejemplo Perú o Angola, debido a que las aguas superficiales se separan del continente y son reemplazadas por aguas frías. Estas aguas son muy ricas en nutrientes y favorecen el desarrollo del plancton y con ello de los organismos marinos, incluidos peces y aves. Éste es el origen de algunos de los caladeros más importantes para la pesca, como son el de Perú, el de Angola y el del sur de Irlanda (Gran Sol).
- Las corrientes oceánicas superficiales y litorales tienen gran importancia en el transporte y redistribución de sedimentos a lo largo de las costas.



Corrientes profundas

Se originan por las diferentes densidades de las aguas oceánicas, debido a los cambios de temperatura y salinidad, por lo que también se las denomina **corrientes termohalinas**. El agua fría y densa de los mares polares desciende hacia las capas profundas del océano por debajo de la termoclina, extendiéndose hacia el ecuador y desplazando hacia la superficie las capas más cálidas. Las principales zonas donde se produce agua profunda son el Atlántico Norte y el Antártico, mientras que en el Pacífico Norte no se forma agua profunda.

Están condicionadas por la topografía del fondo oceánico, sobre todo por las dorsales y los taludes continentales. Lejos de los polos, se ven afectadas por el movimiento de rotación terrestre, por lo que tienen tendencia a recorrer los bordes occidentales de los océanos al pie de los taludes continentales, depositando sobre ellos sedimentos.

La velocidad de las corrientes profundas es mucho menor que la de las superficiales, midiéndose en cm/s, unos 2 a 40 cm/s.



4.3. EL OCÉANO GLOBAL

Todos los mares y océanos del planeta están comunicados y en conjunto, se podría hablar de un único océano u **océano global**. El estudio del océano es de gran importancia, ya que en él está la respuesta a muchos interrogantes sobre el clima global, al ser un importante almacén de CO₂ y un medio eficaz de transporte de calor. Dos fenómenos que ponen este hecho de manifiesto son: la cinta transportadora oceánica y el fenómeno del Niño.

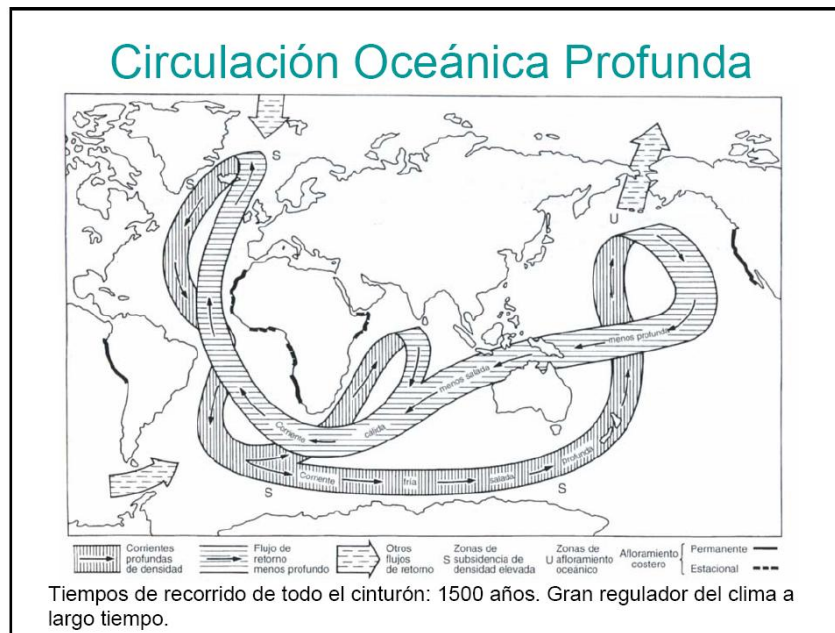
La cinta transportadora oceánica

La comunicación existente entre todos los mares y océanos del planeta dio lugar al modelo de la **cinta transportadora oceánica**. Este modelo considera el conjunto de las corrientes oceánicas superficiales y profundas, a lo largo y ancho del océano global, como un corriente oceánica continua que distribuye el calor por todo el planeta.

El inicio de la corriente se halla en las proximidades de Groenlandia, donde el agua fría y salada, y por tanto densa, tiende a hundirse. Esta corriente recorre el fondo del Atlántico de norte a sur hasta entrar en contacto con las gélidas aguas del océano Antártico y asciende, retornando parte de ella, a su lugar de origen. El resto se sumerge de nuevo debido al intenso enfriamiento superficial y discurre por el fondo del océano Índico, donde parte asciende, y parte llega hasta el Pacífico, donde definitivamente asciende y se calienta.

Posteriormente realiza el trayecto en sentido inverso en forma de corriente superficial, arrastrando con ellas las aguas cálidas, las nubes formadas en los océanos cálidos, originando lluvias a su paso y elevando las temperaturas de las costas atlánticas nortueuropeas por las que discurre.

Una vuelta completa de circulación global tiene una duración de varios cientos de años. Una interrupción o, incluso, una ralentización de esta corriente oceánica tendría efectos importantes sobre el clima como el enfriamiento del Hemisferio Norte, al no recibir el calor que se libera en la generación del agua profunda noratlántica. Esta situación podría darse si se funden los hielos de Groenlandia debido al calentamiento global, entonces la salinidad y, por tanto, la densidad de las aguas disminuirían notablemente afectando o interrumpiendo la generación de aguas profundas. Además se podría desencadenar un proceso de realimentación positiva que incrementaría los niveles de CO₂ atmosférico, al disminuir su captación por la menor formación de aguas profundas.



Fenómeno de “El Niño”

Con el término **El Niño** se denomina la alteración de las condiciones habituales de la dinámica atmosférica y oceánica en el Pacífico Sur. Se produce con intervalos muy irregulares, entre dos y siete años, y con una duración de entre menos de un año y año y medio.

En condiciones normales, los vientos alisios son fuertes y empujan el agua superficial de este a oeste (de Sudamérica a Australia e Indonesia), lo que permite un afloramiento de agua fría profunda frente a las costas de Perú y Ecuador, origen de unos importantes caladeros de pesca. Se dan pocas precipitaciones en la costa sudamericana, debido a un viento frío y seco procedente del continente, y abundantes lluvias en la costa australiana e Indonesia, debido a que el aire en su desplazamiento hacia la costa occidental del Pacífico se carga de humedad, y al llegar a la costa sufre un rápido ascenso convectivo originando nubes e importantes precipitaciones. Las altas presiones dominan la costa de Perú y Ecuador y las bajas presiones la zona del Pacífico occidental.

Durante un episodio del Niño, la circulación atmosférica sobre el Pacífico se debilita, los alisios se atenúan hasta el punto de que apenas empujan a las aguas oceánicas en la corriente ecuatorial. La primera consecuencia es el debilitamiento de la corriente fría de Humboldt a lo largo de la costa sudamericana, cesando los afloramientos (se reduce la producción pesquera y las reservas de aves y mamíferos marinos) y provocando un calentamiento de sus aguas. La mayor temperatura del agua y del aire provoca un incremento de evaporación, el aire cálido y húmedo asciende y origina nubosidad y abundantes lluvias, produciéndose graves inundaciones. En el oeste del Pacífico, en la zona indoaustraliana, se instalan las altas presiones, con la consiguiente ausencia de nubes y precipitaciones. Esto origina sequía y hambre al sur de

Asia, donde su agricultura se basa en gran medida en el arroz y el incremento de incendios forestales en Australia.

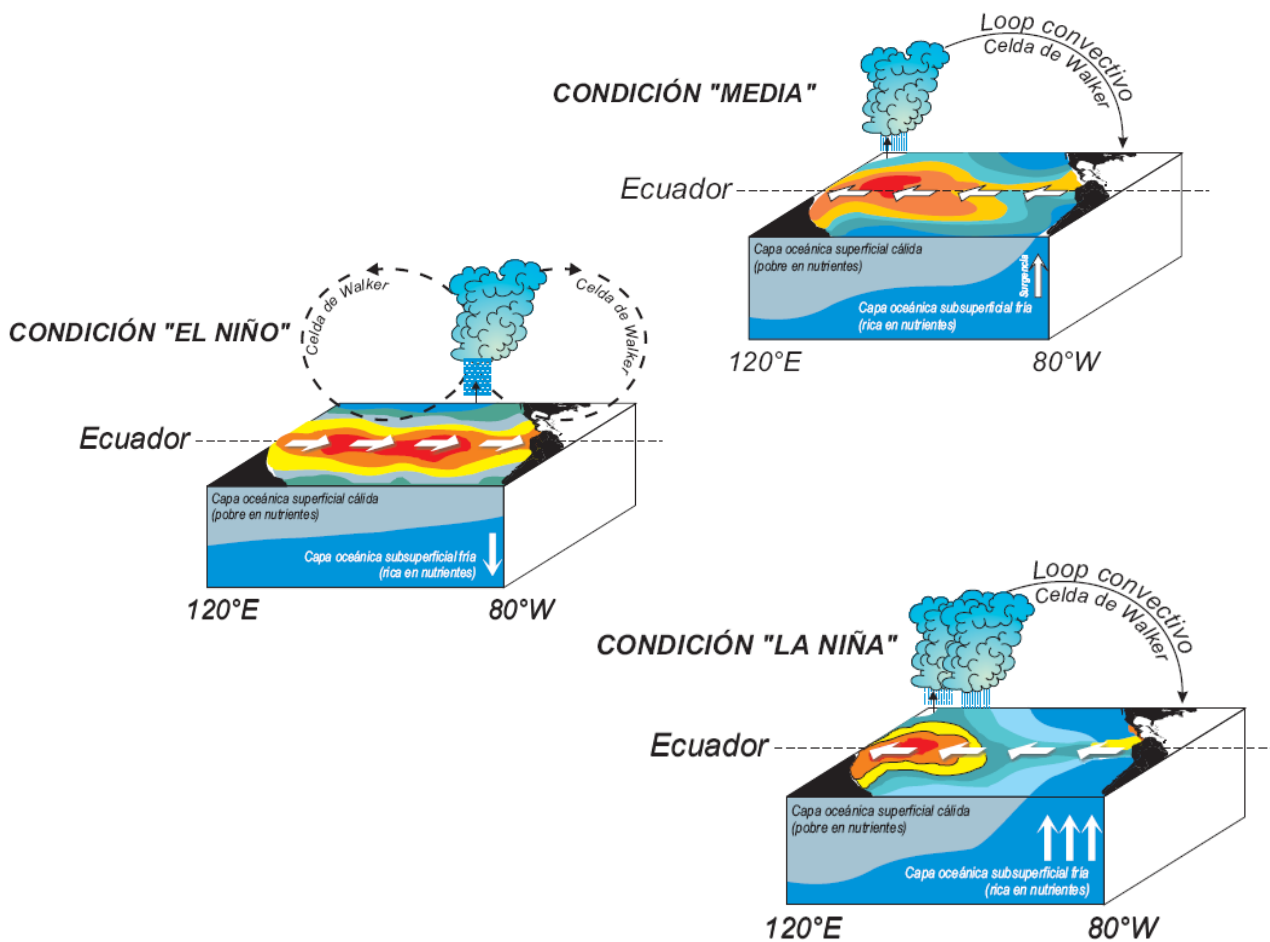
El Niño es la parte oceánica del fenómeno y la Oscilación Sur es la parte atmosférica (cambios en las presiones atmosféricas) por lo que el fenómeno global cuando está la fase cálida se conoce como **ENSO** (El Niño Southern Oscillation).

Las condiciones que definen el fenómeno de El Niño son difíciles de determinar, por lo que la comunidad científica ha establecido que cuando las temperaturas mínimas del agua superficial en la costa peruana son 0,5 °C superiores a la media durante seis meses consecutivos se puede hablar de este fenómeno.

Existen años, también de fenómenos anómalos, pero opuestos a El Niño, es este caso se habla de **La Niña**. Las temperaturas de la costa peruana son muy frías y los alisios son muy intensos y constantes, lo que origina fuertes precipitaciones en la costa australiana y se acentúa la sequía en la costa sudamericana.

Los efectos que sobre el clima mundial tiene el fenómeno de El Niño son muy variados y dispares, entre ellos se pueden citar:

- **Sequía** en África del Sur, sur de Asia, occidente de Bolivia, México y América Central.
- **Precipitaciones y riadas** en Bolivia, Ecuador, Norte de Perú y continentes americanos que se encuentran en el Golfo de México.
- **Huracanes** en Tahití y Hawai.



5. DINÁMICA DE LAS AGUAS CONTINENTALES.

Las aguas continentales se encuentran repartidas entre el casquete antártico, los glaciares de montaña, los ríos, los lagos y las aguas subterráneas.

La dinámica de las aguas continentales está relacionada con la acción geológica que ejercen sobre el terreno, provocando el modelado del relieve. Las acciones geológicas que llevan a cabo son:

- **Erosión:** modela el relieve por donde circulan las aguas continentales.
- **Transporte:** traslada materiales de zonas elevadas a otras más bajas.
- **Sedimentación:** los materiales transportados se depositan en el fondo de los valles, embalses, lagos o deltas.

Glaciares

Los **glaciares** son grandes acumulaciones de hielo, que en determinadas épocas (glaciaciones) han tenido una tasa de erosión y transporte superiores a los ríos. Aunque actualmente existen casquetes glaciares, se puede considerar que nos encontramos en un período interglaciar, de manera que las zonas de formación de glaciares se sitúan en las zonas polares (glaciares de casquete) y de alta montaña a 5.000 m. de altitud (glaciares de valle).

El hielo se comporta como un material quebradizo cuando sufre un esfuerzo repentino, pero se comporta de forma plástica cuando el esfuerzo es duradero y no supera el límite de resistencia. Así pues el flujo glaciar es una consecuencia del comportamiento plástico del hielo bajo la acción de la gravedad.

El sentido del movimiento tiene lugar siguiendo la pendiente del terreno. En un cuerpo glaciar, casquete o lengua, se puede diferenciar una **zona de acumulación**, donde se acumula la nieve y el hielo y una **zona de ablación**, donde la temperatura supera los 0°C y se produce su fusión. El desplazamiento siempre ocurre desde la primera a la segunda.

Los glaciares modifican mucho el paisaje, y dan lugar a formas características de relieve. Su acción comprende erosión, transporte y sedimentación, generando formas de relieve derivadas de cada una de ellas.

Formas erosivas

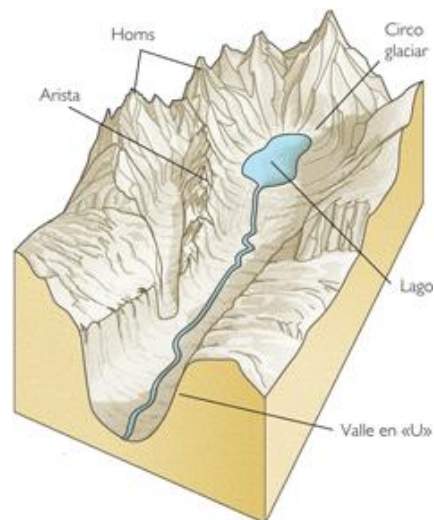
Los glaciares dan lugar a dos tipos de formas de erosión:

- a) **De desalojamiento:** se producen por el arranque de partículas o bloques del sustrato sobre el que se desplaza, por gelifracción.
- b) **De abrasión:** se produce por el desgaste que sobre el sustrato realizan fragmentos rocosos que transporta el hielo, dando lugar a suelos estriados y rocas aborregadas.

Estas acciones producen formas características en la roca, que son visibles al retirarse el hielo, como los **circos glaciares**, los **picos piramidales**, **valles en U** y toda una serie de marcas en las rocas como **estrías**, **surcos**, y **rocas aborregadas**.

Transporte y sedimentación

Los glaciares transportan materiales que ellos mismos arrancan. Éstos se distribuyen por la superficie del hielo, que al ser un medio sólido, no puede seleccionar ni redondear los materiales, por lo que estos son muy heterogéneos. Al fundirse el glaciar la carga de materiales origina depósitos, denominados **tillitas**, que se distinguen por ser una mezcla de cantos angulosos de todos los tamaños. Las tillitas se acumulan en extensos **campos de till**, en amontonamientos en forma de arco (**morrenas**) o en montículos ovalados (**drumlins**).



Ríos

Un río es una corriente permanente de agua superficial, que recibe los aportes de las aguas de escorrentía y de cursos temporales de agua como torrentes y arroyos.

La cantidad de agua que fluye por el río se denomina caudal y presenta variaciones a lo largo del año.

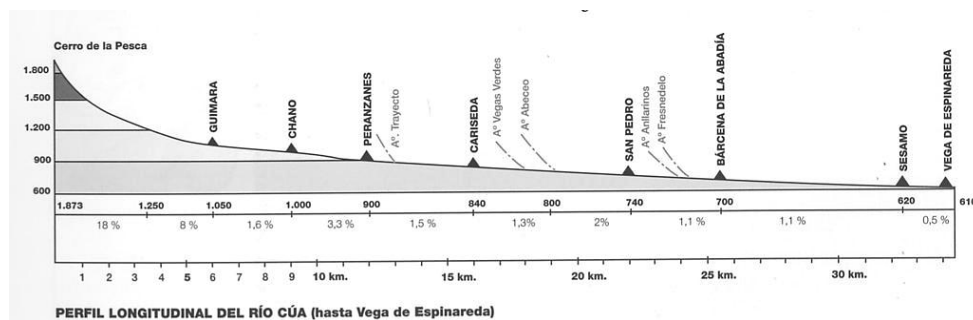
Un río recoge todas las aguas de un territorio concreto denominado cuenca hidrográfica, que está formado por las laderas que descienden hasta el cauce del agua.

Para definir la acción de un río se definen utilizando una serie de parámetros, además de la velocidad del agua y el caudal. Entre estos están:

- ◆ **Carga:** cantidad real de sedimentos que transporta en un lugar y momento determinados.
- ◆ **Capacidad:** cantidad de sedimentos que un río puede transportar teóricamente en función de su caudal, velocidad y régimen de su flujo.
- ◆ **Competencia:** el mayor tamaño de partículas que una corriente puede elevar o separar del fondo de su cauce.

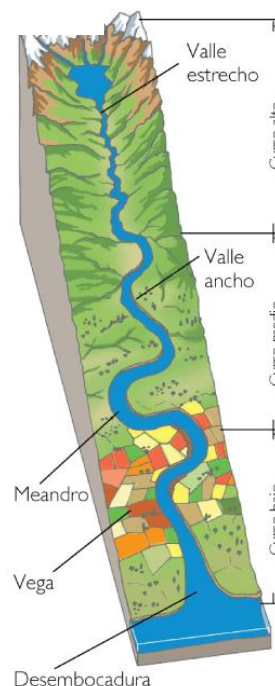
La erosión se produce cuando la capacidad es mayor que la carga, y el tamaño del grano no supera su competencia. El transporte se produce cuando la capacidad es igual a la carga. Y la sedimentación se produce cuando la carga es mayor que la capacidad del río para transportar materiales.

Cuando la carga es igual a la capacidad, el río alcanza el **perfil de equilibrio**, es decir, invierte toda su energía cinética en vencer el rozamiento y transportar sin erosión ni sedimentación. Para llegar a ese equilibrio, los ríos tienden a reducir su altitud en cada punto hasta igualarlo con el **nivel base**, que corresponde al extremo más bajo. El proceso de excavación mediante el cual el río profundiza en su cauce para lograr igualar este nivel se denomina **erosión remontante**.



Formas de modelado en los tramos de un río

- a) **Curso alto:** posee una gran energía potencia, y tienden a excavar el terreno y profundizar el cauce mediante la erosión remontante. En este tramo predominan la erosión y transporte, origina **valles en V**, **cascadas**, **rápidos** y **marmitas de gigante**.
- b) **Curso medio:** el río pierde capacidad erosiva, predominando el transporte y sedimentación. El río realiza una erosión lateral. En esta zona se forman grandes **llanuras de inundación**, que cada cierto número de años son ocupadas por aguas debido a inundaciones. En estas zonas se pueden producir **meandros**, cuando el río describe una trayectoria sinuosa y **terrazas fluviales** como consecuencia de la acción erosiva vertical del río.
- c) **Curso bajo:** cerca de la desembocadura el río deposita todos sus sedimentos, al ser el agua frenada por la acción de las corrientes marinas y por la floculación de las arcillas. Se originan **deltas** o **estuarios**.



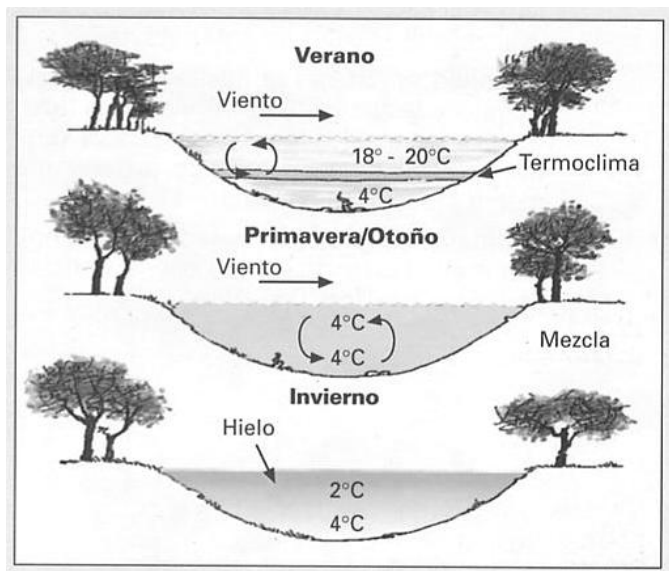
Lagos

Un lago es una acumulación de agua en depresiones continentales.

Los lagos reciben aportes de agua de ríos que desembocan en ellos, así como de las aguas de escorrentía. También pueden recibir aportes de agua subterránea si se sitúan por debajo o al mismo nivel que los acuíferos.

También pueden sufrir pérdidas por desagüe, evaporación o infiltración. Si las pérdidas son superiores a los aportes se pueden producir varias situaciones: desecación, aumento de la salinidad por evaporación del agua, o colmatación de sedimentos.

Los lagos presentan una dinámica propia, debido sobre todo a diferencias de temperatura, de forma que se produce una **estratificación de las aguas** que sufre variaciones estacionales.



En **verano** se calientan las capas superficiales del lago y permanecen más frías y densas las profundas. El agua aparece estratificada, existiendo una **termoclina** o zona de separación (encima-debajo) entre aguas de distinta densidad, temperatura y disponibilidad de O₂. La termoclina impide los movimientos verticales. En el fitoplancton predominan las algas cianofíceas, aunque existen otros productores móviles, como los dinoflagelados.

En **otoño** la superficie del lago se enfría. El agua fría, que es más densa, se hunde, haciendo desaparecer la termoclina; el agua se mezcla. En superficie proliferan las algas diatomeas y el oxígeno es abundante.

En **invierno** la luz escasea. Si la superficie se hiela, evita un enfriamiento más intenso en profundidad. El fondo se encuentra más cálido: su temperatura es de 4°C, que es la de máxima densidad del agua. Por ello la vida persiste, aunque el oxígeno no sea abundante.

En **primavera** comienza el deshielo. El agua superficial está a 0°C. Esta temperatura hace que sea más densa que la de abajo, permitiendo la mezcla y el ascenso de nutrientes. Abundan toda clase de algas, sobre todo las diatomeas.

Cuando un lago presenta un exceso de nutrientes se produce el fenómeno de la **eutrofización**, provocando un aumento de los organismos fotosintéticos y la contaminación del lago.

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas se forman por la infiltración en terrenos permeables. Representan un porcentaje muy elevado de las aguas dulces continentales, muy por encima del agua de los ríos y lagos.

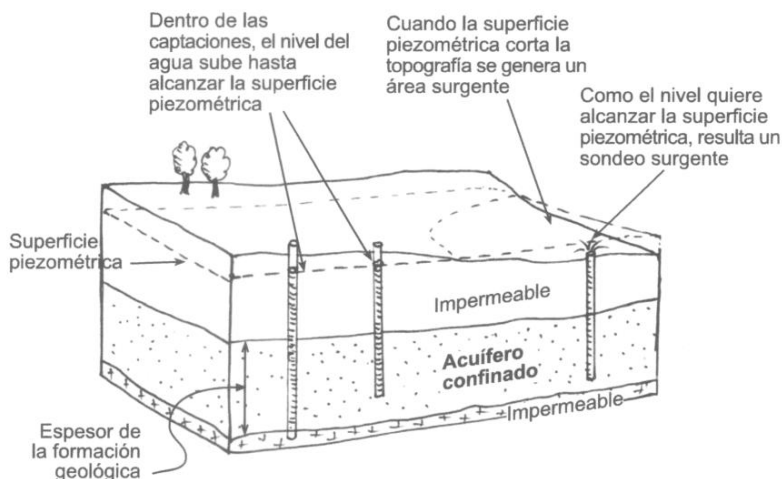
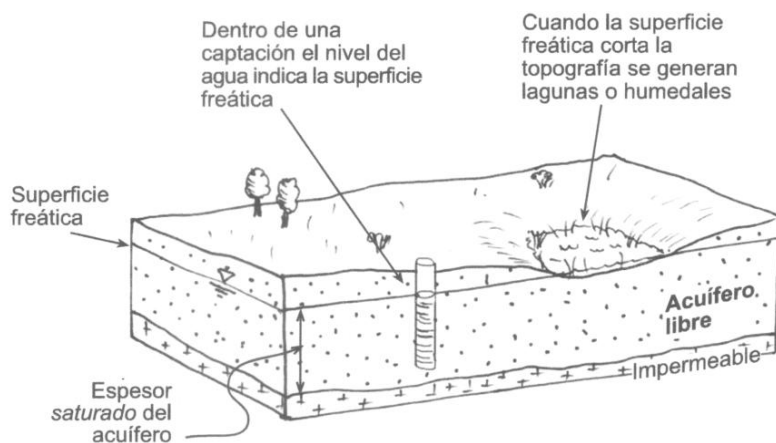
Al infiltrarse el agua en el terreno, se va desplazando en profundidad, siempre que el terreno sea permeable. Si en su camino de descenso se encuentra con una zona impermeable (arcilla por ejemplo), se acumula y forma un acuífero.

Los acuíferos pueden ser:

- **Acuíferos libres:** si solamente existe una capa impermeable por debajo de ellos. Presentan dos zonas: **zona de aireación**, donde el agua no se acumula y desciende; **zona de saturación**, donde se acumula el agua. El límite superior de la zona de saturación es el **nivel freático**, y varía en función de los aportes de agua.
- **Acuíferos confinados:** se encuentran entre dos capas impermeables. En ellos el agua se encuentra a mayor presión, y si se perfora la capa impermeable superior el agua ascendería hasta un determinado nivel, denominado **nivel piezométrico**.

Los acuíferos son muy sensibles a la contaminación y a la sobreexplotación, de manera que si el ritmo de explotación es mayor que el de recarga, el acuífero se agotará.

Si los acuíferos se encuentran cerca de la costa, además del problema de la sobreexplotación, puede salinizarse por un proceso conocido como **intrusión salina**, de forma que el agua del mar rellena los poros que anteriormente estaban ocupados por el agua dulce.



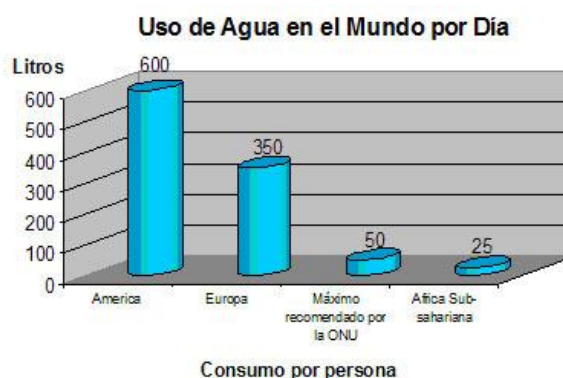
6. RECURSOS HÍDRICOS.

El agua es uno de los recursos determinantes para la humanidad y el desarrollo de la vida. Dependemos del agua, no solo el consumo doméstico, que supone un 10% del consumo total de agua, sino también para diversas actividades, como la agricultura (70% del consumo total) o la industria (20% del consumo total).

El agua dulce accesible para la humanidad representa una pequeña parte de la hidrosfera, y de ella una ínfima parte es la que se consigue captar, por eso el término más preciso para evaluar la disponibilidad del agua es el de **recursos hídricos renovables**, que se refiere a la cantidad de aguas dulces superficiales y subterráneas de una determinada zona geográfica (normalmente una cuenca hidrográfica o un país), que se renuevan anualmente.

En teoría la cantidad de agua disponible sobre la Tierra, es capaz de mantener a una población de unos 20.000 millones de personas, pero a pesar de ser un recurso renovable, es un **recurso limitado**, por varias razones:

- La cantidad de agua disponible está condicionada por su desigual distribución en el espacio y en el tiempo.
- El aumento de consumo de agua, debido al aumento de población y a la mayor demanda en la agricultura, ganadería e industria, ha llevado a su **sobreexplotación**, reduciéndose las reservas de agua, fundamentalmente de los acuíferos subterráneos.
- La pérdida de la calidad del agua por la **contaminación**, hace disminuir los recursos hídricos disponibles



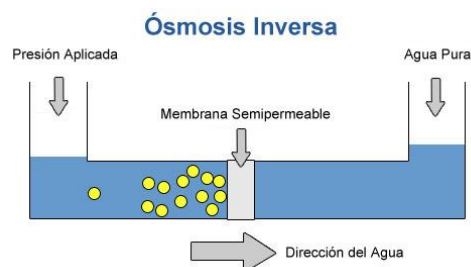
7. GESTIÓN DEL AGUA.

Medidas de reducción de consumo

- **Agricultura:** mejora en los sistemas de riego (como el riego por goteo) y en los sistemas de canalización, cultivo en sustrato hidropónico que facilita la reutilización del agua o el aumento de tarifas agrícolas para evitar el despilfarro.
- **Industria:** reciclado del agua empleada en la refrigeración y tecnologías de bajo consumo.
- **Urbano:** empleo de electrodomésticos de bajo consumo, medidas domésticas (ducha, cisternas de menor capacidad, ...), reductores de caudal de los grifos, reutilización de aguas residuales (previa depuración) para el riego de jardines, tarifas del agua acordes con su coste.

Medidas técnicas

- Construcción de **embalses** para regular el caudal de ríos y mantener el abastecimiento de agua.
- **Trasvases** de cuencas excedentarias a cuencas deficitarias.
- **Control** en la explotación de **acuíferos**
- **Limpieza** del cauce de ríos y mantenimiento de la vegetación de ribera.
- **Desalinización** del agua del mar en plantas desaladoras, mediante el procedimiento de **ósmosis inversa**.
- **Depuración** de agua residuales



Medidas políticas

- Leyes y directivas que regulen el consumo de aguas y su gestión.
- Planes de mejora de la gestión y del suministro agua, como el programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua)

8. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

8.1. Embalses.

Se denomina **embalse** a la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

Para la creación de un lago o embalse, es necesaria una estructura que retenga el agua, es decir, una presa. La finalidad de las presas es, pues:

- Regular las aguas de los ríos.
- Controlar las crecidas.
- Abastecimiento de agua a poblaciones.
- Abastecimiento a la industria y agricultura.
- Producción de energía hidroeléctrica.
- Uso para el ocio y el tiempo libre (actividades náuticas, pesca...).

La construcción de grandes embalses altera el territorio de modo irreversible:

- Sumerge bosques y tierras cultivables y desplazan a los habitantes de las tierras anegadas.
- Dificulta o impide la migración de los peces (anguila, salmón..).
- Dificulta o impide el transporte de elementos nutritivos aguas abajo.
- Modifica el nivel de las aguas subterráneas.

8.2. Trasvases.

Los **trasvases de cuenca** son obras hidráulicas cuya finalidad es la de incrementar la disponibilidad de agua en una cuenca vecina deficitaria.

Los trasvases entre cuencas son muy controvertidos. Por un lado se toma agua de una cuenca donde sobra y se manda a otra donde falta. Pero necesitan de obras importantes que pueden causar graves impactos medioambientales, pueden crear desequilibrios ecológicos en la cuenca dadora y hay que estudiar para que se va a utilizar el agua en la cuenca receptora.

En cuanto a los impactos ambientales que los canales y trasvases ocasionan podemos decir que con las conexiones de las cuencas de los ríos se altera de forma permanente el caudal del río donante, así como que el paso del agua por zonas que antes estaban al aire produce alteraciones ecológicas.

8.3. Desalinización.

La desalinización o desalación es el proceso de eliminar la sal del agua de mar o salobre, obteniendo agua dulce. Las plantas desalinizadoras o desaladoras son instalaciones industriales destinadas a la desalinización.

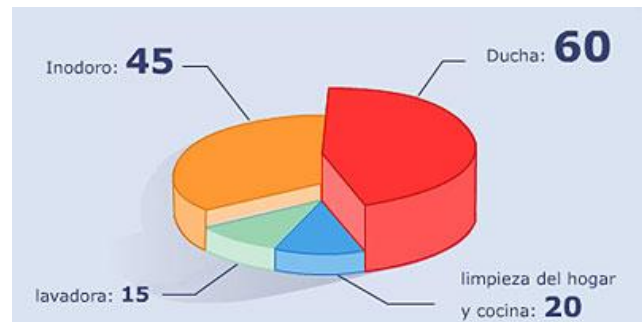
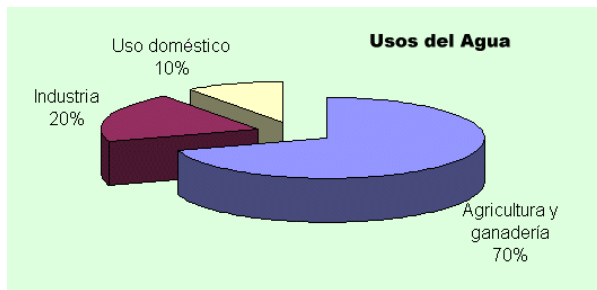
La denominación más correcta para el proceso es desalinización, puesto que desalación se define más genéricamente como el proceso de quitar la sal a algo, no sólo al agua salada.

Mediante la desalinización del agua del mar se obtiene agua dulce apta para el abastecimiento y el regadío. Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable desde hace muchos años, pero el proceso era muy costoso y hasta hace relativamente poco sólo se han utilizado en condiciones extremas. Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas. La primera planta desalinizadora en España se ubicó en Lanzarote en 1965 y actualmente existen más de 700 en todo el país. Las plantas desalinizadoras también presentan inconvenientes. En el proceso de extracción de la sal se producen residuos salinos y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y la fauna. Además, suponen un gasto elevado de consumo eléctrico. Con el fin de evitarlo, actualmente se están realizando estudios para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuentes de energía renovables.

Para quitar las sales que llevan las aguas marinas y salobres hay varios procedimientos de los que vamos a citar:

- **Procedimientos térmicos.** Consiste en la evaporación del agua y posteriormente provocar su condensación, con lo cual obtenemos un agua dulce libre de sales.
- **Ósmosis inversa.** Mecanismo mediante el cual aplicamos una presión externa a una solución concentrada en sales separada por una membrana semipermeable de otra solución de agua dulce. En un proceso de ósmosis directa, la solución diluida pierde agua y para intentar equilibrar las concentraciones a ambos lados de la membrana semipermeable (que es aquella que permite el paso de agua pero no de las sustancias que lleve disueltas). Sin embargo, en la ósmosis inversa la presión que se aplica es superior a la presión osmótica, por lo que el agua tiende a pasar al otro lado de la membrana semipermeable, y libre de sales.

9. USOS DEL AGUA.



a) **Consuntivos:** en los que se consume agua o se pierde o calidad.

- Agrícola (65%): agua para riego
- Industrial (25%): elaboración de productos (vidrio, papel, plásticos,...), refrigerante, depósito de vertidos, limpieza
- Doméstico y urbano (10%): higiene personal, cocinado de alimentos, bebida, limpieza.

b) **No consuntivos:** no se consume agua o no se pierde calidad después de su uso.

- Energético: producción de energía hidroeléctrica.
- Navegación y ocio
- Ecológico: recarga de acuíferos, y mantenimiento de ecosistemas acuáticos (ríos, humedales,...).

10. EL AGUA COMO RECURSO ENERGÉTICO.

La utilización del agua como fuente de energía es conocida desde muy antiguo, por ejemplo para el funcionamiento de los molinos de agua, pero hoy día tiene mayor importancia por el enorme aprovechamiento que se hace para la producción de electricidad.

Se diferencian cuatro formas de aprovechamiento energético del agua: energía hidráulica, energía mecánica de las olas, energía térmica oceánica (gradiente térmico) y energía mareomotriz, todas ellas renovables.

Energía hidráulica

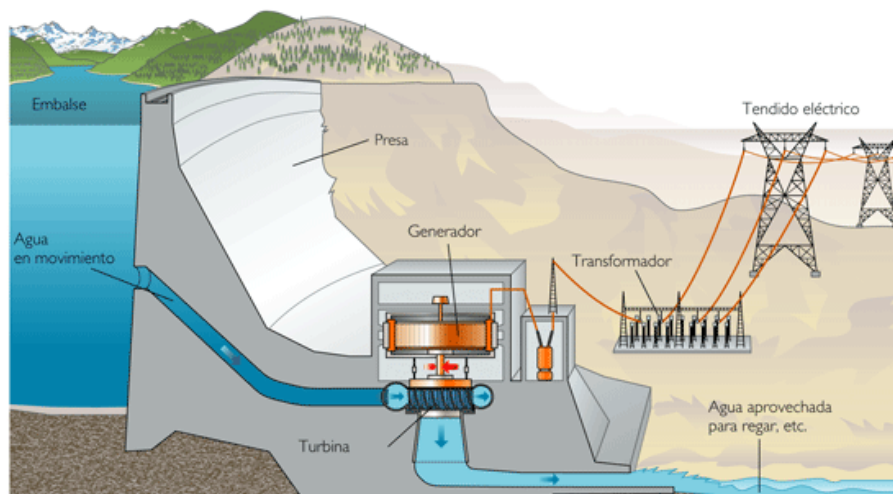
Es la energía potencial contenida en las masas de agua de los ríos, que puede ser utilizada para producir energía eléctrica mediante el salto de agua. En las centrales hidroeléctricas, la energía liberada por el agua a causa del desnivel es transformada en electricidad por medio de un grupo turbina-alternador.

Las **ventajas** que representa este tipo de energía son:

- Es una energía renovable, autóctona y limpia.
- Tiene alto rendimiento energético y bajo coste de producción, ya que no hay gasto de combustible.
- Los embalses permiten regular el caudal de los ríos, atenuando los efectos de las grandes avenidas y asegurando un caudal mínimo, muy importante en épocas de sequía.
- Permiten utilizar el agua para otros fines: abastecimiento de poblaciones, regadíos, actividades recreativas, deportivas, etc.

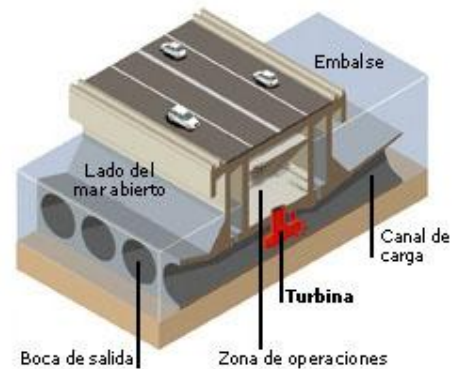
Por contra, los **problemas medioambientales** son:

- Alteraciones en los ecosistemas. Reducen la diversidad biológica de la zona; dificultan la emigración de los peces (salmones y anguilas); cambios en la composición química del agua embalsada, alteraciones en el microclima y eutrofización de las aguas.
- Aceleran la erosión de las laderas y sedimentación de materiales en el fondo del embalse lo que favorece su colmatación
- Impacto paisajístico. Fundamentalmente producido por las grandes presas, que implican la destrucción de tierras de labor y de pueblos enteros.
- Riesgos de catástrofes por rotura de la presa.



Energía mareomotriz

Utiliza la energía mecánica de las mareas para mover las turbinas y así para obtener electricidad en zonas de costa. Es un tipo de energía que se aprovecha en muy pocos lugares (Francia, Holanda, EEUU, Canadá, Rusia), debido a su poca rentabilidad, ya que se necesitan diferencias entre pleamar y bajamar de varios metros, además para regular el flujo de las mareas se ha de construir una presa en una bahía o ensenada lo suficientemente estrecha.



Energía mecánica de las olas

Es la energía debida al movimiento de las olas. Representa una fuente natural de energía de cierta importancia, pero hoy día su conversión en electricidad es técnica y económicamente difícil. Actualmente sólo existen pequeñas instalaciones en funcionamiento en Noruega y Japón, aunque son numerosos los proyectos en diversos países. En España se ha diseñado un proyecto denominado *Olas-1000*, que supone la construcción de una central prototipo con el fin de aprovechar la energía de las olas en la costa atlántica.

Energía térmica oceánica

Es la energía generada por la diferencia de temperatura entre el agua caliente de la superficie del mar y el agua fría de las profundidades. Para su aprovechamiento se requiere una diferencia mínima de unos 20º C que solo existe en las zonas tropicales y subtropicales. Este gradiente se puede explotar para producir electricidad, aunque hoy en día no hay ninguna instalación en funcionamiento, salvo una en fase experimental en las proximidades de las islas Hawai, debido al bajo rendimiento teórico, elevado coste de explotación, la potencia consumida en el bombeo de agua fría de las profundidades y el mantenimiento de los equipos en las condiciones adversas del mar.

11. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Según define la Ley de Aguas, “la contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

11.1. Tipos de contaminación y contaminantes.

1. Según su origen:

- **Natural:** como polen, esporas, hojas excrementos de animales, minerales arrastrados por la escorrentía, gases atmosféricos captados por la lluvia,... Estos residuos son eliminados por la capacidad autodepuradora del agua.
- **Antrópica:** provocada por acción humana. Se distinguen diferentes fuentes de contaminación antrópica, dependiendo de la actividad que la provoque:
 - Origen urbano: resultado del uso del agua en viviendas, comercios y servicios. Genera aguas residuales urbanas, ricas en microorganismos, materia orgánica y productos químicos de uso doméstico. Tienen una gran demanda de oxígeno.

- **Origen agrícola:** derivada del uso de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego. Son ricas en nitratos y fosfatos, peligrosos para la salud y con influencia en la eutrofización de aguas lentas y en la contaminación de acuíferos.
- **Origen industrial:** derivada de actividades industriales. Producen un mayor impacto por la gran cantidad de materiales y fuentes de energía que pueden aportar al agua (materia orgánica, metales pesados, incremento de pH y temperatura, radiactividad, aceites, grasas,...). Las industrias más contaminantes son las petroquímicas, energéticas, papeleras, siderúrgicas, alimenticias, textiles y mineras.
- **Otras fuentes de origen antrópico:** vertederos de residuos (urbanos, agrarios e industriales); restos de combustibles (lubricantes, anticongelantes, asfaltos,...); mareas negras, ocasionadas por vertidos de petróleo crudo; fugas de conducciones y depósitos de carácter industrial

2. Según su localización:

- **Puntual:** producida por un foco emisor determinado y que afecta a una zona concreta (vertidos industriales, desagües de saneamiento municipal, descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales).
- **Difusa:** de origen no tan definido, sin un foco emisor concreto, difíciles de delimitar geográficamente (vertidos agrícolas, mineros, de construcción, la escorrentía urbana).

TIPOS DE CONTAMINANTES

- **Contaminantes biológicos:** materia orgánica y microorganismos presentes en el agua, como bacterias, virus, protistas y algas. Se contamina básicamente por los excrementos humanos o animales y por las aguas residuales. El efecto más importante es la producción o transmisión de enfermedades (tifus, cólera, disentería, paludismo,...).
- **Contaminantes químicos:** atendiendo a su metabolismo de diferencian:
 - **Biodegradables:** como nitratos y fosfatos, procedentes de fertilizantes o de descomposición de materia orgánica. Su descomposición en el intestino, al combinarse con grupos amino de los alimentos, puede dar lugar a nitrosaminas, que son cancerígenas. Los carbohidratos, proteínas y grasas, así como gases como el metano, originan olores y colores anormales.
 - **No biodegradables:** se obtienen por síntesis química, como plásticos, pesticidas, metales pesados,... Como los organismos carecen de enzimas capaces de transformarlos, pueden llegar a concentraciones peligrosas, acumulándose en las cadenas tróficas. Compuestos orgánicos como plaguicidas, hidrocarburos aromáticos, policlorobifenilos (PCBs) y detergentes alterar el sabor, olor y color natural, producen espumas y alcanzan toxicidad por bioacumulación.
- **Contaminantes físicos:**
 - **Radiactividad:** procedente de fuentes naturales (rayos cósmicos, suelo,...) o actividades humanas (líquidos refrigerantes de centrales nucleares, residuos radiactivos de actividades médicas, de investigación o industriales). Se acumulan en los lodos de los embalses y fondos oceánicos. Son mutagénicos y tienen efectos cancerígenos.
 - **Contaminación térmica:** procedente de la utilización del agua como refrigerante en industrias térmicas (calentamiento) o de las turbinas de los embalses (enfriamiento). Afecta a la concentración de O₂ en el agua (disminuye su solubilidad al aumentar la temperatura), a la reproducción de especies y a la capacidad autodepuradora de las aguas.
 - **Sólidos en suspensión:** como lodos, arenas, gravas y restos orgánicos de animales y plantas. Interfieren en la penetración de la luz, afectando a los organismos fotosintéticos, afecta a la capacidad de autodepuración del agua y dificulta su utilización en las plantas potabilizadoras.

11.2. Contaminación de las aguas dulces.

Contaminación de los ríos

En condiciones naturales los ríos transportan una serie de materiales (sales disueltas, sólidos inorgánicos y orgánicos en suspensión) como consecuencia de su capacidad disolvente, erosiva y de transporte, que correspondería a una contaminación natural.

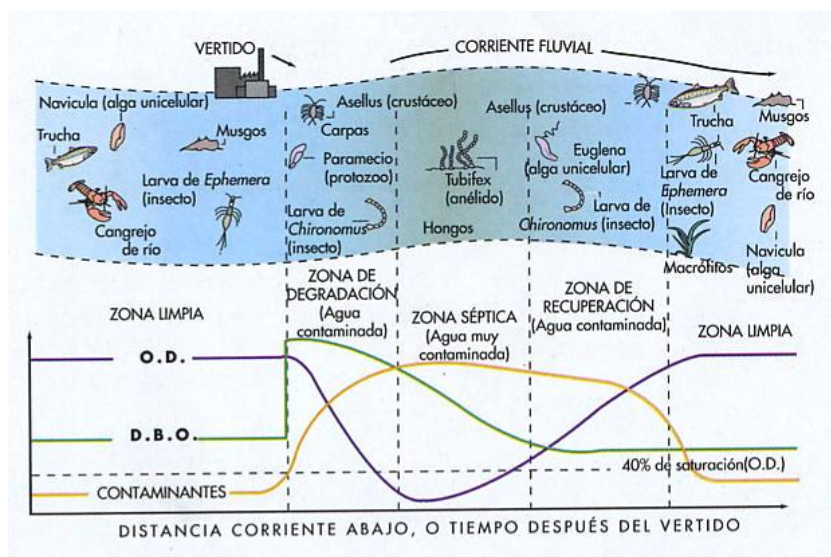
De manera creciente se ha ido vertiendo a los ríos multitud de productos procedentes de las actividades domésticas, agrícolas, ganaderas e industriales, y aunque los ríos tienen una importante capacidad de **autodepuración**, no pueden asumir tal cantidad de contaminantes, por lo que la contaminación fluvial ha aumentado significativamente en las últimas décadas.

Las consecuencias de esta contaminación son:

- ♦ Pérdida en la calidad de las aguas, que puede suponer un riesgo para la salud.
- ♦ Alteraciones en los ecosistemas acuáticos (fauna y flora), con disminución de la biodiversidad.

En los mecanismos naturales de **autodepuración** de un río se diferencian cuatro zonas según su contaminación y fase de depuración:

- **Zona de degradación** próxima al vertido: desaparecen organismos muy sensibles a la contaminación, como peces y algas, y aparecen otros más resistentes. El aspecto del agua es sucio, disminuye el contenido de oxígeno y aumenta la DBO. Comienza la degradación por parte de la flora microbiana.
- **Zona de descomposición activa:** aparecen aguas sucias, ennegrecidas, con espumas y malolientes. Existe una descomposición anaerobia que provoca el desprendimiento de gases.
- **Zona de recuperación:** reaparecen las algas y el agua se clarifica, debido a la presencia de oxígeno procedente de la actividad fotosintética.
- **Zona de aguas limpias:** el agua tiene una calidad acorde con la naturaleza del cauce y presenta una fauna y flora característica.



Contaminación de los lagos. Eutrofización

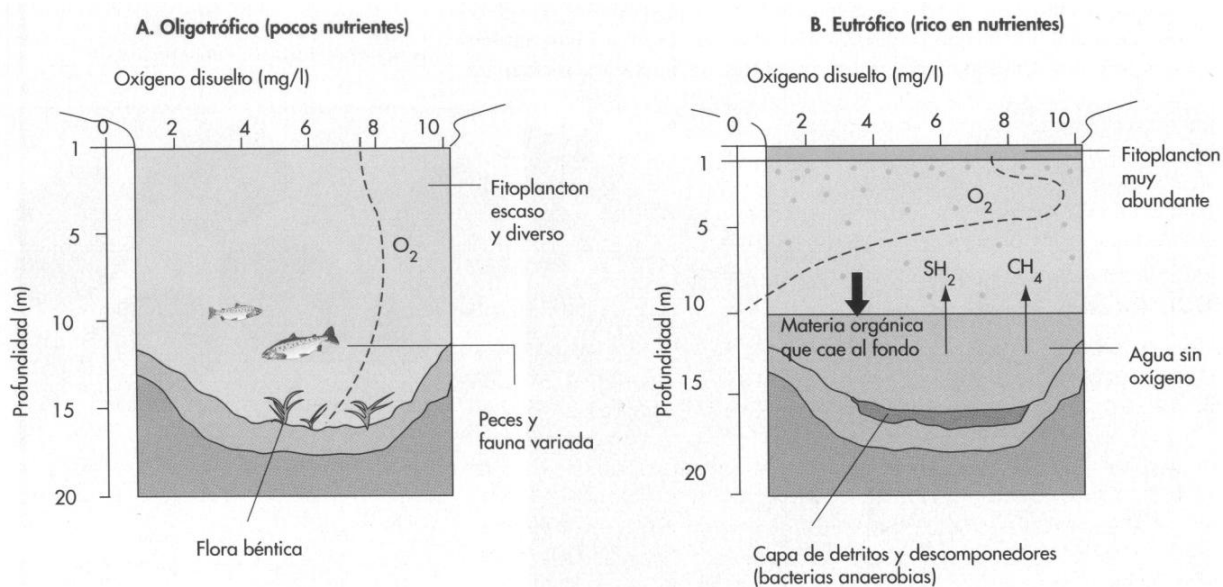
Los lagos debido a la casi inmovilidad del agua (ambiente léntico), son más fácilmente contaminables que los ríos y tienen una capacidad de autodepuración menor. Se pueden contaminar por las mismas fuentes que los ríos y sufrir las mismas consecuencias pero, además, pueden sufrir el proceso de eutrofización (exceso de nutrientes).

La eutrofización se produce por un aporte importante de materia orgánica y sobre todo, por aportes de nutrientes minerales, especialmente fósforo. Cuando hay un aporte excesivo de nutrientes que supera la capacidad de autodepuración natural, se produce un exceso de algas y plantas acuáticas con una gran actividad biodegradativa que consume oxígeno del agua y deteriora su calidad.

La eutrofización se desarrolla básicamente en tres etapas:

- Gran aporte de nutrientes, fundamentalmente fósforo, que es el principal factor limitante. Este P procede básicamente de abonos y fertilizantes, residuos alimenticios y detergentes con fosfatos.
- Proliferación excesiva de organismos fotosintéticos superficiales, como fitoplancton y algas, que enturbian el agua y disminuyen la zona fótica y producen al morir gran cantidad de materia orgánica en el fondo.
- Oxidación de materia orgánica del fondo, agotando el oxígeno, llegando a producir condiciones de anaerobiosis. Así se favorece la aparición de bacterias anaerobias y al fermentar la materia orgánica se desprenden compuestos químicos desagradables y peligrosos para la salud. Todo ellos empobrece la vida acuática.

Los efectos más importantes de la eutrofización son: turbiedad del agua, y olor desagradable, alterándose las propiedades organolépticas del agua; falta de oxígeno, lo que provoca la muerte de muchos animales; desequilibrio ecológico del ecosistema, al aumentar la vegetación y producirse la sustitución de unas especies por otras; gran sedimentación; disminución del valor recreativo.



Contaminación de las aguas subterráneas

El origen de la contaminación de las aguas subterráneas es muy variado: residuos sólidos urbanos, actividades agrícolas y ganaderas, actividades industriales y mineras, fugas de aguas residuales,... La contaminación rural, por ejemplo, está provocada por los pesticidas y plaguicidas, sustancias químicas asociadas a los abonos, el propio estiércol y sus productos de descomposición,...

Las aguas subterráneas son más difíciles de proteger, depurar artificialmente y tienen una autodepuración lenta, debido a dos causas:

- La detección no es inmediata, por lo que la contaminación se pudo producir hace meses o años
- La solución es más complicada, debido a que los acuíferos, al tener un flujo mucho más lento y afectar a grandes volúmenes de agua, necesitan mucho más tiempo para renovarse, e incluso el problema se mantiene al quedar las sustancias contaminantes adsorbidas en el acuífero.

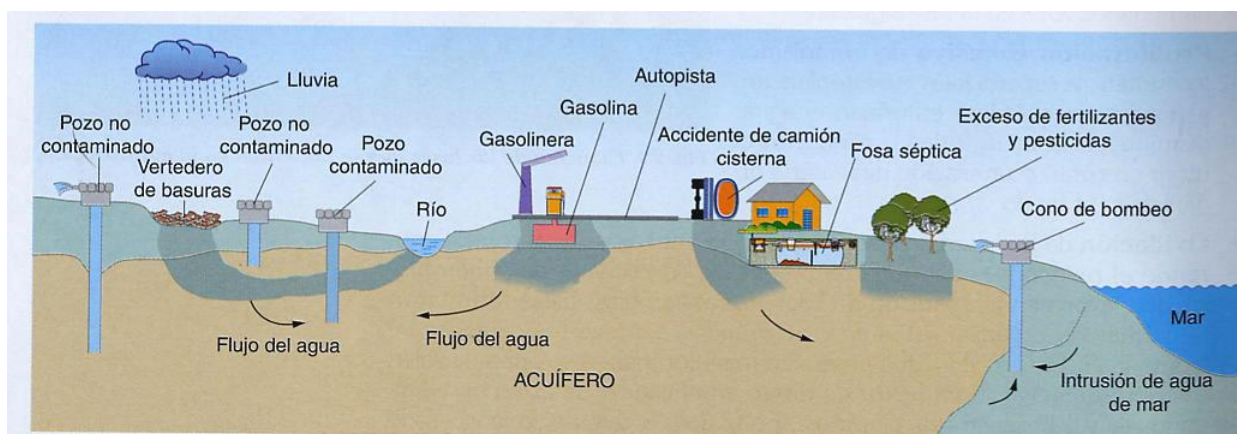


Fig. 31. Esquema de posibles actividades contaminantes de acuíferos.

11.3. Contaminación del mar: mareas negras.

Las mareas negras están producidas por vertidos de petróleo procedentes de operaciones de extracción en plataformas petrolíferas, el trasvase y descarga y limpieza de petroleros, o accidentes de petroleros.

Los efectos ambientales de una marea negra son debidos, por un lado, al petróleo que queda en la superficie, que impide la entrada de luz hasta los organismo fotosintéticos (fitoplancton), por lo que desaparecen, y con ellos el resto de las especies que estaban relacionadas a través de cadenas tróficas, y por otro lado, a los componentes más pesados (aceites y alquitrán), que caen el fondo, destruyendo la flora y fauna bentónicas. Esto es especialmente grave en la plataforma continental y en los arrecifes.

Además el petróleo puede cubrir las plumas de las aves marinas y la piel y el pelo de los mamíferos, dificultando sus movimientos e inutilizando su función de aislante térmico, por lo que los animales mueren por hipotermia.

Los métodos de eliminación de las mareas negras figuran en el siguiente cuadro

CUADRO II Métodos de eliminación artificial de las mareas negras		
Método	Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> Recogida manual o mecánica por succión, por adherencia a trapos, etc., para la reutilización del petróleo o para quemarlo. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización como fuel. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requieren aguas tranquilas. Contaminación atmosférica, si se quema.
<ul style="list-style-type: none"> Aislamientos mediante flotadores, burbujas o sustancias gelificantes, para hundirlo con sustancias absorbentes o quemarlo. 	<ul style="list-style-type: none"> Se reduce el impacto ambiental de las aguas más superficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> No se evita el impacto ambiental en los fondos marinos. Contaminación atmosférica.
<ul style="list-style-type: none"> Utilización de detergentes que facilitan la dispersión. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor rapidez en la degradación. 	<ul style="list-style-type: none"> Sólo vertidos pequeños. Posible efecto negativo sobre la capa cérica de las aves marinas.
<ul style="list-style-type: none"> Dispersión con agentes químicos e inoculación de bacterias para su degradación. 	<ul style="list-style-type: none"> Método natural. Conviene usar cultivos selectivos que degraden mejor cada tipo de compuestos y añadir bacterias del entorno y nutrientes inorgánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de detergentes para la dispersión, con el fin de aumentar la superficie de acción bacteriana.

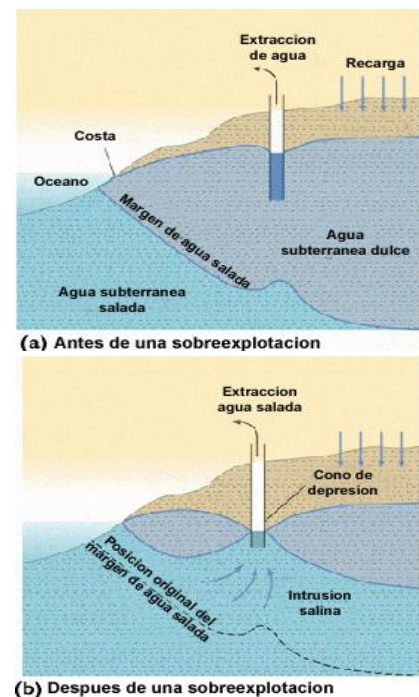
12. SOBREEXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

El aumento creciente de la población y de las actividades económicas a nivel mundial, ha supuesto una utilización masiva de agua dulce de los ríos, lagos, embalses y acuíferos subterráneos, para satisfacer la demanda creciente de agua, hasta tal punto que en muchas ocasiones la tasa de explotación ha superado la tasa de renovación natural.

Esto ha producido una disminución del caudal de los ríos y del nivel de los lagos, pero donde se observa con mayor claridad la sobreexplotación de los recursos hídricos es en las aguas subterráneas.

La explotación de los acuíferos a un ritmo superior al de recarga es una práctica insostenible que conduce inevitablemente a su agotamiento. Las consecuencias de la sobreexplotación son varias:

- Deseccación de manantiales y de los ríos efluentes (aquéllos a los que drenan aguas subterráneas).
- Destrucción de los ecosistemas de los humedales.
- Compresión de suelos y riesgos de hundimiento del terreno por subsidencia.
- Fenómenos de **intrusión salina**: en los acuíferos cercanos a las costas, la sobreexplotación de acuíferos costeros ocasiona un descenso del nivel freático, provocando el fenómeno de “**intrusión salina**”, de manera que el agua del mar, cargada de sales y de mayor densidad, invade el espacio libre del acuífero y desaloja el agua dulce, produciendo una salinización del agua subterránea. Este fenómeno se está produciendo en muchos lugares del Mediterráneo y canarias.



13. LA CALIDAD DEL AGUA: PARÁMETROS DE ESTUDIO.

La calidad del agua se define en función del uso a que va a ser destinada (bebida, riego, baño,...) mediante una serie de caracteres o cualidades (color, sabor, olor,...) o en relación con su estado natural.

Para medir la calidad del agua se emplean una serie de parámetros o índices, que nos permiten cuantificar el grado de alteración de sus características naturales, teniendo en cuenta su uso.

1. FÍSICOS:

- **Caracteres organolépticos:** color, olor, sabor.
- **Temperatura:** idónea para consumo entre 8-15 °C. Mayor temperatura indica probable presencia de microorganismos en el agua.
- **Turbidez:** debida a sólidos en suspensión (s.s.). Se utiliza el disco de Sechi para valorarla.
- **Conductividad:** está relacionada con la [sales]. El agua potable tiene < 400 µS/cm.

2. QUÍMICOS

- **pH y alcalinidad:** debido a la presencia de bicarbonatos, carbonato o hidróxido. El agua limpia tiene pH=7.
- **Dureza:** mide la concentración de sales de Ca y Mg.
Aguas blandas < 50 mg CO₃Ca/l
Aguas duras > 200 mg CO₃Ca/l

- **Nitrógeno:** se mide el índice de N orgánico, N amoniacal, NO₂ (nitritos) y NO₃ (nitratos).

Descomposición y oxidación del nitrógeno orgánico por bacterias



El índice de N nos sirve para determinar el tiempo que puede llevar el agua contaminada. Si hay niveles altos de N orgánico y N amoniacal significa que la contaminación es reciente, porque todavía no le ha dado tiempo a oxidarse.

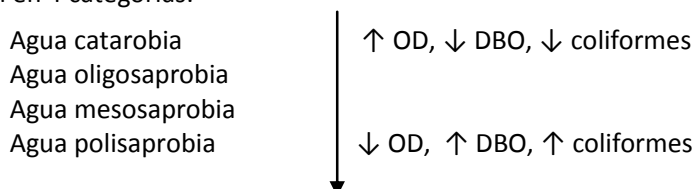
- **Fosfatos:** el nivel de Fosfatos sirve para determinar si el agua se ha contaminado con fertilizantes o detergentes con fosfatos (hoy día están prohibidos).

INDICES ANALÍTICOS para determinar la presencia de MATERIA ORGÁNICA en el agua

- **O.D. (Oxígeno disuelto):** mide la concentración de O₂ en mg O₂/l a 20°C, cuando menos concentración de O₂ mayor contaminación orgánica.
 - Aguas de montaña: 10 mg O₂/l
 - Aguas contaminadas de materia orgánica: 4 mg O₂/l
- **D.B.O. (Demanda biológica de oxígeno):** mide la cantidad de O₂ consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. La medida más empleada es la **DBO₅**, el O₂ consumido en 5 días en una muestra de agua a 20 °C y en oscuridad. Valores altos de DBO indican contaminación orgánica.
 - Agua potable: DBO < 3 mg/l
 - Efluentes depuradora: DBO < 20 mg/l
- **D.Q.O. (Demanda química de oxígeno):** mide la cantidad de O₂ consumido para oxidar la materia orgánica e inorgánica empleando un agente oxidante (Dicromato o Permanganato potásico). La DQO siempre tiene que ser mayor que la DBO.

DQO – DBO: indica la cantidad de materia NO biodegradable.

3. **BIOLÓGICOS. BIOINDICADORES** de la calidad del agua: son microorganismos, larvas de insectos y otros animales (peces, cangrejos, anfibios) cuya presencia o ausencia nos indica el grado de contaminación. Se utilizan diferentes tipos de bioindicadores:
 - **Índice de coliformes:** mide la [bacterias coliformes]/100 ml. Niveles altos indican contaminación fecal.
 - **Sistema de saprobios:** utiliza ciertos organismos como Bioindicadores, ya que crecen selectivamente en aguas con diferente grado de contaminación. Para determinar el grado de contaminación del agua, las aguas se dividen en 4 categorías:



Clase de organismos	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	DQO (mg O ₂ /l)	Bacterias totales/ml	Tipo de agua	Nivel de contaminación
Catarobios	0	0	0	Cataróbica	Nada contaminada
Oligosaprobios	1-3	5-12	<100.000	Oligosapróbica	Poco contaminada
α-Mesosaprobios	3-7	12-20	100.000-500.000	α-Mesosapróbica	Medianamente contaminada
β-Mesosaprobios	7-15	20-35	500.000-2.000.000	β-Mesosapróbica	Muy contaminada
Polisaprobios	15-100	35-100	>2.000.000	Polisapróbica	Fuertemente contaminada

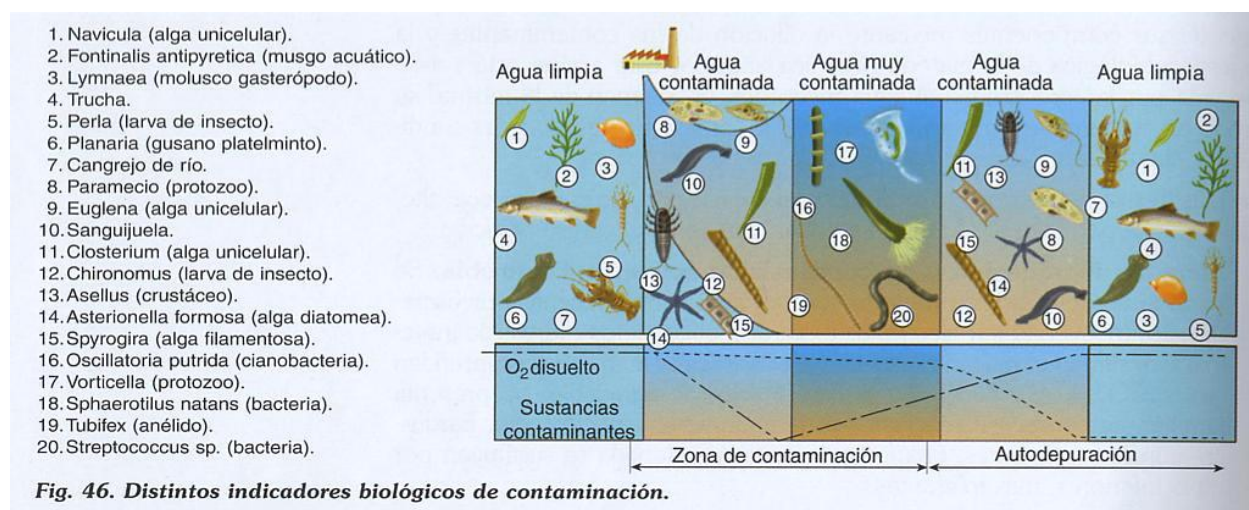


Fig. 46. Distintos indicadores biológicos de contaminación.

- **BMWP:** utiliza como indicadores 131 familias de macroinvertebrados. Toma como referencia principal la riqueza biológica de las aguas naturales en función del número y tipo de especies presentes. Es uno de los más utilizados en España.

Tipo	Valor BMWP	Estado del agua
1	> 120	Buena calidad. Aguas muy limpias
2	101-120	Calidad aceptable. Aguas no contaminadas o no alteradas sensiblemente
3	61-101	Se evidencias algunos efectos de contaminación
4	36-60	Mala calidad. Aguas contaminadas
5	16-35	Aguas muy contaminadas
6	< 15	Aguas fuertemente contaminadas