

## BLOQUE III: HIDROSFERA

(\*) PROGRAMA DE LA ASIGNATURA según la Comisión interuniversitaria para las P.A.U. en Andalucía.

### 5. LA HIDROSFERA: Concepto. Distribución del agua en la Tierra. El ciclo del agua. Balance hídrico general.

*Conceptos básicos: Compartimentos de la hidrosfera, precipitación, escorrentía, evapotranspiración, infiltración, porosidad, permeabilidad.*

#### 5.1 Concepto de hidrosfera. Distribución del agua en la Tierra

La hidrosfera es el sistema material constituido por el agua que se encuentra bajo, en y sobre la superficie terrestre. Está constituida básicamente por una “capa” líquida que cubre la superficie de las áreas de menor altitud del relieve, formando los mares y océanos que cubren el 71 % de la superficie del planeta y ocupan unos 1.300 millones de km<sup>3</sup> de volumen. Esas cifras han variado en el tiempo en función de la temperatura media del planeta, el volumen de agua helada en glaciares, la distribución de las áreas emergidas o continentes, etc.

La hidrosfera se encuentra también (en volúmenes mucho más reducidos) en el agua que contienen las rocas y los magmas, la que se almacena por infiltración en las rocas de la corteza, las que circulan o están estancadas en la superficie de los continentes, y la que se encuentra en el suelo, en los seres vivos y en la atmósfera.

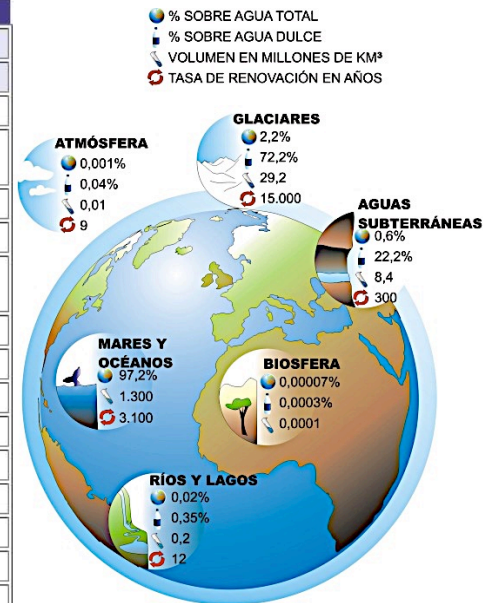
La hidrosfera terrestre:

- Interviene en los procesos geológicos como la fusión de las rocas en los magmas, la erosión y la sedimentación y la configuración del relieve terrestre.
- Contribuye, junto a la atmósfera, a la regulación del clima, homogeneizando las temperaturas por la acción de las corrientes oceánicas y de las brisas marinas y permitiendo la formación de nubes, con su contribución al albedo y efecto invernadero.
- Hizo posible la aparición de la vida y su evolución posterior en los mares.
- Posibilita las precipitaciones, que hacen que el agua fluya sobre la superficie de los continentes y al humedecer los suelos, crezcan las plantas y puedan existir los ecosistemas en el medio aéreo.
- Las propiedades del agua (densidad, salinidad, oxígeno disuelto, composición mineral, variación de la temperatura, etc.) son determinantes en la dinámica de la hidrosfera, así como en los procesos geológicos y biológicos de nuestro planeta.
- En la actualidad las aguas marinas, continentales y subterráneas de la hidrosfera se ven perjudicadas por impactos ambientales que producen su contaminación, tanto por efectos naturales (descomposición de restos orgánicos, erupciones volcánicas) como antrópicos (vertidos domésticos, industriales, agropecuarios, etc.).

El agua es una de las moléculas más abundantes del sistema solar, aunque en estado líquido no es tan frecuente. Toda el agua existente en la Tierra procede de las colisiones iniciales de cometas y meteoritos, de las continuas y abundantes emisiones volcánicas de sus primeros tiempos y de la condensación del vapor de agua que existía en la atmósfera original. De su volumen total, estimado unos 1.400 millones de km<sup>3</sup>, 1.340 se encuentra en los mares y océanos. Esta cantidad se ha podido mantener casi constante desde hace al menos 2.500 m.a.

La **distribución del agua en la hidrosfera**, es la siguiente:

Distribución del agua en la Tierra				
Situación del agua	Volumen en km³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300.000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	-	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,05	0,001
Atmósfera	12.900	-	0,04	0,001
Embalses	11.470	-	0,03	0,0008
Ríos	2.120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,003	0,0001
<b>Total agua dulce</b>	<b>35.029.110</b>		<b>100</b>	
<b>Total agua en la tierra</b>	<b>1.386.000.000</b>			<b>100</b>



El agua presente en la hidrosfera no se distribuye de manera uniforme a lo largo y ancho del planeta (si así lo hiciera se estima que tendríamos una capa de unos tres kilómetros de espesor).

Se consideran seis **compartimentos de la hidrosfera**, cada uno de ellos con características propias, pero todos más o menos interrelacionados: océanos y mares, depósitos de hielo, aguas subterráneas, aguas continentales superficiales, atmósfera y biosfera.

Del total de agua de la hidrosfera, el 97% aproximadamente está contenido en mares y océanos. El 3% restante se considera agua dulce. De esta, un 79% se encuentra en forma de hielo o nieve formando la "criosfera" (casquetes polares, glaciares, permafrost –suelos helados-, etc.). Del 21% restante, el 20% es agua subterránea y el 1%, se denomina agua superficial, que incluye las aguas estancadas en lagos y embalses (50%), agua edáfica o integrante del suelo (38%), que no se debe confundir con las aguas subterráneas, agua atmosférica en estado de vapor (10%), aguas de escorrentía superficial (1%) (ríos, torrentes y aguas de arroyada) y biosfera, dentro de los seres vivos (1%).

Existe también agua en el interior de la tierra, que interviene en la estructura cristalina de ciertos minerales, que no se conoce muy bien y no se considera en los cálculos de la hidrosfera, ya que solo interviene en el ciclo hidrológico y en procesos geológicos de escalas temporales muy amplias.

Casi toda el agua de que disponemos o es salada o está helada y el agua dulce continental, la que utilizamos como recurso, solo representa una mínima parte, en la que las aguas subterráneas son mucho más abundantes que las aguas de escorrentía superficial (ríos y lagos).

## 5.2. El ciclo del agua

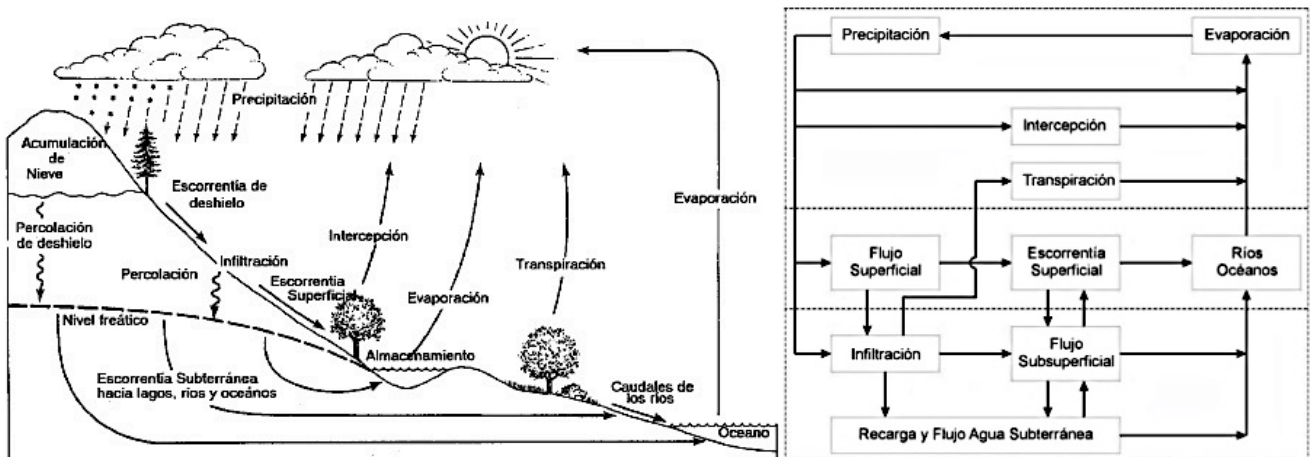
El ciclo del agua o ciclo hidrológico, es un modelo de representación que describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta. La energía solar, actuando sobre la atmósfera e hidrosfera, y la gravedad, son responsables de que el agua se halle en continuo cambio de estado y movimiento: evaporación, condensación, precipitaciones líquidas y sólidas, escorrentía, infiltración, etc.

Los **flujos en el ciclo del agua**: El agua de **Precipitación** sólida o líquida, cae sobre la superficie de los mares y continentes al descender desde las nubes.

El agua que no circula o permanece en superficie, sigue el proceso de **Infiltración** penetrando en el suelo y en las rocas a través de los poros y a favor de la gravedad (**percolación**) y circulando por

capilaridad o por flujo libre a través de las rocas se mueve hacia el subsuelo (**Escorrentía subterránea**), fluyendo dentro de él o almacenándose en acuíferos. Luego circula en dirección lateral, y acaba saliendo a la superficie en surgencias que alimentan ríos y lagos, o directamente en el océano.

La infiltración del agua va a depender de dos factores principalmente; la porosidad y la permeabilidad del suelo o las rocas. La **porosidad** de un material representa un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en el volumen total de roca (si la porosidad es del 50 % significa que la mitad de la roca está constituida por poros y la otra mitad por partículas sólidas). Para hablar del grado de interconexión entre poros, recurrimos a la porosidad eficaz, representada por los espacios por los que puede circular el agua, es decir aquellos que están comunicados. Por tanto la segunda siempre será menor que la primera. La **permeabilidad** de un material (roca o suelo) es la capacidad que tiene para permitir que un fluido -en este caso agua- pase a su través. Un material será más permeable cuando sea poroso y estos poros sean de gran tamaño y estén conectados.



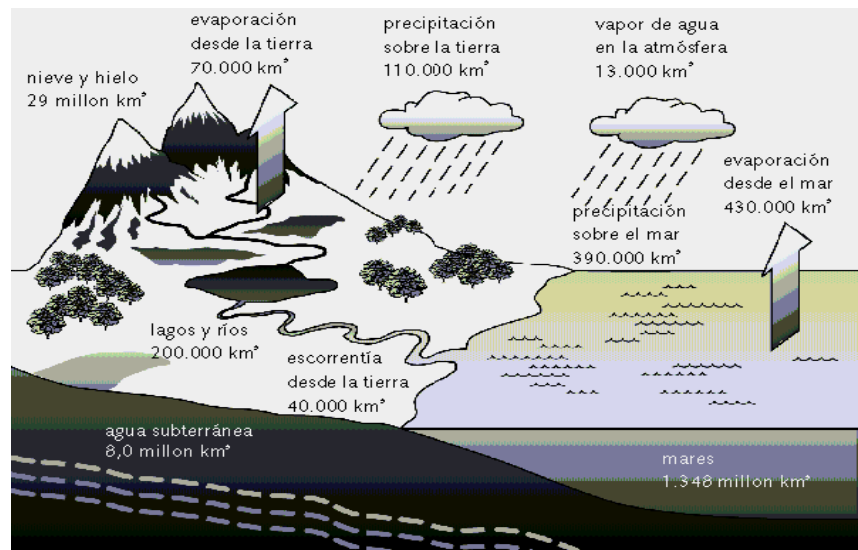
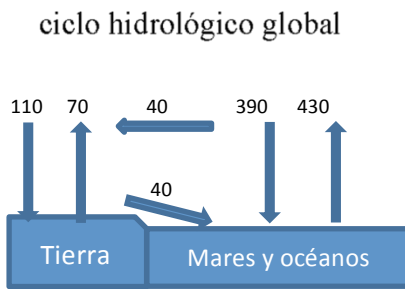
Flujos del agua en el ciclo hidrológico

Cuando la velocidad de caída de la lluvia es mayor que la capacidad del suelo para absorberla, el agua adicional fluye sobre la superficie, proceso denominado **Escorrentía superficial** (circulación desde las zonas más elevadas de los continentes hacia el mar mediante la arroyada en las laderas o a través de cauces de torrentes y ríos). Dicha escorrentía depende de las características climáticas, topográficas, geológicas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

Gran parte del agua que se infiltra o que corre por la superficie, acaba volviendo a la atmósfera por medio de la **Evaporación** desde el suelo, los lagos o las corrientes superficiales. Además, parte del agua que se infiltra en el suelo es absorbida por las raíces de las plantas, que después la liberan a la atmósfera. Este proceso se llama **transpiración**. Dado que no podemos distinguir claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la que es transpirada por las plantas, se suele utilizar el término **Evapotranspiración** para definir el efecto combinado.

La escorrentía superficial solo representa el resto de lluvia que queda en la superficie después de descontar los fenómenos de infiltración, evaporación y evapotranspiración.

La **evaporación global** es de casi una columna de 1m/año ( $\approx 500.000 \text{ km}^3/\text{año}$ ). La evaporación es mayor en el mar (1,2 m/año) que en los continentes (0,45 m/año). Aunque esto también es así para la lluvia (1,1 m/año en el mar y 0,73 en los continentes), la evaporación sobre el mar supera a la lluvia. Esta diferencia se debe a la humedad que el viento transporta del mar a los continentes y al agua que los ríos y acuíferos devuelven al mar. Esta parte del ciclo está prácticamente equilibrada, pero no lo está la correspondiente a las grandes reservas de agua dulce (la fusión de hielos y la sobreexplotación de acuíferos están conduciendo a un aumento del nivel del mar). Sin embargo, los desequilibrios son tan pequeños, en relación con los volúmenes de agua involucrados, que son difíciles de notar.



Los números son volúmenes aprox. en miles de km<sup>3</sup>/año. Las flechas hacia abajo significan precipitación, y para arriba, evapotranspiración. Las flechas horizontales, transferencia de volúmenes de agua atmosférica del mar hacia tierra y el drenaje o escorrentía de tierra hacia el mar.

El ciclo del agua se completa con las **reservas de agua de cada compartimento**, volúmenes disponibles en cada uno de los “depósitos” (mar, acuíferos, ríos, etc.) que se muestran en la Tabla. La suma de los depósitos del mar, hielo y aguas subterráneas, alcanza el 99,98% del agua total de la Tierra. En comparación, la cantidad de agua disponible en lagos y ríos es despreciable (0,02%). A ese volumen nos referimos a veces cuando hablamos de la gestión del agua a escala local de un país o una cuenca. El agua del río es la que fluye, la que da vida. No es absurdo pensar en los ríos como arterias. Por el contrario, el agua subterránea es la que está, la que da persistencia al ciclo hidrológico y la que permite que los ríos fluyan cuando no llueve.

Depósito	Vol agua (10 <sup>3</sup> km <sup>3</sup> )	% del total	Tiempo medio de residencia
Mar	1.338.000	96,5	3.200 años
Hielo polar y glaciares	24.064	1,74	16.000 años
Agua subterránea	23.400	1,70	100-10.000 años
Lagos agua dulce	91	0,007	1-100 años
Lagos agua salada	85	0,006	10-1.000 años
Suelo y humedales	28	0,002	280 días
Atmósfera	13	0,001	9 días
Ríos	2,1	0,0002	12-20 días

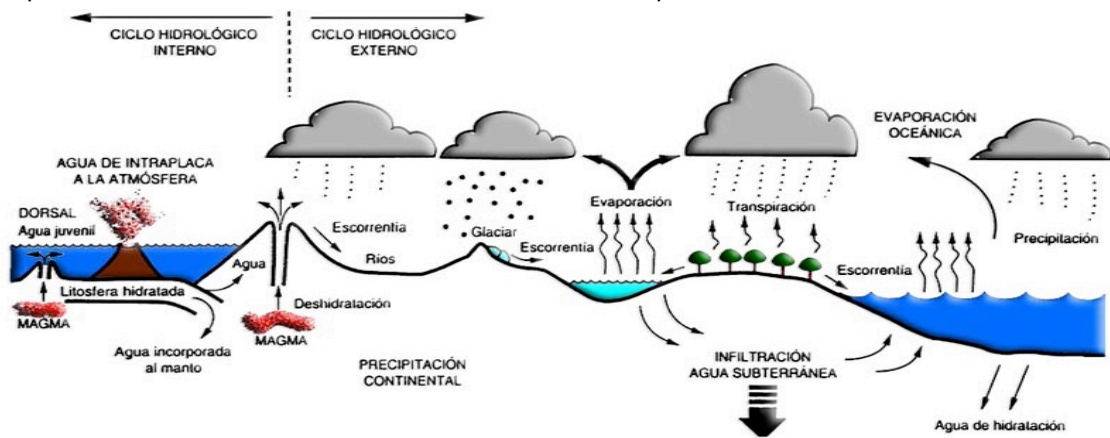
El ciclo hidrológico global en números: depósitos, flujos y tiempos de residencia (Gleick, 1996)

Se llama **tiempo de residencia** al tiempo que una molécula de agua permanece en un determinado compartimento (ríos, mares, lagos,...). Estos tiempos varían, desde 10 días o poco más en la atmósfera o en los ríos, hasta más de 3.000 años en los océanos.

Analizando los tiempos medios de residencia del agua en cada depósito, podemos concluir que el agua se mantiene relativamente saludable en el mar, a pesar de los fuertes impactos de contaminación recibidos durante el siglo XX, debido a su largo tiempo de residencia. En cambio, al estar solo unos pocos días en los ríos o en el aire (el agua evaporada volverá a caer como lluvia relativamente cerca), los ríos resultan muy vulnerables a la contaminación. Aunque ese tiempo también favorece la recuperación con relativa rapidez, una vez que cesa la fuente contaminante. El tiempo de residencia de las aguas subterráneas es de siglos, por lo que aún hay muchos acuíferos sin contaminar.

La imagen del ciclo hidrológico es excesivamente simplista. En realidad la cosa es más compleja: la **dinámica litosférica** hace que en los procesos de subducción, muchas rocas se fundan e incorporen a la astenosfera, añadiendo el agua que llevaban los sedimentos a los procesos magmáticos y dando lugar a un “ciclo hidrológico interno”. El agua de origen magmático que se libera a veces en los procesos

volcánicos, se reincorpora al ciclo hidrológico global. A estas aguas originadas en erupciones volcánicas, hay que añadir las “aguas juveniles” procedentes de la desgasificación de magmas, que nunca han estado en la superficie. La cantidad de agua reintroducida en el manto es compensada también por la que sale por las dorsales. Además, otra parte del agua se introduce en las estructuras minerales (agua de hidratación) o se incorpora a los sedimentos en las cuencas sedimentarias quedando almacenada en las rocas.



El ciclo del agua es **variable en el espacio y el tiempo** y es **muy inestable**. Para entenderlo mejor, pensemos en la circulación global del aire, que origina en el ecuador zonas de altas tasas de evaporación (por recibir mayor radiación) y de precipitaciones; o en las zonas secas en latitudes de 30 ° aprox. por coincidir con anticiclones permanentes. Esto explica en líneas generales la variabilidad espacial de las pautas de lluvia y evaporación, que también son alteradas por las corrientes marinas. Así, las regiones occidentales de los continentes (España, California) tienden a ser más cálidas y secas que las orientales.

América del Sur es, con mucho, el continente más húmedo porque es el único que es más ancho en el Ecuador. Cuando se analiza el ciclo global y las diferencias entre lluvia y evaporación, llama la atención que, exceptuando la zona ecuatorial, las diferencias sean pequeñas en los continentes. Ello pone de manifiesto que, donde llueve poco, la evaporación también es pequeña.

En cambio, en el mar siempre hay agua, por lo que la lluvia y la evaporación están mucho más regidas por la radiación solar y la circulación del aire. También evidencia el papel fundamental del mar en la alimentación del ciclo hidrológico, y que pequeñas variaciones de circulación atmosférica hagan variar mucho la lluvia. Es esta “inestabilidad” la que hace que el ciclo hidrológico sea difícil de predecir.

### 5.3. Balance hídrico general.

Es el equilibrio entre las entradas y salidas de agua en una región y en un tiempo determinado.

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

Siendo P=precipitación, ET=evapotranspiración, ES=escorrentía (que puede ser superficial o subterránea), VA = volumen de agua almacenada (en embalses o lagos, deteniendo la escorrentía superficial, o en acuíferos subterráneos).

Podríamos distinguir:

**a) Balance hídrico continental.** En los continentes, la precipitación es superior a la evapotranspiración lo que origina un excedente que es devuelto a los océanos mediante la escorrentía superficial y subterránea.

$$BH \text{ continental} = P (110) - ET (70) - Esc (40) = 0 \text{ km}^3/\text{año}$$

**b) Balance hídrico oceánico.** En los océanos, la precipitación es menor que la evaporación lo que origina un déficit.

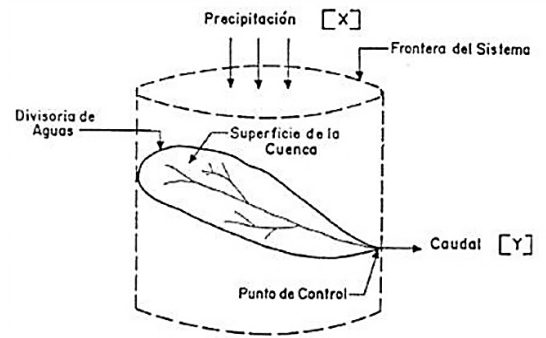
$$BH \text{ oceánico} = P (3902) - ET (430) = - 40 \text{ km}^3/\text{año}$$

Con los datos cuantificados del ciclo hidrológico, el balance hídrico general del planeta, sería:

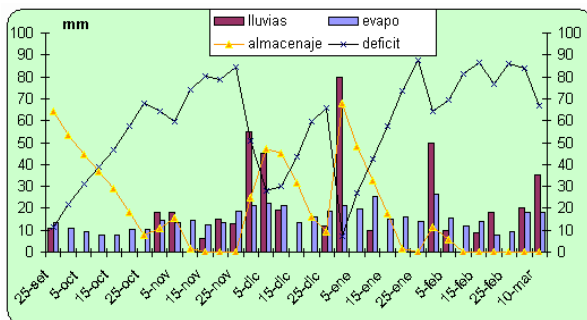
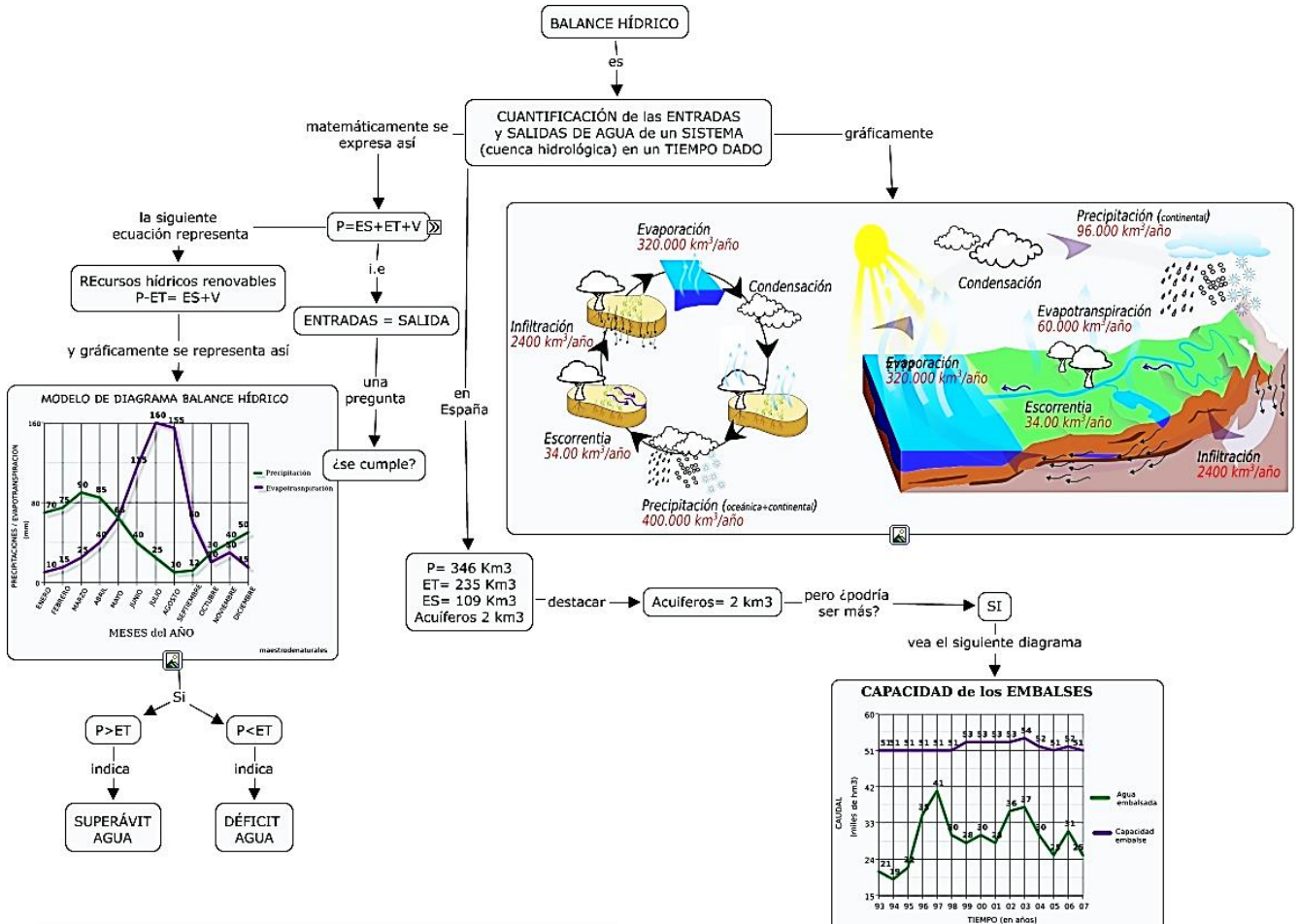
$$BH \text{ global} = P (390 + 110) - ET (430 + 70) = 500 - 500 = 0$$

La escorrentía, ES (40) se compensaría con la transferencia de vapor de áreas oceánicas hacia continentales (40). *Grosso modo* podemos considerar a la hidrosfera como un sistema cerrado dentro del planeta, ya que no intercambia materia (el volumen total de agua se mantiene constante), pero sí energía, que constituye el motor de la dinámica del ciclo.

Con frecuencia conviene hacer **cálculos de balances hídricos** en un país o en una región para poder tomar medidas de cara a plantear una adecuada gestión del agua como recurso potencialmente renovable y con frecuencia escaso. No obstante, la unidad natural de gestión es la **cuenca hidrográfica**, que se define como una superficie en la que todas las aguas de escorrentía superficial (y casi todas las subterráneas) están comunicadas entre sí y fluyen hacia un punto común, que es la desembocadura del río colector principal.



El balance hidrológico en una cuenca será 0 cuando las entradas (P, precipitación) igualan a las salidas:  $P - Q_{sp} - Q_{st} - ET = 0$ , siendo ET, evapotranspiración +  $Q_{sp}$  y  $Q_{st}$ , caudales superficiales y subterráneos.

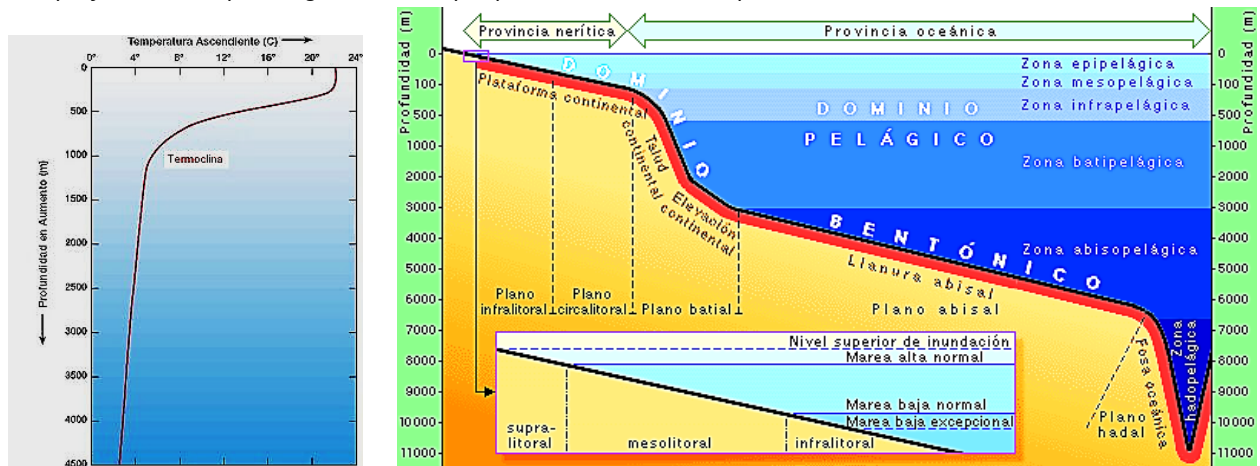


Normalmente interesa averiguar la cantidad de agua que se gana o pierde en un año. Se calcula representando en hidrogramas las diferencias entre precipitaciones registradas y evapotranspiraciones estimadas. Las cuencas serán **excedentarias** cuando ganan volumen de agua al ser  $P > ET$ , y **deficitarias** cuando pierden agua al ser  $P < ET$ .

**Algunas características básicas de las aguas marinas y oceánicas:** (Apéndice informativo fuera de programa)

El agua de los mares (poco profundos, próximos a continentes y relativamente cerrados) y océanos (profundidades medias ≈ 3.800 m, abiertos y de dimensiones planetarias) contiene, además de agua, una proporción variable (≈3%) de sales disueltas que proceden de los aportes de los ríos tras la erosión de los minerales existentes en la superficie de los continentes y de las emisiones volcánicas submarinas. Las más importantes, y sus cantidades en g/l, son: NaCl 23 g/l, MgCl<sub>2</sub> 5 g/l, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 g/l, CaCl<sub>2</sub> 1 g/l, KCl 0,7g/l También contiene disueltos algunos gases atmosféricos: CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> principalmente.

En los mares y océanos ecuatoriales y de latitudes medias, a medida que aumenta la profundidad, se pueden distinguir 3 zonas: la capa superficial (hasta 200-500 m), afectada por la incidencia de los rayos solares y con Tª influenciada por la de la atmósfera; **la termoclina** (hasta 1.000 m) en donde se produce un fuerte descenso de Tª; y la zona profunda en la que el agua está siempre próxima a los 4°C independientemente de la latitud.

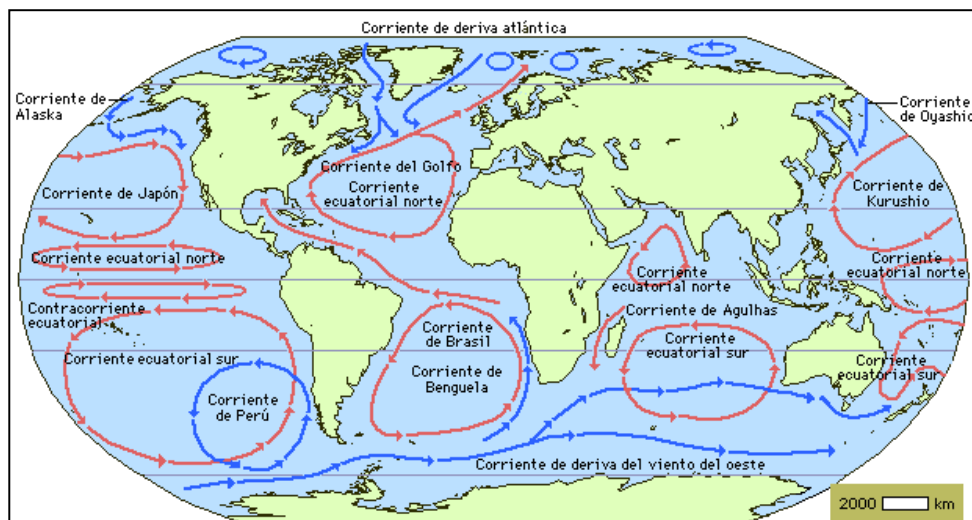


El agua de los mares y océanos se encuentra en continuo movimiento mediante tres procesos dinámicos: corrientes, olas y mareas.

Las **corrientes** son flujos continuos y persistentes de masas de agua, superficiales o profundas, según afecten a la zona situada por encima o por debajo de la termoclina. Aunque existen otros motivos secundarios (temperatura, perfil de las costas de continentes, presencia de archipiélagos, desembocaduras de ríos), la causa principal de las corrientes superficiales es el soplo producido por los vientos dominantes, por lo que tenderán a describir círculos horarios en el hemisferio N y antihorarios en el S, al descender de los polos hacia el ecuador y ser desviados por la fuerza de Coriolis en dirección E-O.

En los fondos oceánicos se ocasionan **corrientes profundas**. Su causa no son los vientos ni las diferencias de temperatura, dado que por debajo de la termoclina la temperatura siempre es próxima a los 4°C, sino las diferencias de salinidad. Por eso se conocen como corrientes termohalinas.

Las principales **corrientes superficiales** son, además de la citada ecuatorial, las corrientes de deriva de Poniente, que se desplazan en sentido opuesto O -> E en las latitudes de los círculos polares, al igual que los vientos de poniente; las corrientes S -> N del Golfo y de KuroShivo y N -> S de Canarias y California (en el Atlántico y Pacífico Norte, respectivamente). En el Atlántico y Pacífico Sur, se sitúan: la de Brasil N -> S y las de Benguela y Perú S -> N.

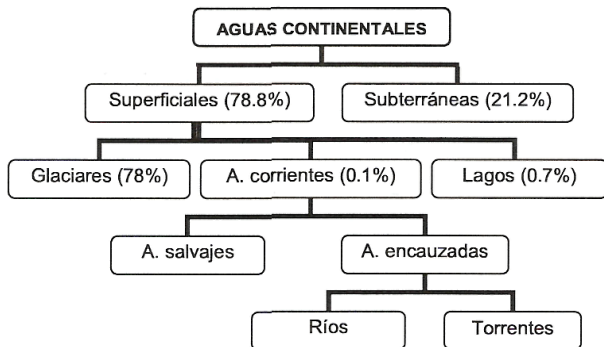


## 6. RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN DEL AGUA: Las aguas superficiales: embalses y trasvases. Las aguas subterráneas. Explotación de aguas subterráneas. Plantas desaladoras. Energía hidroeléctrica y mareal. Usos y consumo del agua.

*Conceptos básicos: Cuenca hidrográfica, red de drenaje, divisoria de aguas, escorrentía superficial, acuífero, nivel freático, manantial, pozos, uso consuntivo y no consuntivo.*

### 6.1 Las aguas superficiales: embalses y trasvases.

Las aguas continentales se diferencian de las marinas por su baja salinidad, especialmente en cloruros, lo cual está relacionado en proporción inversa con su tiempo de residencia: el agua del mar es tanto más salada cuanto más tiempo lleve admitiendo sales de los aportes de ríos o cuanto más intensa sea la evaporación. Por tanto, la composición de estas aguas varía en función del tiempo que lleven circulando o almacenadas en la superficie o en el subsuelo, de la composición de las rocas por las que circule, del clima, de la vegetación...y de la influencia de la contaminación. Normalmente no llegan a 1 g/l de concentración salina, recibiendo el nombre de aguas dulces y siendo el  $\text{CaCO}_3$  la sal más abundante.



Aunque, como ya se ha visto en el ciclo hidrológico, las aguas continentales superficiales y las subterráneas están totalmente interconectadas y no se pueden entender unas sin otras, de momento abordaremos el estudio de las primeras para poderlas relacionar, después, con las segundas.

La mayor parte de las aguas continentales la forma el hielo y nieve de los glaciares (78%), que por situarse en zonas frías y elevadas, constituye una importante fuente de aporte de agua tras la fusión. Estas aguas de deshielo, junto con las de precipitación por lluvia, dan lugar al 21% de aguas subterráneas, al 0,7% de los lagos y al 0,1% de las **aguas corrientes o de escorrentía**.

Parte del agua de precipitación y deshielo que se sitúa en la superficie de los continentes, se infiltrará y pasará a formar parte de las aguas subterráneas dependiendo de los siguientes factores:

- Tipo de precipitaciones. Mucha cantidad de agua caída en muy poco tiempo se infiltra peor que la misma cantidad de agua distribuida a lo largo de un período mayor.
- Tipo de suelo. Un suelo más arenoso permite mayor circulación del agua que uno arcilloso.
- Vegetación. A más vegetación, más infiltración y menos escorrentía superficial.
- Pendiente. A mayor pendiente, menor infiltración y mayor escorrentía superficial.

Muchas formas de alteración artificial de los suelos (la sobreexplotación agrícola, el sobrepastoreo, los incendios...) tienden a disminuir la capacidad de infiltración e incrementar la escorrentía. Las consecuencias serán: pérdidas de suelo por erosión y disminución de las reservas de agua (sequías), procesos que se conocen con el nombre de desertificación.

La parte de agua del deshielo y de precipitación que llega a las corrientes superficiales de una cuenca, se consideran aguas de **escorrentía, y pueden ser:**

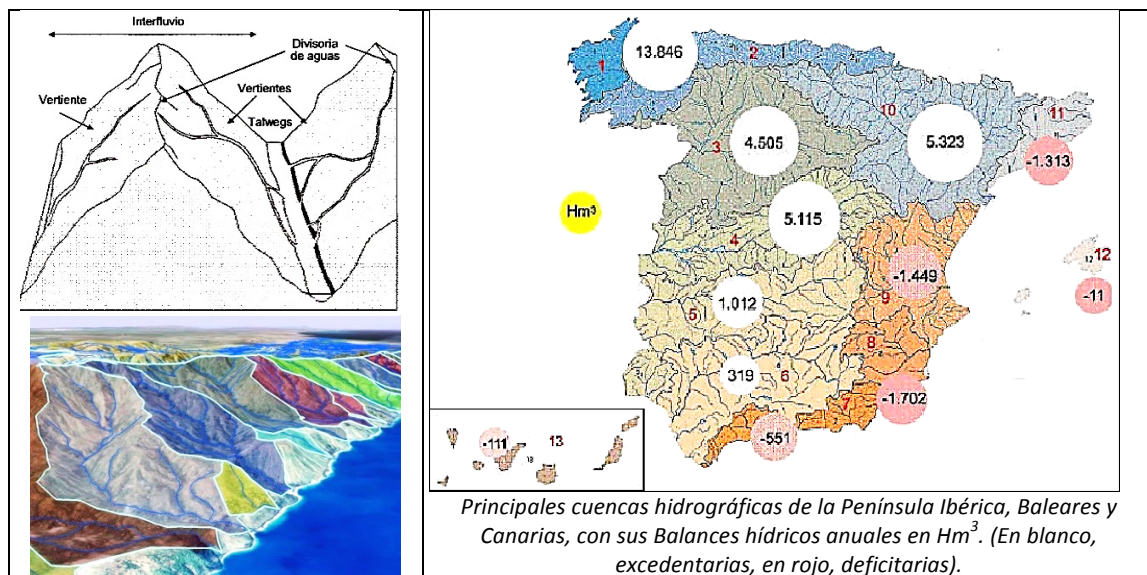
- **Escorrentía superficial:** se mueve sobre la superficie por acción de la gravedad, no quedando retenida en depresiones del suelo, y escapa a los fenómenos de evapotranspiración.
- **Escorrentía hipodérmica o subsuperficial:** tras infiltrarse, se mueve lateralmente por los horizontes superiores del suelo para reaparecer a la superficie e incorporarse a la red de drenaje superficial.



• **Esorrentía subterránea:** se infiltra hasta alcanzar la capa freática, circulando a través de acuíferos hasta alcanzar la red de drenaje.

Cuando las aguas de esorrentía superficial circulan en delgadas láminas o minúsculos regueros o canales sin configurar un cauce definido, forman las **aguas de arroyada** o salvajes. Cuando logran circular a lo largo de cauces (las líneas de máxima pendiente), constituyen los torrentes, ramblas, etc. si los caudales son intermitentes y ríos, si los caudales son continuos, aunque sean variables. Cuando alcanzan depresiones del relieve, se detienen, embalsan y forman las aguas estancadas (lagos, lagunas).

La unidad de funcionamiento y dinámica de las aguas superficiales (de esorrentía superficial y subterránea y estancadas), es la **Cuenca hidrográfica**, definida como la superficie de terreno en la que todas las aguas provenientes de precipitación o deshielo acaban circulando a través de canales (cauces) por los que fluye el agua superficial atraída por la gravedad, a favor de la pendiente del terreno. Una **divisoria de aguas** es la línea de cumbres o zona elevada del terreno que separa dos vertientes, cada una de las cuales conduce las aguas de esorrentía hacia dos cuencas hidrográficas distintas. Si la "divisoria" separa dos vertientes de dos afluentes de una misma cuenca, se denomina interfluvio.



El conjunto de cauces (líneas, cursos, fondos de valle, etc.) por los que circulan las aguas de esorrentía superficial (ríos, torrentes y arroyos) que recogen agua de una cuenca y que comunican entre sí hasta un único punto de salida o desembocadura, constituye una **red de drenaje**.

Los patrones o geometrías de las redes de drenaje son el resultado no sólo de la dinámica fluvial sino también de la naturaleza de las rocas y deformaciones tectónicas del terreno en cada cuenca.

Las redes de drenaje pueden ser:

- Exorreicas: Cuando vierten sus aguas al mar.
- Endorreicas: Si vierten sus aguas en una zona interior del continente aislada del mar en la que puede haber o no un lago (Ej. Mar Muerto)

Por tanto, una cuenca hidrográfica se puede definir también como el territorio que abarca una red de drenaje. Por lo general, tiene un río principal y unos tributarios que vierten sus aguas en él.

La **dinámica de los ríos** es compleja, ya que en ellos el agua fluye de modo irregular y variable en función de ciertas variables. Las más importantes son:

**Caudal:** Volumen de agua que circula por una sección del cauce en un lugar determinado y en una unidad de tiempo. Se mide en m<sup>3</sup>/s.

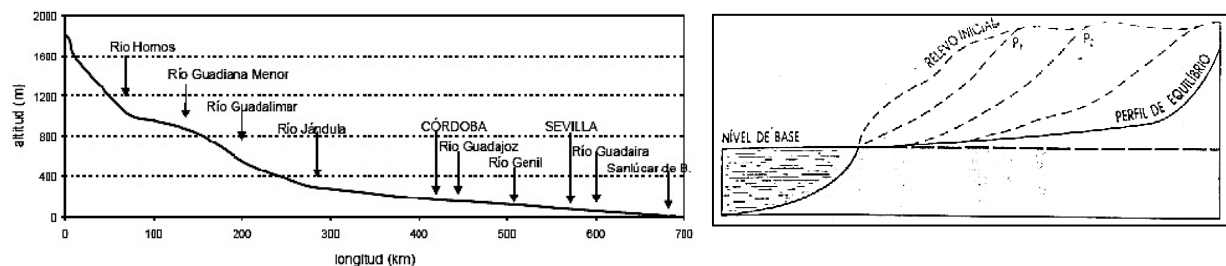
**Carga** de una corriente fluvial: Es la cantidad de sedimentos que transporta un río en un lugar y momento determinados medida en kg de sedimento/ m<sup>3</sup> de agua. Puede ser: carga de fondo (partículas

más pesadas que empuja la corriente), carga en suspensión (limos y arcillas) y carga en disolución (compuestos solubles). La efectividad de la corriente como agente erosivo queda aumentada por los efectos de choque de la carga fluvial.

**Capacidad:** Es la máxima carga de sedimentos que puede transportar un río en unas determinadas condiciones de caudal  $Q$  y velocidad  $V$  de la corriente (que depende de la pendiente). La capacidad mide el grado de energía que tiene una corriente fluvial y se incrementa mucho con el aumento del caudal, la velocidad y el régimen de flujo. Si  $Q$  y/o  $V$  son elevados, predomina la erosión; si son pequeños, la carga que se transporta tenderá a depositarse en el fondo.

**Competencia** de una corriente fluvial: Es el mayor tamaño de partícula que una corriente puede elevar o separa del fondo de su cauce.

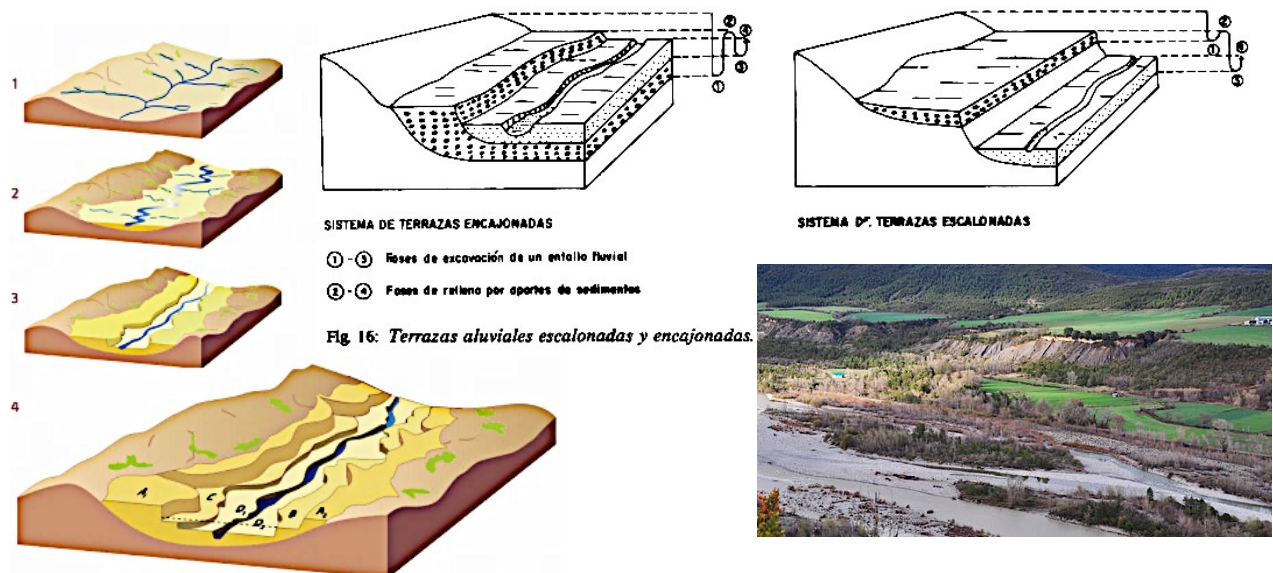
**Perfil longitudinal:** Es la representación de la altitud de cada punto del cauce de un río en función de la distancia a la desembocadura.



El **Perfil de equilibrio** sería un perfil "ideal", que tiende a adquirir forma de parábola, a lo largo de cuya trayectoria hay un equilibrio entre la pendiente y el caudal, de forma que el río transportaría carga de sedimentos, pero sus capacidades de erosión y de sedimentación serían mínimas.

Cuando la carga es mayor que la competencia del flujo para transportarla, esta se deposita en forma de derrubios aluviales o **aluviones**. En las zonas de aluvionamiento (deposición de aluviones) el río circula sobre una llanura de acumulación que se va elevando, haciendo avanzar el punto de nivel de base sobre una llanura, **llanura aluvial**.

Un río puede, a lo largo del tiempo, invertir la tendencia y comenzar a erosionar donde antes acumulaba derrubios, bien por un aumento de la erosión bien por una reducción de la carga, lo que hace aumentar el poder erosivo. La incisión de los aluviones va formando **terrazas fluviales**, de las que podemos encontrar varios niveles en un mismo río, originados por alternancias de distintos momentos de sedimentación y de erosión, causados a su vez por oscilaciones climáticas y/o tectónicas. Forman plataformas de aluviones, llanas y más o menos extensas que mantienen un desnivel constante sobre el lecho. Se presentan en forma de escalones separados por un talud más o menos abrupto.



Las terrazas pueden encontrarse encajadas: cuando la terraza inferior descansa sobre depósitos aluviales, que afloran en la terraza superior; o escalonadas: cuando descansa sobre la roca. Las terrazas suelen presentarse de manera simétrica en sendas orillas, aunque también pueden ser disimétricas.

Los **embalses** son acumulaciones de agua producidas por una obstrucción en el lecho de un río que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción puede deberse a causas naturales, como el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río, la acumulación de placas de hielo, construcciones hechas por animales, u obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

Los embalses generados al construir presas pueden tener varias finalidades:

- Regular el caudal de un río o arroyo, almacenando el agua de períodos húmedos para utilizarlos durante los períodos más secos para regadío, abastecimiento de agua potable, generación de energía eléctrica, permitir la navegación o para diluir contaminantes. Si un embalse tiene más de un fin, se llama de usos múltiples.

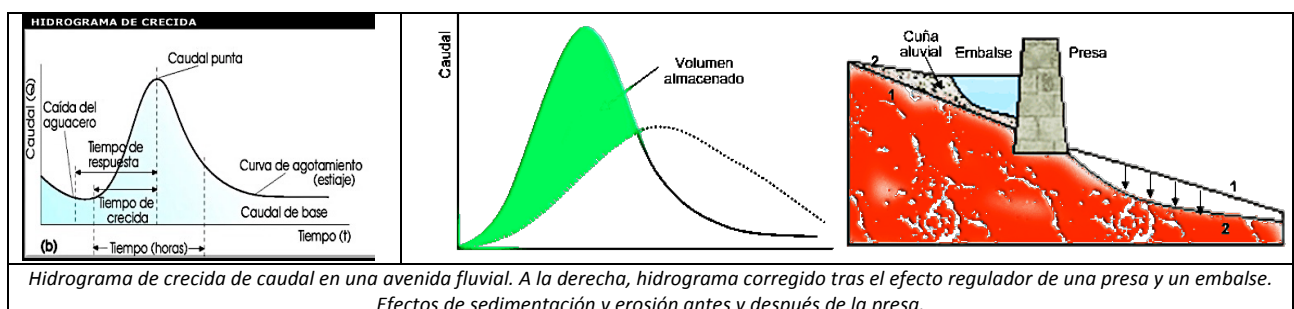


- Contener los caudales extremos de las avenidas o crecidas. Laminación de avenidas;
- Crear una diferencia de nivel para generar energía eléctrica, mediante una central hidroeléctrica;
- Crear espacios para esparcimiento y deportes acuáticos.

Los embalses de grandes dimensiones agregan un peso muy importante al suelo de la zona, además de incrementar las infiltraciones. Ambos factores juntos pueden provocar *seísmos inducidos*, frecuentes durante los primeros años después del llenado del embalse. Aunque pueden resultar molestos, rara vez alcanzan intensidades que puedan causar daños serios a la población.

La incidencia ambiental de un embalse va a depender de su ubicación, aunque de forma general se puede considerar una construcción que produce impactos ambientales de cierta importancia.

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
Ocio y recreo	Anequación de grandes superficies
Recarga de acuíferos	Alteraciones del nivel freático de los acuíferos
Abastecimiento urbano e industrial	Altera la migración de especies piscícolas
Uso no consuntivo	Incrementa el riesgo de eutrofización
Energía hidroeléctrica: renovable y limpia	Disminución de la biodiversidad
Transformación de zonas áridas en cultivables	Retroceso de deltas y degradación de playas al retener los sedimentos
Laminación de caudales disminuyendo el riesgo de avenidas	Modificación de caudales aguas abajo asociados al régimen de explotación
	Riesgos asociados a la rotura de la presa
	Conflictividad social asociada a la desaparición de pueblos, patrimonio histórico artístico,..
	Transformación de ecosistemas fluviales en lacustres
	Subsidencias y colapsos en el vaso de la presa
	Cambios en el microclima de la zona
	Asociados a su construcción: trazado de carreteras, desmontes, tendidos eléctricos, canteras, escombreras.



Los **trasvases de cuenca** son obras hidráulicas encaminadas a incrementar la disponibilidad de agua en cuencas vecinas. Los usos del agua pueden ser muy variados, aunque los más comunes son:

- Abastecimiento de agua potable a ciudades con un número de habitantes superior al que podrían soportar los recursos hídricos de la cuenca en la que se sitúa la ciudad. Esta necesidad se da en casi todas las grandes ciudades. La situación acarrea impactos ambientales, sobre todo si las aguas servidas se restituyen en una cuenca diferente de la que se extrajo.
- Regadío, que se hace necesario cuando las tierras de buena calidad se encuentran en áreas con escasos recursos hídricos.
- Generación de energía. Las centrales hidroeléctricas son muy frecuentes. Los trasvases permiten construir embalses más pequeños y maximizar la potencia instalada en la central hidroeléctrica.

*La realización de trasvases entre cuencas lleva aparejado la construcción de grandes embalses y conducciones, tanto en la cuenca donante como en la receptora. Por tanto, los inconvenientes de los trasvases se derivan por un lado de la construcción de las grandes infraestructuras necesarias y, por otro, de la alteración en la dinámica fluvial de ambas cuencas y de sus ecosistemas. Como ocurre con los embalses, los impactos causados por trasvases dependerán del valor ambiental de las zonas afectadas, siendo similares al de la construcción de autovías o de líneas de tren.*

*Además de los impactos causados por los embalses que han de construirse, los trasvases llevan asociados los siguientes impactos ambientales:*

- *Al ser construcciones que deben tener pendientes muy reducidas y prácticamente constantes, se requieren importantes movimientos de tierra con grave alteración de los ecosistemas.*
- *Durante cientos de kilómetros se produce una división del territorio con un importante efecto barrera que afecta a la fauna.*
- *En la cuenca efluente se produce una pérdida de caudal aguas arriba y de sedimentos aguas abajo con afectación para la fauna y la flora tanto en zonas sumergidas de las orillas (áreas de reproducción de peces y ricas en biodiversidad), como en zonas emergidas (alteraciones de la vegetación de ribera).*
- *En la cuenca receptora se producen alteraciones físico-químicas derivadas de la llegada de aguas con otras características que afectará a los organismos que allí se desarrollan.*
- *Se produce un intercambio de fauna entre las cuencas que afectará a los ecosistemas de ambas zonas, la introducción de especies ajenas es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad.*



España presenta una marcada diferenciación entre la vertiente norte y atlántica, húmeda y con cuencas excedentarias, y la mediterránea, árida y con cuencas deficitarias. Por otra parte, la población no se distribuye con criterios de precipitaciones y de recursos hídricos, sino de “clima agradable” y otros tipos de recursos. Frente a todos los impactos ambientales, hay que considerar también las enormes ventajas que supone para un país como España, una gestión de sus recursos hídricos que contemple la posibilidad de equilibrar la disponibilidad de recursos hídricos en las distintas poblaciones.

El trasvase Tajo-Segura es una de las obras hidráulicas de ingeniería más grandes realizadas en España, llevada a cabo de 1966 a 1979, dentro del marco de los proyectos de planificación económica en la década de los 60. Mediante este trasvase se deriva agua del Tajo desde los embalses de Entrepeñas y Buendía (Guadalajara-Cuenca) al río Segura a través de un recorrido de 100 km. La comisión de explotación del trasvase Tajo-Segura dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, es la encargada en todo momento de decidir la cantidad trasvasable y su utilización, excepto si los embalses de partida a día 1 de julio tuvieran menos de 557 hm<sup>3</sup>. Esta obra ha facilitado el abastecimiento de agua potable, el regadío, desarrollo industrial y económico de una gran población del levante español, aunque a veces ha repercutido negativamente en las reservas de aguas subterráneas y en el regadío de comarcas manchegas, más extensas, aunque menos pobladas.

El Plan Hidrológico Nacional (2001) planteaba la posibilidad de llevar a cabo un nuevo gran trasvase: del Ebro a varias cuencas levantinas, que no se vio viable. Fue sustituido por el proyecto AGUA (2005), que pretendía conseguir los 1.050 hm<sup>3</sup>/año previstos en el trasvase del Ebro mediante la inversión de 3.900 millones de €, en mejoras de gestión, ahorro, renovación de infraestructuras y reutilización.

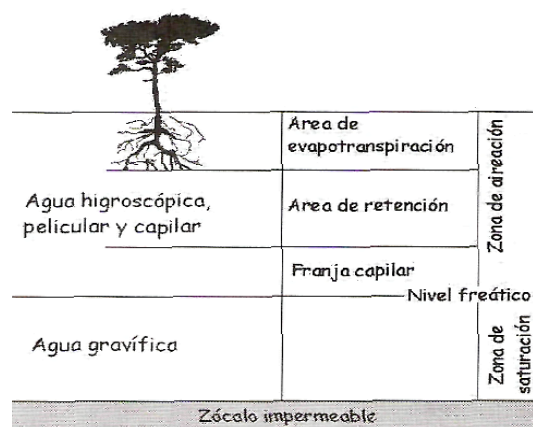
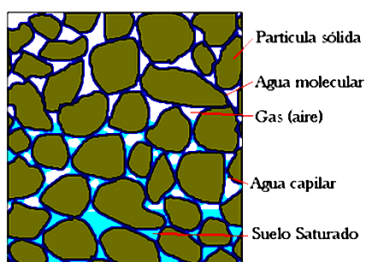
Los trasvases siempre han planteado diferencias de intereses políticos y económicos y disputas entre territorios. Es un problema común y no exclusivo de España.

**6.2. Las aguas subterráneas. Explotación de aguas subterráneas.**

La **Hidrogeología** es la ciencia que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas. Estas, representan el 22% del total del agua dulce de la hidrosfera, mientras que los ríos representan el 0'004%. No cabe duda de que el agua subterránea representa el mayor depósito de agua dulce que resulta fácilmente explotable por los seres humanos. Por cada litro de agua potable extraíble de las aguas dulces superficiales (ríos y lagos), existen 60 l disponibles de aguas subterráneas.

El origen de las aguas subterráneas está en la infiltración en el terreno de las aguas superficiales a través de los suelos y rocas con características que permitan la percolación, el flujo y el almacenamiento. Todas las rocas y suelos tienen espacios vacíos con fisuras y poros de distintos tamaños, que constituyen su **porosidad** y se expresa como el cociente entre el volumen de poros y el volumen total de roca. Será tanto más **eficaz** cuanto mejor se comuniquen entre sí esos espacios vacíos. El agua aprovecha esos "huecos" para infiltrarse y circular por el interior del terreno.

La **permeabilidad** de una roca será su facilidad para permitir la circulación del agua a su través y se expresa en m/día. Tienen permeabilidad elevada muchas rocas sedimentarias formadas por fragmentos poco consolidados (conglomerados, gravas, arenas...) y otras, que aun siendo duras están muy fisuradas (pizarras, etc.).



Ciertas rocas con componentes solubles (carbonatos, sulfatos...) como las calizas o yesos, acaban siendo permeables al dejar pasar el agua por estructuras (grietas, galerías, cavernas...), que agrandan su tamaño al disolverse. En cambio otras (gneises, granito, etc.), por ser compactas y consolidadas, si no están fisuradas, tendrán una baja permeabilidad o serán "impermeables", no permitiendo el paso ni la

acumulación en ellas del agua subterránea. También las arcillas son impermeables a pesar de tener una porosidad relativamente elevada, ya que los poros son microscópicos y están bastante comunicados.

Un **acuifero** (del latín "*lleva agua*") es una formación geológica de rocas con una elevada porosidad y permeabilidad, que contiene agua y permite su libre circulación a través de los poros bajo la acción de la gravedad. Debe estar delimitado por otras rocas o estructuras que permitan la circulación del agua subterránea y favorezcan su almacenamiento (algo así como un volumen "esponjoso" en el subsuelo, que puede "empaparse" de agua). Se les denominan también embalses subterráneos por ser las misiones que cumplen similares a las de los embalses de superficie.

En el transcurso del movimiento descendente del agua que se infiltra en el terreno, se pueden distinguir verticalmente tres zonas: de aireación, de saturación y la superficie de separación entre ambas, denominada superficie freática o **nivel freático**.

**1) Zona de aireación o no saturada.** Localizada entre la superficie del terreno y la freática:

a) Subzona edáfica o de evapotranspiración. Comprendida entre la superficie del terreno y los extremos de las raíces de la vegetación; es la franja del suelo sometida a evapotranspiración. Su espesor varía de 8-25 cm en las zonas sin vegetación, hasta 3 o 4 m.

b) Subzona de retención o intermedia. No está afectada por las raíces de las plantas, su grado de compactación es mayor. Cuando desaparece el agua gravífica, mantiene la higroscópica, pelicular y capilar.

c) Subzona capilar. Es la franja de transición a la zona saturada, su límite inferior lo constituye la superficie freática y su espesor depende de las fuerzas capilares que hacen ascender el agua.

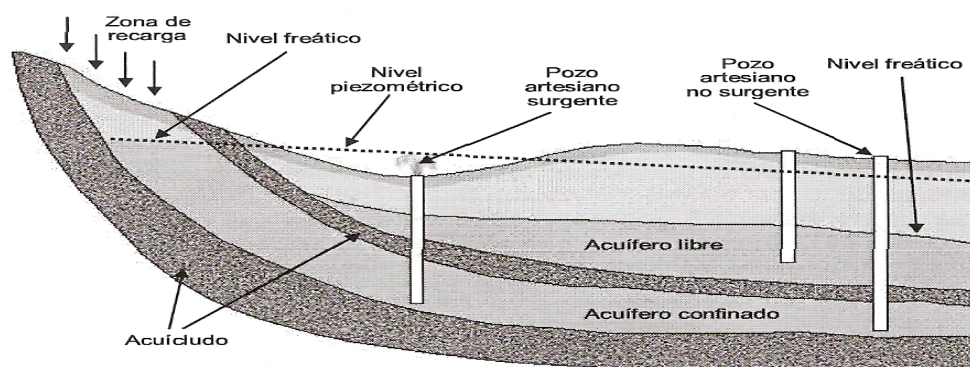
**2) Nivel freático o hidrostático:** (del griego "*phreatos*" pozo) es la superficie que separa la zona de aireación de la de saturación y corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuifero. Se mide en metros de profundidad respecto a la superficie del suelo y varía en función de las precipitaciones, de la velocidad de permeabilidad y de las descargas o pérdidas de agua del acuifero (salidas al exterior en manantiales). A menudo, en este nivel la presión de agua del acuifero es igual a la presión atmosférica, y viene determinada aproximadamente por el nivel de la superficie del agua en el interior de los pozos que penetran en la zona de saturación.

La altura del nivel freático varía según la zona; mientras que en las zonas lluviosas puede permanecer a pocos centímetros de la superficie, en los desiertos se encuentra a gran profundidad, y cuando existe un desnivel acusado del terreno, puede llegar a asomar a la superficie formando los **oasis**.

**3) Zona de saturación:** es la parte situada por debajo del nivel freático, en la que el agua llena completamente todos los poros. El límite inferior lo constituye el **zócalo impermeable**, zona del subsuelo poco porosa y poco permeable, por la que el agua no puede circular.

Los acuiferos se clasifican según la presión a la que se somete el agua en los medios porosos y permeables:

**a) Acuifero libre o freático.** Formación geológica porosa y permeable en la que la superficie freática no queda limitada por arriba por ningún material impermeable, que separe la zona inferior saturada de la superficie del terreno. En este caso, si se hace un sondeo, el nivel del agua en el interior de la perforación coincide con la superficie freática, lo cual indica que la presión en ésta coincide con la atmosférica. La salida natural produce manantiales, surgencias,...



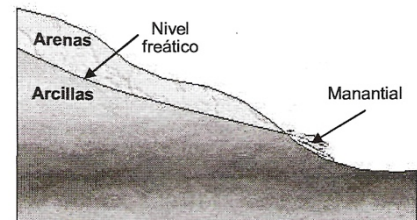
**b) Acuíferos confinados o cautivos.** Son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos estratos impermeables. En estos acuíferos, el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica (no existe nivel freático) por lo que al perforar un pozo, el agua subiría hasta una cierta altura llamada nivel piezométrico. Si este nivel queda por encima de la superficie del terreno, se trata de un pozo artesiano surgente, y si queda por debajo, de un pozo artesiano no surgente.

#### Explotación de las aguas subterráneas

El agua subterránea deja de considerarse como tal cuando abandona el subsuelo para emerger a la superficie del terreno (pasando en ese instante a ser agua superficial). Su extracción (captación) del subsuelo se puede hacer directamente a la salida de fuentes y manantiales, especialmente en zonas de montaña menos contaminadas (ese es el origen de las aguas que se comercializan como "minerales"), o mediante perforación del terreno a través de galerías o pozos (verticales).

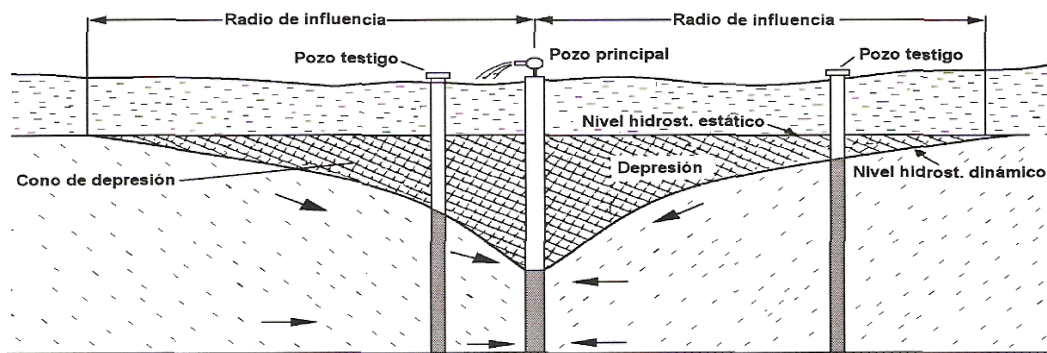
**a) Descarga natural: Los manantiales.** Son una descarga natural de agua en la superficie del terreno en cantidad apreciable, procedente de un acuífero. Son aliviaderos naturales por los que desaguan los embalses subterráneos, ya sea directamente bajo la atmósfera (manantiales subaéreos) o bajo la superficie de océanos, lagos o ríos (manantiales subacuáticos).

La causa más frecuente de la aparición de manantiales es la variación local de permeabilidad del terreno, que se puede deber a cambios en la naturaleza de la roca o a elementos de carácter tectónico como una falla. Son especialmente frecuentes en áreas de montaña los manantiales de ladera, en los que la superficie de terreno intercepta al nivel freático produciéndose en ese punto la salida del agua.



**b) Descarga artificial: Los pozos.** El método más habitual de explotación de acuíferos es la perforación de pozos verticales que alcanzan el nivel hidrostático local, desde donde se extrae el agua por bombeo.

El efecto más notable del bombeo de los pozos es la **depresión** provocada en el nivel de agua en su interior, consecuencia del descenso generalizado de la superficie freática del acuífero en el entorno de la captación. En efecto, cuando un pozo empieza a bombear agua subterránea, se produce un "vacío" que origina un **cono de depresión** a su alrededor, tanto más profundo y extenso cuanto mayor sea el caudal de explotación y menor sea la permeabilidad del acuífero, debido a que el agua tiene que fluir hacia esa zona para llenar el "vacío" generado por la extracción.



El aumento del cono de depresión es rápido al principio y se hace cada vez menos acusado hasta que se llega a un equilibrio entre el caudal extraído y el aporte de agua al acuífero, continuando en lo sucesivo el bombeo a nivel constante (*aforación*). El radio de influencia del pozo es el *radio en la base del cono de depresión*, distancia máxima en que se acusan los efectos de la depresión en otro pozo.

El diámetro del pozo tiene poca importancia en el caudal de agua que suministra el pozo, este depende directamente de la permeabilidad de la roca y del radio del cono de depresión.

Si los pozos de una zona están demasiado próximos unos a otros, llegan a superponerse sus conos de depresión, o sea, sus radios de influencia, originándose entonces un descenso generalizado del nivel hidrostático regional que puede llegar a secar los pozos que no sean bastante profundos.



### 6.3. Plantas desaladoras.

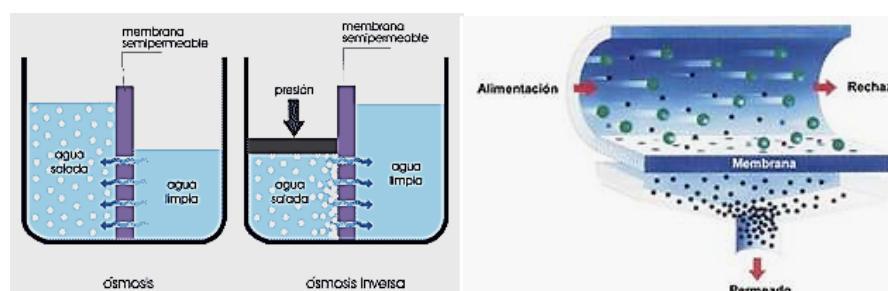
Como solución extrema a la falta de agua en determinadas regiones (por embalses insuficientes, sequías frecuentes, etc.) ya sea para uso doméstico, industrial o incluso agrícola, se recurre al agua de mar o de lagunas saladas.

El agua del mar contiene de 2,5 a 3,5% de sales minerales y el uso corriente de agua sólo admite un 0,1 % de sales disueltas. Por ese motivo, para poder utilizar el agua del mar y demás aguas salobres para el consumo, se utilizan distintas técnicas de desalación o desalinización:

**a) Destilación por corriente de vapor en varias etapas.** Consiste en calentar el agua salada y hacer pasar el vapor resultante por una serie de cámaras. A medida que la temperatura de la salmuera disminuye, la presión en las sucesivas cámaras también lo hace con el fin de mantener el agua en forma de vapor hasta el final del proceso. Al enfriarse el vapor circulante, cede calor que se utiliza para calentar los tubos de entrada de agua salada. El líquido que se ha ido condensando se recoge como agua desalada al terminar el proceso.

**b) Ósmosis inversa.** La ósmosis es el paso espontáneo de moléculas de agua de una solución diluida a una solución concentrada a través de una membrana semipermeable que permite el paso del agua pero no de las sales disueltas, hasta alcanzar el equilibrio osmótico. Este paso se hace a una presión llamada presión osmótica.

Aplicando a la solución concentrada una presión superior a la osmótica, el proceso se invierte y se produce la ósmosis inversa: la filtración bajo presión a través de una membrana semipermeable. Los poros de la membrana están concebidos de manera que la mayoría de las sales, de los inorgánicos y de los iones son eliminadas (90-99%). Las moléculas de agua atraviesan fácilmente la membrana.

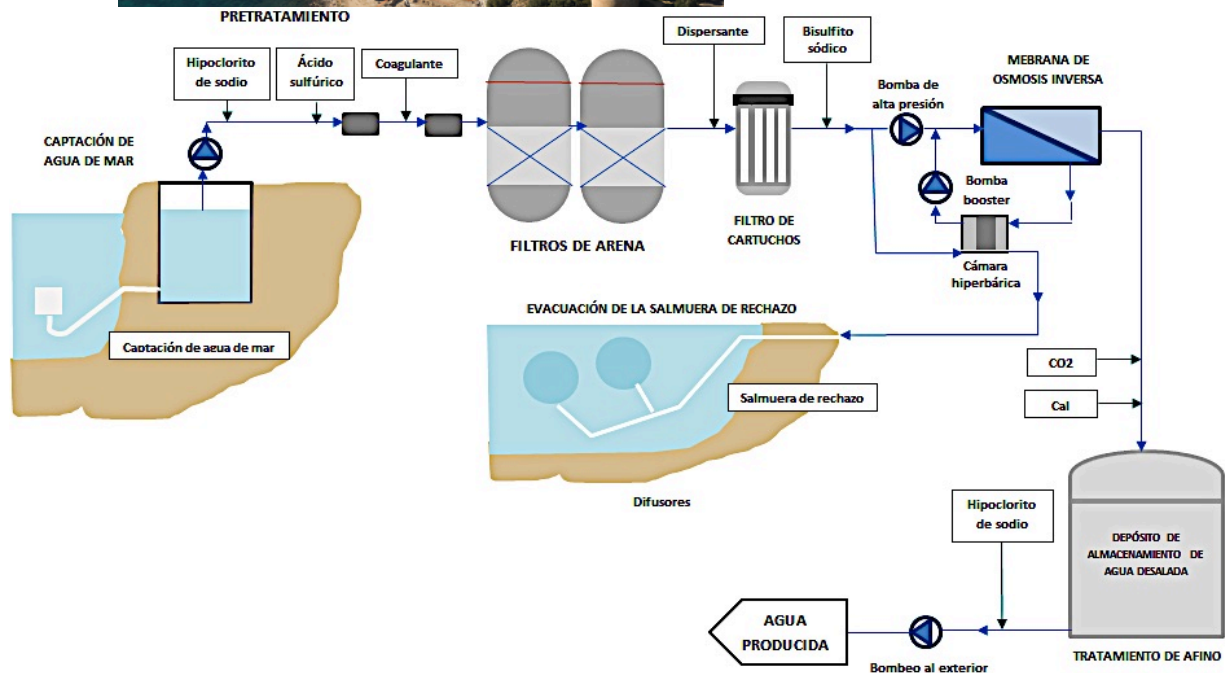


Sea cual sea el proceso de desalinización, el resultado es alrededor del 35% del agua dulce (hasta el 50% en plantas muy eficientes) y un 65 % de salmuera muy salada. El agua obtenida por la ósmosis inversa tiene entre 10 y 500 ppm de sales disueltas (la pauta normal del agua potable que bebemos suele ser de 500). El agua desalinizada, por estar perfectamente destilada, no consigue tener buen sabor; por eso, se remineraliza para que tenga un cierto contenido en sales y un determinado PH. El agua desalinizada es muy apreciada por las empresas de refrescos gaseosos para elaborar sus bebidas. Tiene una buena calidad y alarga la vida de las conducciones y los contadores, permitiendo reducir el uso de detergentes y de jabones.





Planta desaladora de Alcudia y detalle de la evacuación de la salmuera



El precio del agua es muy difícil de calcular, ya que influyen muchos factores (instalaciones para captación, potabilización, conducción, mantenimiento, amortización, depuración, impuestos, costes de los impactos producidos, etc.), que varían enormemente de unas regiones o municipios a otros. El precio medio del  $m^3$  de uso doméstico se sitúa en torno a 1,5€ (para 2014), pero oscila en más de un 200% entre Canarias o ciudades del E y S de la península (Tenerife, Murcia, Cádiz, Alicante, Barcelona) que se sitúan entre 2 y 3 €/m<sup>3</sup>, y poblaciones del norte o del interior, que apenas llegan a 0,80 €/m<sup>3</sup>. No obstante, el agua desalada tiene un coste añadido a todo lo anterior: el de la desalación, que muchos productores lo sitúan en 0,45 €/m<sup>3</sup>, o 0,60 si incluimos amortización.

Además, conseguir 600 hm<sup>3</sup> de agua desalinizada, supone un consumo energético de 240 Gw/h, lo que produce 2.400.000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, contribuyendo al efecto invernadero, pero con centrales de ciclo combinado, el impacto se reduce considerablemente, siendo las emisiones de CO<sub>2</sub> de solo 480.000 toneladas. Si se utilizara energía eólica, el impacto sería cero.

La desalinización está resultando una técnica muy extendida en muchos países con climas áridos o dificultades para obtener este recurso, como Arabia, Israel (60% del agua que consume), Australia, América, etc.

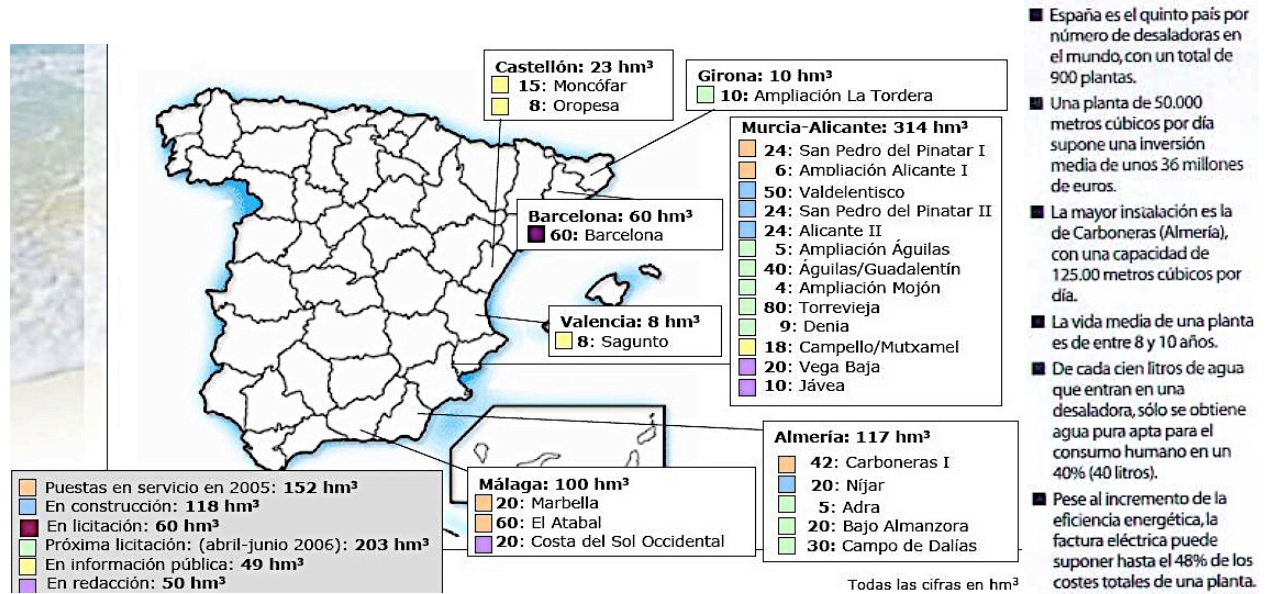
España es un país con grandes desequilibrios hídricos; toda la zona costera mediterránea tiene gran desarrollo industrial y turístico, pero graves carencias hídricas. Por eso, la desalinización se presenta como una alternativa de futuro que se debe ensayar y mejorar: coste se puede abaratar, y los impactos ambientales de los vertidos y consumos energéticos, se pueden reducir considerablemente.

No obstante, hoy por hoy este sistema de obtención de agua supone importantes inconvenientes:

- En el proceso de extracción de la sal del agua de mar se producen residuos salinos con una salinidad de entre 68 y 90% que, una vez vertidos al mar, perjudican a la flora y fauna marinas. Están afectando gravemente a las formaciones de poseidonias del Mediterráneo.
- Las complejas instalaciones de ósmosis inversa requieren un gran consumo de electricidad.
- Las desalinizadoras se instalarían en lugares no ocupados por las urbanizaciones turísticas.
- Como fábricas que son, tienen una vida limitada.

- El agua desalada puede perjudicar a la agricultura. Los cítricos, por ejemplo, tan abundantes en Valencia y Murcia, son muy sensibles a los minerales que contiene el agua desalada.
- Habría que realizar nuevas y costosas obras de infraestructura para trasladar el agua desalada a las zonas donde es necesaria.

Como vemos, la desalinización es una alternativa complementaria a otras, justo en la zona costera. La tecnología hará que su coste cada vez sea menor lo que la hará más atractiva y siempre que mejore los problemas medio ambientales que genera.



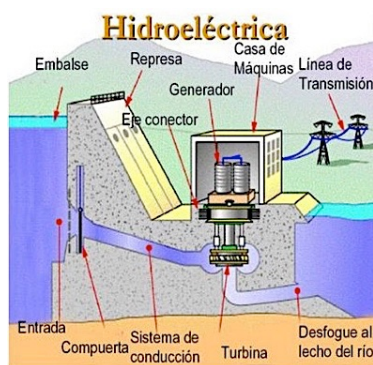
## 6.4. Energía hidroeléctrica y mareal.

### La energía hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía cinética y después en eléctrica mediante turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos.

Pocas veces los ríos aseguran un caudal de agua regular, de modo que se pueda aprovechar su energía potencial sin necesidad de embalsarla previamente. En la mayoría de los casos es necesario retener una importante cantidad de agua mediante la construcción de una presa, formándose así un embalse que produce un salto de agua para incrementar la energía potencial de la masa de agua embalsada y transformarla posteriormente en energía hidroeléctrica.

No todo este potencial energético es aprovechable, ya que los caudales dependen de la pluviometría y ésta varía con el clima que no es constante, aunque se pueda determinar un valor medio a lo largo del año.



Esquema de una central hidroeléctrica



Central Hidroeléctrica Alcántara – Cáceres



Central minihidráulica

La energía hidráulica puede contribuir aún en mayor medida de lo que se está haciendo hoy día como frente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Esta circunstancia se ve avalada además por el hecho de que la energía potencial del agua es una de las formas más puras de energía, puesto que no es contaminante y puede suministrar trabajo sin producir residuos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía limpia.</li> <li>- Bajo coste de explotación.</li> <li>- Regula las avenidas.</li> <li>- Mantenimiento mínimo.</li> <li>- No contaminante.</li> <li>- No hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas.</li> <li>- Permite el aprovechamiento para actividades de recreo.</li> <li>- Almacena el agua para utilizarla en los regadíos.</li> <li>- Alto rendimiento. El 80-90% de la energía es transformada en E. mecánica y eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transforma sistemas fluviales en lacustres.</li> <li>- Fuerte impacto ambiental.</li> <li>- Los sedimentos se acumulan en el embalse empobreciendo de nutrientes el resto del río y disminuyendo los aportes a la desembocadura lo que incrementa la erosión costera y el hundimiento de los deltas</li> <li>- Tiempo de explotación limitado (colmatación). Riesgos asociados (rotura presa).</li> <li>- Disminuye la biodiversidad.</li> <li>- Genera cambios en la composición química del agua embalsada.</li> <li>- La construcción de pantanos exige el traslado de nubes enteras</li> </ul>



Cuenca Hidrográfica	Número de aprovechamientos	% Total	Potencia instalada MW	% Total
Norte	293	22,3	4.058	22,3
Ebro	343	26,1	3.934	21,6
Duero	155	11,8	3.761	20,7
Tajo	121	9,2	2.878	15,8
Júcar	65	5,0	1.389	7,6
Guadalquivir	29	2,2	569	3,1
Galicia costa	69	5,3	555	3,1
Sur	19	1,4	461	2,5
Guadiana	10	0,8	248	1,4
Cataluña	178	13,6	227	1,2
Segura	27	2,1	108	0,6
Canarias	3	0,2	1	0,0
<b>Total</b>	<b>1.312</b>	<b>100,0</b>	<b>18.190</b>	<b>100,0</b>

España tiene un elevado potencial hidroeléctrico consolidado a lo largo de más de un siglo por el aprovechamiento de las condiciones orográficas y la existencia de un elevado número de presas.

Existen dos tipos de aprovechamientos hidroeléctricos:

- Centrales de agua fluyente o minicentrales hidroeléctricas, captan parte de un caudal y lo desvían por acequias o tuberías hacia pequeñas centrales con capacidades de 1 a 5 MW. Pueden generar hasta un 5% de la electricidad producida en España.

- Centrales de presa, aprovechan los saltos de agua producidos por el desnivel entre el agua embalsada y el curso fluvial, con capacidades > 5 MW y generan hasta el 20% de la electricidad española.

En el año 2010 la contribución de la energía hidráulica a la generación de electricidad llegó al 15%.

De los 55.000 hm<sup>3</sup> de capacidad total de embalses, el 40% tienen aprovechamiento hidroeléctrico, una de las proporciones más altas del mundo, siendo una de las energías renovables más productivas, junto con la eólica.

La energía minihidráulica tiene una larga historia en España, ya desde la década de los 60. En el año 2010 quedaban en funcionamiento 1.135 centrales; aunque se espera un futuro más prometedor para este tipo de energía en los años venideros. Se estima que unos 6.700 MW son generados en España por estas minicentrales.

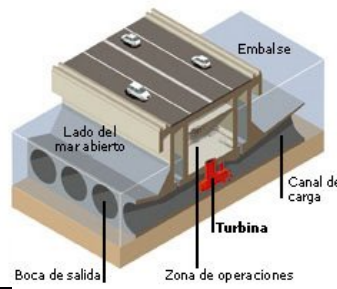
### Energía mareal o mareomotriz

Los ascensos y descensos del nivel del mar, provocados por la acción de las fuerzas gravitatorias del Sol y de la Luna, han sido aprovechados por el hombre para la producción de energía desde hace mucho tiempo.

La variación del nivel de los océanos hace que el agua entre y alga de estuarios y bahías generando un flujo de agua bidireccional. En zonas donde se produce una elevada oscilación de mareas, se pueden utilizar para generar energía eléctrica. Para ello se construye un dique que cierre una bahía y hacer que el agua circule a través de unas turbinas reversibles que generan electricidad.



Central mareomotriz de La Rance, Francia



Central de la Bahía de Fundy, Canadá

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto renovable</li> <li>• No contaminante</li> <li>• Silenciosa</li> <li>• Bajo costo de materia prima</li> <li>• No concentra población</li> <li>• Disponible en cualquier clima y época del año</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero</li> <li>• Localización puntual</li> <li>• Dependiente de la amplitud de mareas</li> <li>• Traslado de energía aún muy costoso</li> <li>• Efecto negativo actualmente sobre la flora y la fauna</li> <li>• Limitada</li> </ul>

**6.5. RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN DEL AGUA: Usos y consumo del agua.**

El agua es un recurso casi ilimitado y naturalmente renovable, aunque para la mayoría de las sociedades, solo potencialmente renovable. En la práctica, además de estar distribuido de forma muy irregular, deja de ser renovable cuando es afectada por la contaminación, siendo muy costosa su descontaminación. Es difícil pensar en una actividad humana (agricultura, minería, elaboración de alimentos, medicamentos, industria, fabricación de papel, de metales...), que no requiera un consumo de grandes cantidades de agua. Es un recurso cada vez más limitado y caro.

Es imaginable que en el futuro, cuando se empleen otras fuentes de energía, dejen de existir guerras por la obtención del petróleo, pero es de esperar que cada vez haya más tensiones por las reservas de agua. Siempre las ha habido y actualmente las hay, en España por ejemplo, entre cuencas hidrográficas o entre Comunidades Autónomas.

**Usos y consumo del agua**

Para llevar a cabo un uso adecuado o racional de los recursos de agua es necesario tener en cuenta que cuando la explotación del agua en una zona supera la tasa de renovación, las reservas de agua disminuyen y pueden llegar a agotarse.

Por tanto, no existe peligro de agotamiento siempre que la extracción del agua de un compartimiento (río, agua subterránea,...) no sobrepase el límite de su tasa de renovación o recarga.

El agua es necesaria para el consumo doméstico y para llevar a cabo diversas actividades económicas como la agricultura, ganadería, industria o la minería.

La calidad del agua es un concepto que se utiliza para describir las características físicas, químicas y biológicas del agua con relación a un uso determinado. El agua no ha de tener la misma calidad para todos los usos. Existe pues, una relación entre la calidad del agua y los usos a lo que se destina. Así para beber ha de utilizarse agua potable, pero para regar un campo puede utilizarse agua de menor calidad.

Existen dos tipos de usos del agua:

**Usos consuntivos:** Son aquellos que reducen su cantidad y/o su calidad, de manera que el agua después de ser utilizada, no puede usarse de nuevo con el mismo fin, ya que su calidad ha variado.

a) **Usos urbanos.** Cubren las necesidades de agua en los hogares, comercios y servicios públicos como limpieza de calles, usos municipales y servicios públicos (colegios, hospitales, jardines).

- La demanda está relacionada con el nivel de vida, el desarrollo económico y el tamaño de la población. Las necesidades mínimas son de 15 l/persona/día. Para una buena calidad de vida se precisan 80l/día. Los países desarrollados gastan entre 150 y 300 l/día.

- Un conjunto de infraestructuras facilitan la disponibilidad del agua a toda la población y garantizan su calidad. Así, el agua es captada de los ríos, lagos y pantanos, y se conduce a una planta potabilizadora, donde se limpia y desinfecta con el fin de hacerla apta para el consumo humano. De este modo, se eliminan todos los gérmenes patógenos como bacterias o virus que transmiten enfermedades. El agua potable se almacena en grandes depósitos y se distribuyen a la población mediante una red de tuberías. Una vez que llega a su destino, se utiliza, y después de su uso se vierte al desagüe.

- El agua usada se llama agua residual. Pasa por la red de alcantarillado hasta llegar a una planta depuradora donde se limpia antes de verterla al río o mar. La instalación de plantas depuradoras se está generalizando, pero aún hay poblaciones que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos o al mar.

En los países donde no existe este tipo de infraestructuras se generan problemas:

-Falta de abastecimiento de gran parte de la población.

-Baja calidad del agua que muchas veces transmite graves enfermedades como tifus, cólera, etc.

b) **Usos industriales.** El agua se utiliza como materia prima en industrias químicas y alimentarias, para generar vapor, como refrigerante, como factor para la limpieza, en la industria papelera, textil,...

c) **Usos agropecuarios.** La agricultura es el mayor demandante y consumidor de agua. Actualmente se está haciendo un uso más racional del agua con los sistemas de riego por goteo. La ganadería usa el agua para limpieza de las instalaciones y como bebida para el ganado.

**Usos no consuntivos:** Son los que no reducen su cantidad ni su calidad, y el agua puede volver a ser utilizada diversas veces. Ej: actividades recreativas, centrales hidroeléctricas.

a) **Usos energéticos.** Utilizan el agua para la obtención de energía eléctrica: hidroeléctrica, mareomotriz, del hidrógeno. La energía hidroeléctrica representa en España un 18% del total de la energía eléctrica generada. El uso hidroeléctrico del agua no produce consumo físico de la misma. El agua también se usa en centrales térmicas y nucleares como refrigerante del circuito de condensación.

b) **Navegación.** Para la navegación fluvial debemos disponer de cauces en condiciones hidráulicas apropiadas y caudales compatibles con el calado de las embarcaciones. Cuando el caudal natural de una corriente fluvial navegable es insuficiente para permitir el tráfico de embarcaciones en ciertos períodos, puede recurrirse al auxilio de embalses de regulación que proporcionen los caudales necesarios. En España los únicos cursos navegables son los ríos Ebro y Guadalquivir en sus tramos inferiores.

c) **Usos recreativos.** Comprenden la utilización de ríos, embalses y lagos usos deportivos y de ocio. A medida que se eleva el nivel de vida aumenta la demanda de estos usos: pesca, baño, deportes náuticos,... Este uso del agua requiere aguas de buena calidad y con frecuencia las aguas quedan contaminadas con cremas solares, pinturas y gasóleos de las embarcaciones,...

C) **Usos ecológicos y medio ambientales.** Se refieren a la cantidad mínima de agua que deben tener los ecosistemas acuáticos. Se considera necesario conservar como caudales ecológicos los que circulan de forma natural en períodos secos. En España estos caudales suponen el 10% de los caudales medios.

El **caudal ecológico**, ambiental o mínimo de un río, es la cantidad de agua necesaria para preservar el buen funcionamiento y equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Conservan su biodiversidad, su dinámica, el paisaje, permiten la recarga de los acuíferos etc. No suponen un uso estricto, pero sí una restricción que ha de establecerse cuando se planifican los recursos hídricos de una zona, región o país.

Este caudal de mantenimiento, estimado en el 10% del total de los recursos hídricos superficiales, permite mantener un nivel adecuado de desarrollo de la vida de los ecosistemas acuáticos y de las zonas de ribera, aguas debajo de los lugares en los que existen modificaciones en el régimen fluvial.

Las funciones de los caudales ecológicos son:

- Asegurar el equilibrio biológico del medio acuático natural y el balance físico (erosión).
- Evitar el estancamiento de agua y los focos de infección que pongan en peligro la salud.
- Diluir suficientemente las contaminaciones dispersas.
- Conservar la estética de los parajes naturales.
- Asegurar la recarga y equilibrio de los acuíferos.

Parece un criterio prudente tomar como referencia las condiciones ecológicas y ambientales del medio natural antes de ser modificado por el hombre, las que han regido los ríos durante milenios, y no las condiciones artificiales creadas en las últimas décadas, salvo casos especiales.

### La gestión del agua. Planificación hidrológica

Los recursos hídricos de una región durante un determinado período de tiempo, se refieren al volumen de agua del que podría disponerse en dicha región, independientemente del origen superficial o subterráneo de esta agua. El período de tiempo que se suele considerar es el año hidrológico, período continuo de doce meses que comienza cuando el almacenamiento superficial y subterráneo de agua se reduce al mínimo. En España el año hidrológico comienza el 1 de octubre y termina el 30 de septiembre.

Pese a su abundancia general, en diversas regiones del planeta existen problemas de falta de agua que empiezan a ser graves en algunos casos, debido a que la distribución pluviométrica es muy irregular. Países pobres y países ricos se diferencian por sus consumos medios de agua por habitante y día, que en los de extrema pobreza puede llegar a de 5 litros, mientras los ricos llegan a consumir hasta 350 litros diarios por persona en usos domésticos.

El progresivo incremento de la demanda se traduce normalmente en un aumento de la extracción del agua. Lo que hace necesario gestionar mejor los recursos disponibles y tratar de incrementarlos, y a su vez estar atentos a los efectos ambientales que dicha explotación creciente puede originar.

Ver ANEXOS:

- **Datos del consumo de agua en España**
- **Gestión integral del agua**

## 7. IMPACTOS SOBRE LA HIDROSFERA: Contaminación de las aguas marinas y continentales. Eutrofización. Contaminación de las aguas subterráneas. Sobreexplotación y salinización de acuíferos. Medidas preventivas de la contaminación de las aguas.

*Conceptos básicos: Tipos de contaminantes (biológicos, químicos, físicos, biodegradables y no biodegradables).*

*Las construcciones destinadas a la utilización del agua para las distintas actividades humanas provocan una serie de **impactos sobre la hidrosfera** y el medio ambiente en general. Los principales impactos son: **las grandes obras públicas** y la contaminación.*

*La construcción de grandes estructuras (presas y canales) implica una alteración de los procesos naturales de erosión y sedimentación, provocando una serie de impactos.*

**A. Presas.** *Los materiales que transportan los ríos quedan retenidos en las presas donde se acumulan. Este proceso se denomina aterramiento. Las aguas que parten de las presas transportan menor cantidad de materiales, por lo que existe un aporte menor de sedimentos y como consecuencia el retroceso de los deltas. Las presas provocan también la eutrofización de las aguas y variaciones en el nivel freático del agua subterránea. Muchas veces las presas se colmatan de sedimentos, lo que dificulta su funcionalidad.*

**B. Rectificado y canalización de los ríos.** El rectificado de meandros, aumenta la pendiente, aumentando la velocidad del agua y su poder erosivo, lo que provoca a su vez cambios en el ecosistema fluvial y un ensanchamiento del cauce, con la consiguiente destrucción de los ecosistemas de ribera. La canalización también produce cambios, reduciendo la biodiversidad y degradando estéticamente el río y la infiltración de agua.

**C. Trasmases.** La transferencia de agua entre cuencas hidrográficas produce los siguientes impactos:

- Alteraciones de los caudales entre ambas cuencas, que producen alteraciones en los ecosistemas respectivos.
- Dispersión de especies de la cuenca donante hacia la cuenca receptora, pudiéndose producir en ésta cambios en su biocenosis.
- Conflictos sociales entre las regiones implicadas en el trasvase.
- Menor aporte de sedimentos en la desembocadura del río provocando variaciones en los ecosistemas costeros, así como una regresión de los deltas.

## 7.1. Contaminación de las aguas marinas y continentales.

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». La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el agua está contaminada cuando su composición o su estado natural se ven modificados, de tal modo que el agua pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada. El 72% de los ríos, arroyos y lagos del mundo están contaminados.

**Por su origen, la contaminación** de las aguas puede ser:

**Natural:** se produce cuando sin que intervenga la acción del hombre, llegan al medio acuático sustancias o formas de energía naturales que alteran la composición y/o propiedades del medio acuático, como emanaciones volcánicas, polen, esporas, hojas, excrementos de organismos acuáticos, sustancias minerales, arcillas, etc. arrancadas del suelo por la erosión (el río Tinto lleva numerosos compuestos químicos y metales disueltos tomados al circular por terrenos ricos en estas sustancias). Normalmente, esta contaminación es eliminada por mecanismos naturales de autodepuración.

**Antrópica:** causada por las actividades del hombre. La contaminación antrópica puede ser según el origen: contaminación urbana, agrícola-ganadera e industrial-minera. Estos contaminantes no pueden ser eliminados por el ciclo de autodepuración del agua ya que su elevada concentración o su naturaleza no lo permiten, trasladándose y acumulándose en los distintos compartimentos de la hidrosfera, del suelo o de la biosfera.

- Contaminación de **origen urbano**, es la que se produce tras el uso en las ciudades. Posee una alta carga de materia orgánica (restos fecales, de alimentos, aceites) y productos químicos variados (detergentes, lejías e incluso ácidos fuertes). Pueden ser:

. Aguas domésticas: como las aguas de cocina (sales, materias grasas, sólidos en suspensión,...) o las aguas blancas de baño (jabones, detergentes, cosméticos,...)

. Aguas negras procedentes de la defecación del ser humano. Contienen gran cantidad de microorganismos tanto aerobios como anaerobios.

. Aguas de limpieza y riego: contaminadas por sustancia de limpieza y materiales como abonos de parques y jardines. Estas aguas residuales, en ocasiones son vertidas directamente a los ríos o al mar sin pasar por un proceso de limpieza.

- La contaminación de **origen agrícola** es debida al uso abusivo de productos fitosanitarios: abonos químicos (fosfatos y los nitratos, muy relacionados con la eutrofización) y pesticidas o plaguicidas (herbicidas, insecticidas, fungicidas, acaricidas...), con una gran variedad de moléculas orgánicas. Muchos se han ido prohibiendo tras conocerse los efectos sus efectos nocivos o letales sobre las personas y el medio ambiente (el primero y más conocido, el DDT). Pero otros se siguen usando sin tener certeza de sus efectos (es muy difícil demostrar si pueden producir cáncer al cabo de muchos años. Además, las compañías que los fabrican cuentan con fuertes mecanismos de defensa para mantener sus productos en

el mercado). Las explotaciones **ganaderas** producen grandes cantidades de materia orgánica (compuestos nitrogenados derivados de los excrementos), que pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas. Las industrias agroalimentarias también contaminan el agua tras los procesos de elaboración de sus productos.

- La contaminación de **origen industrial** es la que provoca un mayor impacto y, debido a la gran variedad de materiales y formas de energía que pueden presentarse, debe ser corregida de manera específica. Son contaminantes de este tipo las sustancias orgánicas derivadas de procesos de transformación de alimentos, los metales pesados, los aceites y grasas minerales (empleados en los motores de explosión), los hidrocarburos, las sustancias que alteran el pH, los cambios de temperatura y las radiaciones de diferentes tipos. Las industrias contaminantes son muy diversas (metalúrgicas, petroquímicas, papeleras, textiles, etc.). La **minería** también es una actividad industrial que produce graves problemas de contaminación, tanto por los productos extraídos (metales, sulfuros, etc.) como por sus procesos de transformación.

- Otras fuentes de contaminación antrópica son los **vertederos** de residuos, tanto urbanos como industriales, así como los talleres y desguaces de vehículos. No podemos olvidar como fuente de contaminación las **mareas negras** producidas por vertidos de petroleros y la limpieza de las bodegas y depósitos de los barcos en alta mar, que también produce manchas de hidrocarburos.

Origen	Tipo	Contaminantes	Efectos
Urbana	Aguas domésticas (cocina, blancas de baño)	Sales, Jabones, detergentes Sólidos en suspensión Grasas	Eutrofización
	Aguas negras	Materia orgánica	Eutrofización Microorganismos patógenos
	Limpieza y riego (abonos)	Sólidos en suspensión Detergentes Materia orgánica	Eutrofización Eutrofización
Agrícola	Pesticidas y plaguicidas	Sustancias tóxicas (Metales pesados, compuestos organoclorados)	Bioacumulación, envenenamiento
	Abonos	N, P, S	Eutrofización
Ganadera	Purines (excrementos del ganado)	Materia orgánica	Eutrofización Microorganismos patógenos
Industria y minería	Siderurgia	Materia orgánica	Eutrofización
	Petroquímica	Metales pesados	Bioacumulación, envenenamiento
	Energética	Incremento del pH	Acidificación
	Textil	Incremento de T <sup>º</sup>	Disminución O <sub>2</sub> disuelto, variación de ciclos reproductivos y de crecimiento
	Papelera Minería	Radiactividad Aceites, grasas	Mutaciones



Según el modo en que se produce la contaminación, podemos distinguir entre contaminación difusa, cuando su origen no está claramente definido (por ejemplo, un río que se contamina por metales pesados al pasar por una zona minera, o el ejemplo anterior de un acuífero con pesticidas procedente de campos de cultivo) y contaminación puntual, cuando hay un foco emisor determinado que afecta a una zona concreta (por ejemplo, un vertido de aguas residuales a la salida del pueblo).

Los agentes contaminantes los podemos clasificar en tres grupos:

#### a) **Contaminantes físicos**

- Radiactividad, procedente de fuentes naturales (rayos cósmicos, suelo...) o actividades humanas (líquidos refrigerantes de centrales, residuos radioactivos de actividades médicas, de investigación o industriales). Se acumulan en lodos de los embalses y fondos oceánicos. Son cancerígenos.

- Sólidos en suspensión. La presencia de partículas groseras y coloidales, inorgánicas u orgánicas, interfieren la penetración de la luz, disminuyendo la flora aerobia, la capacidad de autodepuración, y dificultan su tratamiento en las plantas potabilizadoras.

- Temperatura. Es una forma importante de contaminación en sistemas acuáticos y ocurre generalmente cuando el agua utilizada para el enfriamiento de las plantas generadoras de energía es liberada al medio ambiente a una temperatura mayor de la que se encontraba naturalmente. El aumento de temperatura produce una disminución en los niveles de oxígeno disuelto en el agua, sobre todo si



existe contaminación orgánica, y un aumento en la velocidad de las reacciones químicas, lo que reduce la capacidad autodepuradora de las aguas y eleva la toxicidad de algunas sustancias.

Efectos asociados a contaminación térmica del agua:

1. Altera la composición del agua disminuyendo su densidad y la concentración de oxígeno disuelto.
2. Reduce la viscosidad del agua y favorece los depósitos de sedimentos.
3. Varía el olor y el sabor de las aguas debido a la disminución de la solubilidad de los gases y el aumento de la capacidad disolvente.
4. Provoca que especies no tolerantes a temperatura altas dejen de existir (peces y larvas) o emigren a otras regiones.
5. Aumenta la susceptibilidad de los organismos a los contaminantes, ya que deben modificar el metabolismo para soportar el estrés de tener que sobrevivir a una temperatura anormal.
6. Produce cambios en las tasas de respiración, crecimiento, desarrollo embrionario, alimentación y reproducción de los organismos del ecosistema.
7. Modifica la fotosíntesis y los periodos de reproducción de muchas especies, lo que origina un crecimiento exagerado de algunas especies y la desaparición de otras.
8. Estimula la actividad bacteriana y parasítica (hongos, protozoos, nemátodos...), haciendo el sistema más susceptible a enfermedades y parasitosis por organismos oportunistas.
9. Provoca trastornos en las cadenas alimenticias de los ecosistemas acuáticos.

### b) Contaminantes químicos

Son principalmente de nitratos y fosfatos, metales pesados, detergentes, aceites y gases como el metano y el amonio. Atendiendo al metabolismo de los contaminantes los podemos diferenciar en:

- **Biodegradables.** Son compuestos que se descomponen generalmente por la acción de microorganismos o por el Sol, en sus componentes orgánicos, en un corto plazo. Es el caso de los nitratos y fosfatos, procedentes de los fertilizantes o de la descomposición de materia orgánica.

- **No biodegradables.** Son compuestos obtenidos por síntesis química, tales como plásticos, pesticidas, metales pesados,... que al ser extraños al ecosistema, casi no encuentran organismos con equipos enzimáticos capaces de degradarlos, pudiendo llegar a concentraciones peligrosas, al acumularse en cada eslabón de las cadenas tróficas.

Sector industria	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cr, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas, ácidos.
Quím inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoniaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, comp cancerígenos, biocidas.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, tintas	Compuestos organoestámicos, comp de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co.



Compuestos orgánicos tales como plaguicidas, policlorobifenilos (PCBs) y detergentes, pueden alterar el sabor, olor y color natural, producir espumas y alcanzar toxicidad por bioacumulación (acumulación progresiva de sustancias tóxicas persistentes en los seres vivos, directamente del medio que les rodea o indirectamente o a través de la cadena alimenticia) en los organismos acuáticos.

### c) **Contaminantes biológicos**

El agua puede contener materia orgánica y microorganismos patógenos que la convierten en causa o vehículo de enfermedad si se utiliza para satisfacer las necesidades biológicas, actuando como un factor limitante del desarrollo económico y social. Se contamina básicamente por los excrementos humanos o animales y por las aguas residuales. Esta contaminación fecal incorpora una variedad de organismos patógenos relacionados con las enfermedades existentes en la comunidad en ese momento.

Los organismos negativos más adaptados son los hongos, protozoos y algas, que pueden producir sustancias tóxicas, infecciones y disminuir las cualidades organolépticas del agua. Las bacterias y los virus tienen una capacidad de supervivencia más baja, y por lo tanto su transmisión tiene que ser rápida.

#### **Efectos de la contaminación del agua**

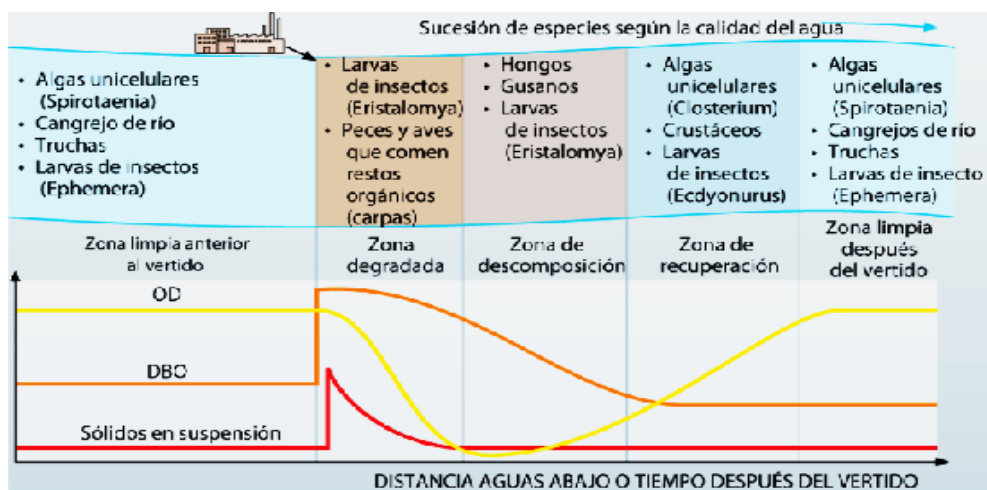
##### **A. Contaminación de los ríos. Autodepuración.**

Aunque los ríos tienen una importante capacidad de autodepuración, no pueden asumir esta elevada cantidad de contaminantes. Las consecuencias de esta contaminación son:

- Restricciones de los usos del agua.
- Alteraciones de la flora y la fauna acuática, con disminución de la biodiversidad.
- Aspecto y olor desagradable.

La contaminación fluvial no es algo irreversible debido a la capacidad de autodepuración de los ríos que es un proceso que hace que aguas abajo del punto en donde se ha producido un vertido y pasado un tiempo en el mismo punto del vertido, el agua vuelva a tener las mismas características que poseía antes del vertido. Se suelen distinguir varias fases.

Los restos de los seres vivos, vegetales y animales, sirven de alimento a algunos animales o bien se descomponen por la acción de las bacterias y hongos. Este proceso se denomina biodegradación (oxidación por los microorganismos). Los productos que se obtienen por la acción de las bacterias y hongos descomponedores son utilizados por las plantas como nutrientes. Además el movimiento de las aguas facilita la entrada en el agua del oxígeno del aire y dificulta la acumulación de materia orgánica.



Las sustancias solubles, se van diluyendo. Cuando la velocidad de las aguas disminuye, los limos y fangos (materiales en suspensión), sedimentan en el fondo, mientras las partículas que flotan se depositan en los márgenes. En un ecosistema bien conservado existe un equilibrio entre las sustancias que lo contaminan y la capacidad de limpieza que posee.

##### **B. Contaminación de los lagos.**

Los lagos debido a la casi inmovilidad del agua tienen una capacidad de autodepuración menor que los ríos, convirtiéndose en algunos casos en almacenes de residuos. Además pueden sufrir el proceso de eutrofización por un exceso de nutrientes provocando la degradación del ecosistema con cambios drásticos en la fauna y en la flora.

### C. Contaminación de los mares.

La principal fuente de contaminación de los mares (al menos el 60 %) es de origen terrestre: aguas residuales domésticas, vertidos industriales, minería, nutrientes y pesticidas agrícolas, fuentes de calor residual y vertidos radiactivos. Provoca graves procesos de eutrofización y destrucción de ecosistemas costeros.

Solo un 15 % se debe a vertidos de crudo provocados por accidentes del transporte marítimo, plataformas marinas de petróleo y limpieza de barcos. Aun así, esta cantidad se estima en 2,5 millones de toneladas/año.

Aunque los mares, por sus dimensiones y dinámica, tienen una enorme capacidad de autodepuración, la contaminación es mucho mayor y especialmente graves son las consecuencias de las mareas negras al llegar el petróleo flotando a las costas.

*Algunos de los más graves accidentes de vertidos de petróleo han sido:*

*Petrolero Amocco-Cádiz (Francia, 1978): 230.000 t*

*La plataforma Ixtoc (Méjico, 1979): 476.000 t*

*Pozos petrolíferos de Irán (1983): 272.000 t*

*Petrolero Exxon-Valdez (Alaska, 1989): 37.000 t*

*La Guerra del Golfo (Irán, 1991): 810.000 t*

*Rotura de oleoducto (Rusia, 1994): 104.000 t*

*Las costas de La Coruña han conocido ya tres graves vertidos por accidentes de petroleros:*

*Urquiola (1976): 95.000 t, Mar Egeo (1992): 71.000 t y Pestigge (2002): 90.000 t.*

#### **El tratamiento del agua**

La **calidad del agua** se define según la Directiva Marco del agua de la UE como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que se mantenga un ecosistema equilibrado. Para medir la calidad del agua se utilizan una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que indican las características del agua y que la hacen apropiada o no para el uso (bebida, riego, baño,...) al que se va a destinar. Estos parámetros son:

**Parámetros físicos:** pueden detectarse con los sentidos o parámetros organolépticos, como:

- Transparencia o turbidez: indica presencia de partículas sólidas en suspensión o microorganismos.
- El color, olor o sabor: un agua coloreada y con mal olor y sabor indica la presencia de elementos extraños como materia orgánica.
- La conductividad eléctrica: depende de la cantidad de sales disueltas. Varía con la temperatura, por lo cual se expresa en relación a ella. Lo más común es su cálculo para  $T^{\circ}$  de  $25^{\circ}$  C.
- La temperatura: indica contaminación térmica. Una temperatura elevada indica aceleración de la putrefacción, disminución de la cantidad de oxígeno disuelto y alteración de la actividad biológica.
- La radioactividad: indica contaminación radiactiva.

**Parámetros químicos:** son los más útiles para determinar la calidad del agua. Entre ellos destacan:

- El pH: indica la acidez o basicidad y está en función de los iones  $H^{+}$  presentes. Las reacciones químicas y biológicas dependen del pH. La actividad biológica normal en el agua se desarrolla a valores de pH entre 6 y 8,5.
- La dureza: se expresa en concentración de  $CaCO_3$ , se debe a la presencia de iones  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ . Supone algunos riesgos para la salud, como el aumento de cálculos renales. Además produce incrustaciones calcáreas en las instalaciones y otros prejuicios ya que las aguas duras necesitan más jabón y más energía en procesos industriales. Las aguas blandas poseen una concentración  $<50$  mg/l de  $CaCO_3$  y las duras (formadas en terrenos calizos)  $> 200$  mg/l de  $CaCO_3$ . La O.M.S. recomienda que el agua de bebida mantenga unos límites de 100 a 500 mg/l de  $CaCO_3$ .
- El nitrógeno: como amoníaco, nitritos y nitratos. La presencia de amoníaco y nitritos supone contaminación reciente en el sitio de recogida de la muestra, por ejemplo, animales muertos o vegetales en descomposición. La presencia de nitratos indica contaminación agrícola.
- El oxígeno disuelto (OD) en el agua, tiene una enorme importancia como indicador de calidad, ya que su concentración disminuye al ser utilizado para la degradación de la materia orgánica. Las aguas limpias están saturadas de  $O_2$  pero si se contaminan con sustancias orgánicas, la cantidad de  $O_2$  disminuye al ser utilizado para su descomposición.
- La demanda biológica de oxígeno (DBO), mide la cantidad de OD consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Para que un agua pueda autodepurarse, la DO ha de ser mayor que la DBO, si no es así, el agua permanecerá contaminada.

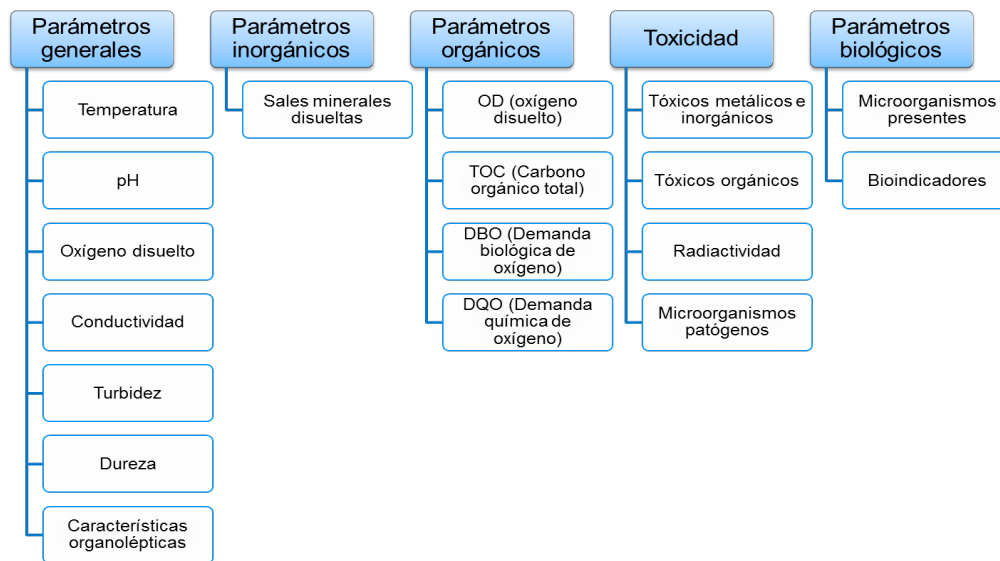
- La demanda química de oxígeno (DQO) mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia con un agente químico oxidante (dicromato potásico para aguas residuales y permanganato potásico para las naturales). Se mide en miligramos por litro (mg/l).
- El carbono orgánico total (COT) mide el contenido de C de los compuestos orgánicos y se halla por incineración de la muestra de agua. Este parámetro, junto con la DBO y DQO, es importante a la hora de determinar la contaminación orgánica de las aguas.
- El cloro y ozono residuales son gases utilizados en la desinfección. Una proporción de cloro insuficiente, supone una esterilización deficiente. Si existe demasiado cloro, el agua tendrá un sabor desagradable y/o dañará los ojos.

**Parámetros biológicos:** indican la cantidad y especies de microorganismos en el agua. Los más importantes son las bacterias coliformes, estreptococos fecales y los clostridios sulforreductores. Los coliformes y los estreptococos fecales, son gérmenes en principio inofensivos, que se hallan en el intestino de los seres humanos y de los animales. Sin embargo, su presencia en el agua indica contaminación fecal reciente, que normalmente está asociado por la presencia de gérmenes patógenos.

Los análisis físico-químicos y bacteriológicos facilitan una información de la calidad del agua en el momento de la toma de la muestra, el análisis de "Saprobios" (organismos que se alimentan de materia orgánica), proporciona una información más real del grado de contaminación. Estos organismos acuáticos toleran distintas concentraciones de materia orgánica por lo que son indicadores biológicos del grado de contaminación. Así los polisaprobios toleran elevadas concentraciones de materia orgánica por lo que son característicos de aguas muy contaminadas. Los mesosaprobios toleran concentraciones medias y los oligosaprobios, concentraciones muy bajas, como las de las aguas limpias, son pues característicos de aguas no contaminadas.

Los indicadores biológicos pueden ser organismos de gran tamaño como peces y mamíferos, o de pequeño tamaño como insectos y microorganismos como bacterias que nos indican contaminación fecal (Salmonella, Escherichia coli, Vibrio cholerae) que permite clasificar un agua de consumo como potable o no potable.

Para obtener una valoración general de la calidad del agua se utilizan **índices compuestos** que miden parámetros biológicos, físicos y químicos, clasificando el agua según el grado de contaminación en: agua sin contaminación, contaminación ligera, moderada, fuerte o muy fuerte.



## 7.2. Eutrofización.

Debido a su poder erosivo, los ríos arrastran sales, materia orgánica y sólidos en suspensión. A todo esto, la acción humana añade residuos provenientes de actividades domésticas, industriales (sólidos y metales de actividades mineras), agrícolas y ganaderas (nitratos, fosfatos, pesticidas...) que la capacidad de autodepuración que los ríos poseen no puede asumir, por lo que se desencadenan procesos de contaminación cuyos efectos más importantes son las alteraciones en la fauna y/o flora acuáticas y la aparición de olores desagradables.

La principal defensa que los ríos tienen para contrarrestar la contaminación es su dinámica. Sin embargo, la contaminación de los lagos es de mayor magnitud puesto que se trata de masas de agua estáticas. En las aguas sin contaminar existe un equilibrio biológico entre la fauna y la flora que se rompe por la presencia de contaminantes, dando lugar a que algunas especies desaparezcan, mientras que otras se desarrollan demasiado. Un ejemplo de esto es el proceso conocido como eutrofización.



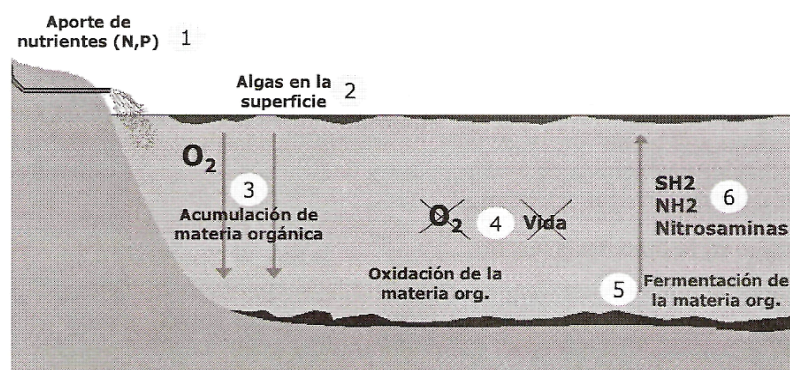
**Eutrofización** es el término empleado para describir la secuencia de cambios en los ecosistemas acuáticos causados por un incremento en el suministro de nutrientes al agua. Desde un punto de vista teórico, un lago o un embalse puede evolucionar de forma natural entre dos estados extremos:

**1) Estado oligotrófico** (del griego oligo = poco, y trophein = alimento). Está caracterizado por un bajo suministro de nutrientes en relación con el volumen de agua, lo que genera una vegetación escasa, fitoplancton variado, aguas claras y un alto contenido en oxígeno disuelto en aguas profundas. Los lagos oligotróficos suelen ser profundos y tienen comunidades de peces que necesitan aguas muy oxigenadas (trucha de lago, albur,...).

**2) Estado eutrófico** (del griego "eu" = bien). Si hay un aporte excesivo de nutrientes que supera la capacidad de autodepuración natural que tienen los medios acuáticos, se produce un exceso de algas y plantas acuáticas y una gran actividad biodegradativa de la materia orgánica formada, que consume el oxígeno del agua, y provoca un deterioro de su calidad reduciendo sus posibles usos.

El riesgo de este aumento explosivo de productividad biológica es *tanto mayor cuanto menos dinámicas sean las aguas, y mayor sea el aporte de nutrientes*, siendo por ello los lagos los más expuestos a esta alteración, especialmente cuando tienen establecida una termoclina.

La eutrofización la podemos sintetizar en tres fases:



- **Gran aporte de nutrientes (1)**, fundamentalmente de fósforo, que es el principal factor limitante, pues el nitrógeno, que también es necesario, puede ser fijado por las cianobacterias. Este P procede básicamente del uso de abonos y fertilizantes agrícolas, industrias agropecuarias, de detergentes con fosfatos y residuos alimenticios. Estos nutrientes favorecen la fase siguiente.
- **Proliferación de organismos fotosintéticos superficiales (2)**, fitoplancton y algas, enturbian el agua, disminuyen la zona fótica y producen al morir una gran acumulación de materia orgánica en el fondo (3).
- **Oxidación de la materia orgánica del fondo (4)**, agotando el oxígeno y produciendo condiciones de anaerobiosis que favorecen la aparición de bacterias anaerobias. Éstas fermentan (5) la materia orgánica sobrante y desprenden compuestos químicos de olor desagradable (6) ( $H_2S$ ,  $CH_4$  y  $NH_3$ ) y peligrosos para la salud (las nitrosaminas producen cáncer de estómago). Todo ello empobrece la vida acuática.

EFFECTOS	Estéticos, turbiedad, color verdoso y olor desagradable. Falta de oxígeno pudiendo producirse una anoxia total. Gran sedimentación, acumulándose depósitos sobre el fondo. Disminución de la vida acuática.
PROBLEMAS	Alteración de las características organolépticas del agua. Aumento de la vegetación, con cambios en el equilibrio biológico y sustitución de especies. Disminución del valor recreativo. Alteración de la salud.
SOLUCIONES	Reducir el aporte de nutrientes, en especial de fósforo, usando detergentes sin fosfatos, y moderación en la utilización de fertilizantes. Limitar el crecimiento de las algas.

### 7.3. Contaminación de las aguas subterráneas. Sobreexplotación y salinización de acuíferos

Las aguas subterráneas tienen un comportamiento diferente al de las aguas superficiales frente a la contaminación, consecuencia de su diferente formación, localización y dinámica. Puede ser:

- **Puntual**, con un foco localizado (un vertedero, el tanque de una gasolinera, una fosa séptica,...) y que afecta a zonas muy concretas y próximas al foco emisor.
- **Difusa**, cuando afecta a una amplia zona del acuífero (fertilizantes agrícolas, lixiviados,...).



A diferencia de las aguas superficiales, la detección no suele ser inmediata, pueden haber transcurrido meses o años. Por otro lado, los acuíferos, al tener un flujo muy lento y afectar a volúmenes muy grandes, necesitan mucho más tiempo para renovarse, e incluso el problema se mantiene al quedar las sustancias contaminantes adsorbidas en el acuífero. Es decir, son más difíciles de proteger, de depurar artificialmente y su autodepuración es muy lenta.

Las principales actividades humanas que producen impactos en las aguas subterráneas se pueden englobar en los siguientes grupos:

**a) Residuos sólidos urbanos.** Los líquidos (*lixiviados*) procedentes de ellos o la lluvia infiltrada a su través pueden arrastrar a los contaminantes.

**b) Actividades agrícolas.** Afectan a grandes superficies ya que aportan restos de fertilizantes (la mitad de los nitratos usados se filtran a los acuíferos), plaguicidas (debido a su gran persistencia, entre una semana a cinco años, tienen efectos graves), así como residuos oleícolas como el **alpechín**.

**c) Granjas ganaderas.** Salvo las grandes instalaciones, no son muy problemáticas. Dentro de ellas las porcinas son las más contaminantes por la generación de **purines**.

**d) Actividades industriales.** Pueden inyectar líquidos en pozos o vertidos superficiales, o a partir de escombreras o balsas provocar infiltraciones.

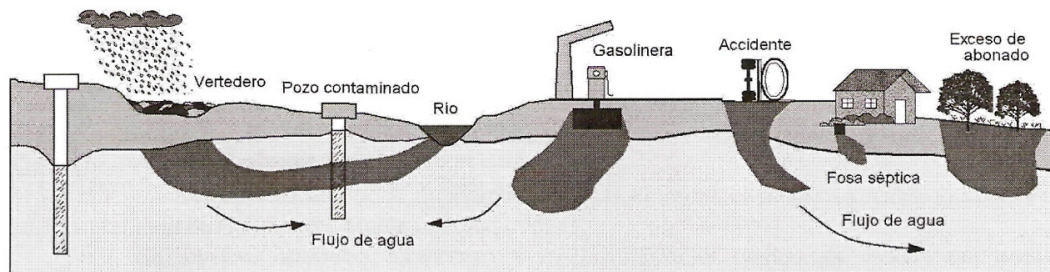
**e) Actividades mineras.** En el tratamiento del mineral y en las escombreras se favorece la infiltración. Las explotaciones de minerales nucleares generan grandes volúmenes de rocas con residuos

de baja actividad. El almacenamiento de los residuos de reactores nucleares será extremadamente cuidadoso en evitar flujos de aguas subterráneas.

**f) Depósitos subterráneos.** Almacenan una gran variedad de sustancias como gasolina, aceites, y otros productos químicos. Se calcula que cientos de miles de dichos tanques pudieran estar perdiendo sustancias tóxicas que contaminan las aguas subterráneas.

**g) Accidentes en el transporte.** Los accidentes también pueden causar la contaminación de las aguas subterráneas. Se transporta un gran volumen de materiales tóxicos por camión, tren y avión por todo el país. Todos los días ocurren derrames químicos o petrolíferos. La falta de cuidado en estos accidentes, produce contaminación de aguas subterráneas. Frecuentemente, la acción inmediata de quienes producen estos derrames, es echar grandes cantidades de agua para diluir la sustancia química. Esta práctica incrementa la rapidez del descenso del producto químico hacia las aguas subterráneas.

**h) Tanques y fosas sépticas.** Existen muchos lugares que no tienen sistemas públicos de tratamiento de aguas negras por lo que dependen de sistemas sépticos para eliminar los residuos. Si estos sistemas no están situados, diseñados, construidos o mantenidos correctamente, pueden contaminar las aguas subterráneas con bacterias, nitratos, detergentes, sustancias químicas caseras...



### Sobreexplotación de acuíferos

Ocurre cuando se extrae agua de un acuífero en cantidad superior a la de su alimentación, en un periodo de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendrían periodos anómalamente secos. En consecuencia, el efecto más inmediato de la sobreexplotación sería el descenso continuado de los niveles piezométricos, que se acompaña normalmente del agotamiento de las surgencias.

La sobreexplotación suele tener consecuencias negativas sobre el acuífero, como el deterioro progresivo de la calidad del agua como consecuencia del aumento de salinidad; más claro cuando en el entorno del acuífero sobreexplotado existen materiales salinos o aguas saladas, como el caso de la sobreexplotación de acuíferos costeros que, aun siendo estacional, puede generar intrusión marina.

En este sentido, la sobreexplotación puede considerarse como una modalidad de contaminación. En efecto, si entendemos por contaminación la *alteración de las características físicas y/o químicas y/o biológicas y/o radiológicas de un agua, por la acción del hombre, que las hagan inadecuadas para la aplicación útil a que se destinaban*, la sobreexplotación puede constituir una cierta forma de contaminación, en determinados casos.

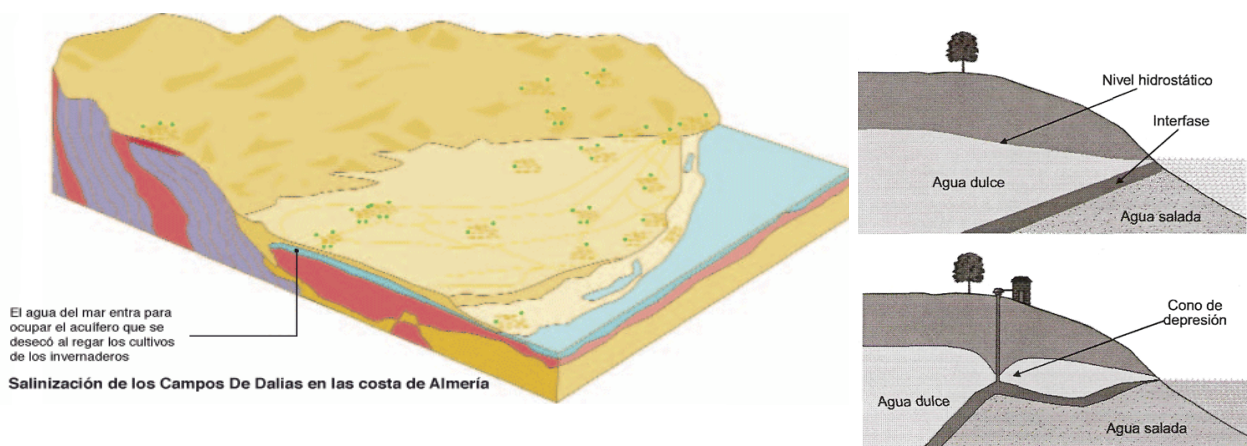


### Salinización de acuíferos

En las costas, por debajo del fondo marino, el terreno está empapado de agua salada mientras que bajo el continente lo está de agua dulce. El agua dulce, más ligera (menos densa), flota sobre la salada al ser esta más densa. Dentro del acuífero existe una zona (**interfase**) en la que ambas aguas (dulce y salada) se ponen en contacto pero sin mezclarse manteniendo una situación de equilibrio ya que la presión del agua dulce impide la progresión hacia el interior del agua salada. Esta interfase determina una zona de transición o zona de mezcla, con aguas salobres.

Cuando se perfora un pozo próximo a la costa, no sólo se producirá una depresión del nivel hidrostático, sino que también la zona de interfase sufre una variación en relación con su posición primitiva. Por esta razón, cuando se extrae excesiva cantidad de agua de un pozo próximo a la costa, termina por salir agua salada, proceso conocido como **intrusión marina**.

Para que la interfase vuelva a su situación primitiva, es necesario perforar una batería de pozos paralelos a la costa e inyectarles agua dulce, es por ello que cuándo un pozo está afectado por un proceso de intrusión, queda inutilizado y en la mayoría de los casos es irre recuperable.



### 7.4. Medidas preventivas de la contaminación de las aguas.

Sabiendo cuáles son las causas de la contaminación y sobre todo cuáles son los efectos, las soluciones, en teoría, son sencillas: hay que evitar contaminar las aguas, hay que depurar aquellas que quedan disminuidas en su calidad y no hay que sobreexplotar este recurso. Debemos economizar agua evitando el despilfarro.

Como podemos comprender, la realidad no es tan simple, ya que queremos seguir desarrollándonos, necesitamos cada vez más agua para regar, para nuestras viviendas, para nuestras casas de veraneo, para los campos de golf (¡cientos de campos de golf en el país más árido de la Comunidad Europea!)

La legislación comunitaria y la española en temas de agua va haciéndose cada vez más estricta en todos los aspectos que afectan a este tema: hay que minimizar la contaminación, limitando o prohibiendo los vertidos (ya sean de origen agrícola o industrial) y depurar el agua que ha sido utilizada.

Se establecen niveles máximos de vertido para cada tipo de industria, así como parámetros mínimos de calidad en aguas depuradas. Están legislados los contenidos en fosfatos de los detergentes domésticos. Están prohibidas las fosas sépticas que no sean perfectamente impermeables. Sólo se permiten vertederos de residuos sólidos urbanos e industriales que cumplan con medidas de seguridad que eviten los lixiviados. (Para conseguir ese control, en Andalucía se han clausurado todos los vertederos de los municipios).



Todas las localidades de más de 5.000 habitantes están obligadas a depurar sus aguas residuales. También está regulada la cantidad de agua que puede extraerse de los acuíferos en función de la capacidad de recarga y del fenómeno de intrusión marina. Todos los agricultores han debido realizar un curso sobre manejo de plaguicidas con el fin de aprender lo importante que resulta guardar los plazos de seguridad de los productos, cuáles deben ser las cantidades aplicadas y sobre todo para que entiendan que un abuso de estos productos y de los abonos acaba introduciéndose en los acuíferos y contaminándolos. En este caso dar información es prevenir.

En definitiva, disponemos de unas medidas que nos garantizan que este recurso vital no se agotará. Lo cual no quiere decir que los ciudadanos estemos convencidos de la necesidad de cuidar el agua o que las administraciones públicas sean capaces de hacer cumplir estas leyes (debería haber, al menos, tantos policías como ciudadanos). Pero poco a poco se van consiguiendo metas que hace apenas una década habrían parecido imposibles. La *nueva cultura del agua* es decisiva para que este recurso valiosísimo llegue a todos y su extracción cause los menores impactos posibles.

Las aguas (marinas, subterráneas y superficiales) tienen, de forma natural, la capacidad de eliminar contaminantes. A esta capacidad de depurarse por sí mismas se denomina **autodepuración**. Todo dependerá de los **tipos** de contaminantes, de la **concentración** de los mismos y de su **capacidad de dispersión** (que estará relacionada a su vez con los movimientos del agua: caudal, velocidad de la corriente, agitación, etc.). Por ejemplo, si consideramos un río, los contaminantes naturales al cabo de un cierto tiempo, y a partir de una determinada distancia desde el punto en el que se originaron, habrán desaparecido y el río se habrá autodepurado. Las aguas también son capaces de depurar contaminantes de origen humano, sobre todo si son vertidos de materia orgánica (aguas residuales). Todos estos materiales se dice, como ya hemos visto anteriormente, que son **biodegradables**.

Pero todo tiene un límite y si la cantidad de contaminantes es excesiva, se sobrepasará la capacidad autodepurativa y la contaminación será permanente. Incluso se producirán efectos indeseables como la **eutrofización**. La autodepuración incluye un conjunto de fenómenos físicos (decantación...), químicos (disolución, precipitación...) y biológicos (oxidación de materia orgánica por bacterias).

Para comprobar el estado de las aguas de un río y su capacidad autodepurativa se hacen análisis, pero también se emplean los **indicadores biológicos**: hay especies muy selectivas que sólo pueden vivir en aguas muy limpias y otras que toleran altas tasas de contaminación orgánica. Entre medias existen especies con mayor o menor tolerancia. Haciendo un muestreo y observando las especies presentes se pueden sacar conclusiones.

Para conocer la capacidad autodepurativa de un río o de una instalación de depuración de aguas se recurre al cálculo de la **DBO** o demanda biológica de oxígeno y la **DQO** demanda química de oxígeno. Básicamente con estos análisis se puede saber qué proporción de la materia orgánica es biodegradable.

## ANEXOS

### Gestión integral del agua

Para que toda la población disponga de agua de calidad suficiente, de forma que la explotación de este recurso se haga de forma sostenible, sin crear graves problemas de escasez a medio plazo, se necesita una eficaz gestión del uso y extracción del agua.

Por una parte hay que asegurar el suministro de agua con la construcción de embalses, el transporte por sistemas de tuberías y canales y la extracción del agua subterránea. Por otra, hay que desarrollar los aspectos legales y administrativos que el uso del agua conlleva. Es importante mejorar la eficiencia en el uso del agua disminuyendo su desperdicio y uso innecesario.

#### Criterios actuales para la gestión del agua

La gestión moderna del agua debe responder a variados problemas, consecuentes a las características de este recurso:

- Garantizar un uso sostenible.
- Proteger y recuperar su calidad, tanto para el uso humano como ecológica.
- Evitar que la falta de agua sea un freno para un desarrollo social razonable.

Dado que el agua es un **recurso limitado**, se requiere un uso eficiente que compatibilice la creciente presión de la demanda y la necesidad de preservar el medio natural. Y para ello es indispensable el control público de su gestión y administración, ya que atañen a la sociedad en su conjunto.

Este **control público**, encaminado a preservar el recurso y **garantizar su uso sostenible** por el conjunto de la sociedad, debe expresarse mediante una planificación prudente y flexible, que incluya previsiones sobre la evolución a largo plazo, a partir del conocimiento tanto de los aspectos cuantitativos como cualitativos del uso y conservación de los recursos hídricos.

La **participación** de las comunidades de usuarios en la gestión y planificación democrática del recurso es indispensable para la concienciación ciudadana, para la aceptación social del control público y para la resolución de los inevitables conflictos de intereses entre distintos usuarios de un bien necesario, insustituible y escaso.

La planificación y gestión del agua no puede hacerse al margen de la **ordenación del territorio**. El objetivo de conseguir un uso eficiente y sostenible del agua incide de forma importante en la distribución de las actividades a desarrollar en un territorio. El agua es un elemento estructurador y condicionante de la ordenación territorial.

Un planteamiento adecuado de los **aspectos económicos** de la gestión del agua es imprescindible para conseguir un uso eficiente. Para evitar tendencias al mal uso, el agua debe pagar al agua.

El **principio contaminador-pagador** se ha acuñado en zonas con abundantes recursos, sometidos a fuertes procesos de degradación por vertidos industriales y urbanos, que nace a consecuencia de la política de medio ambiente europea.

En muchas zonas las prioridades se orientan a resolver el problema de la presión de la demanda creciente sobre un recurso limitado e irregular. Esta circunstancia es determinante en climas que exigen el **recurso al regadío** para garantizar la producción agropecuaria.

Las inversiones necesarias para garantizar el suministro de agua en estas zonas son cada vez más elevadas, máxime cuando se impone la idea de la necesidad de preservar y recuperar la calidad del agua, evitar la explotación de acuíferos más allá de la recarga natural y mantener en los cauces fluviales los caudales suficientes para mantener los sistemas ecológicos asociados al río. Estos **costes ambientales**, que no se derivan solamente del impacto de la contaminación sino más ampliamente del uso -captación, regulación, conducción, degradación y vertido- son inevitables para una gestión sostenible. El principio **usuario-pagador**, que se remite a la afección total sobre el unitario ciclo hidrológico, debe sustituir al contaminador-pagador.

La superposición de dos realidades físicas innegables se agrega a esos principios para sentar las bases de una gestión moderna del agua: **La unidad del ciclo hidrológico y La unidad de la cuenca fluvial**

Estas bases conducen a organizar la gestión del agua mediante una autoridad única actuando en el ámbito natural de una cuenca fluvial, con independencia de fronteras administrativas. Autoridad única que debe estar fundada en la federación de los entes interesados en esa gestión, desde los representantes de los intereses generales hasta los particulares -agrupados estos en **comunidades de usuarios**.

Los **objetivos de la gestión** del agua son:

- Garantizar el abastecimiento de población a un precio razonable.
- Respetar el carácter renovable del recurso para garantizar un uso sostenible.
- Gestionar la demanda para conseguir un uso eficiente del agua.
- Garantizar la calidad adecuada del agua y de los valores ambientales asociados al medio hídrico.
- Garantizar los usos económicos del agua:
  - Regadío
  - Industria
  - Hidroelectricidad
  - Otros (piscifactorías, turismo, pesca, ... )

Los **organismos de cuenca**.

La experiencia española en la gestión del agua mediante una autoridad única en el ámbito de cada cuenca -o agrupación de pequeñas cuencas- se remonta a 1926, año en que se crearon las **Confederaciones Hidrográficas** como Organismos autónomos, estableciendo la participación de los usuarios en los órganos de gestión y encomendando a las Confederaciones, la formación de un plan de aprovechamiento coordinado y metódico de las aguas de la cuenca.

Los **Organismos de cuenca** nacieron en España con la Ley de Aguas de 1879, que establecía el dominio público sobre las aguas superficiales, y de una política hidráulica caracterizada por la voluntad promotora e inversora de los poderes públicos en los aprovechamientos y obras hidráulicas, fundamentalmente el regadío como medio para mejorar la producción agraria.

Como consecuencia las Confederaciones Hidrográficas, que han funcionado ininterrumpidamente desde su nacimiento, no se han limitado al control administrativo y a la autorización de los usos privativos del agua, sino que han desempeñado un importante papel de promoción de aprovechamientos y realización de obras en sus cuencas respectivas, acumulando además información básica hidrológica y general en su ámbito de competencia.

#### **Situación actual**

La **Ley de Aguas** de 2 de Agosto de 1985, actualmente vigente en España, define el **dominio público hidráulico**, que abarca las aguas superficiales y subterráneas renovables -integrantes del ciclo hidrológico-, los cauces de corrientes naturales, los acuíferos -en lo que se refiere a los recursos hídricos- las masas de agua naturales o artificiales: lagos, lagunas, embalses.

Establece la administración pública del agua, sometida a los principios de: unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios; respeto de la unidad de la cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico; compatibilidad con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza. La **cuenca hidrográfica**, como unidad de gestión del recurso, **se considera indivisible**.

La Ley de Aguas define a las **Confederaciones Hidrográficas** como entidades de Derecho público con personalidad jurídica propia -distinta del Estado-, adscritas al actual Ministerio de Medio Ambiente y con plena autonomía funcional. Cuentan con su propio patrimonio, cuyos productos y rentas forman parte de sus ingresos, que se completan con los procedentes de la recaudación de tasas y precios por la utilización de infraestructuras públicas, canon de vertido, etc. Los presupuestos del Estado aportan fundamentalmente el capital para inversiones nuevas.

#### **Características específicas del modelo español de organismos de cuenca:**

- La gestión integral del agua, como elemento indispensable para un desarrollo sostenible y un uso eficiente.
- La interrelación con la ordenación y estructuración del territorio.
- La preocupación por todos los aspectos relativos al medio ambiente hídrico, que incluyen la calidad del agua y, además, los valores ecológicos, paisajísticos y de defensa del suelo.
- Principales actividades de las confederaciones hidrográficas
- Planificación Hidrológica.
- Gestión de recursos y aprovechamientos. Explotación de sistemas hidráulicos.
- Gestión de la demanda. Programas de mejora y modernización de regadíos. Ahorro de agua.
- Programas de seguridad de presas. Planes de emergencia.
- Información de situaciones extremas -sequías e inundaciones-.
- Gestión de las mismas.
- Campañas informativas y educativas. Control de calidad del agua.
- Policía de aguas.
- Programas para fomento del uso social y recreativo de ríos y embalses. Protección del dominio público hidráulico.
- Guardería fluvial.
- Actualización de inventarios de pozos y otros aprovechamientos.
- Proyecto y ejecución de nuevas inversiones en infraestructuras hidráulicas.
- Monitorización de la información y creación de bancos de datos.
- Negociación, acuerdo o arbitraje en los conflictos entre los distintos intereses relacionados con el agua.
- Instrumentos avanzados de apoyo a la gestión

Para conocer en tiempo real de la situación hidrológica y de calidad del agua en la cuenca fluvial, las Confederaciones cuentan con dos potentes instrumentos que suministran información en tiempo real sobre los parámetros más importantes:

El Sistema automático de información hidrológica (S.A.I.H.) capta mediante una red de sensores distribuidos en toda la cuenca, datos de: Lluvia, Caudales, Niveles de embalse y reservas de agua, Niveles piezométricos en los acuíferos. Estos, una vez tratados se envían al sistema central de recogida y almacenamiento, en la sede de la Confederación, donde pueden consultarse en tiempo real. El proceso facilita la toma de decisiones, tanto para la explotación en situaciones normales como extremas y permite la actualización permanente de las bases de datos hidrológicos.

El Sistema automático de información de calidad de las aguas (S.A.I.C.A.) tiene un funcionamiento análogo, pero referido a datos de calidad del agua en estaciones de control en puntos elegidos de la red fluvial y en pozos de los principales acuíferos, en especial en los problemáticos. Se transmiten en tiempo real los datos de los parámetros más significativos. De algunos de los cuales se toman mediciones continuas de: Turbiedad, pH, demanda biológica y química de oxígeno, caudal, iones cloro y sulfato, metales pesados, nitratos, etc. La información permite detectar cualquier alteración de la calidad, vertidos ilegales o irregulares, y adoptar medidas correctivas y de policía pertinentes.

Estos sistemas de información están en funcionamiento en 7 de las 11 cuencas españolas peninsulares y en proceso de instalación en las restantes.

La gestión de agua en España ha sido una parte fundamental en la política de desarrollo económico del siglo XX, durante el cual el número de presas aumentó de cerca de 60 a más de mil. La infraestructura de riego aumento al mismo ritmo. El Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino estima que del regadío se obtiene el 50% de la producción agraria final.

Igualmente en 2006, un 18,5% de la producción de energía eléctrica era de origen hidráulico. Los embalses españoles, con una capacidad de almacenamiento de 54.000 hm<sup>3</sup> - 50% del caudal de los ríos- juegan un papel importante en la reducción del impacto de sequías e inundaciones. Sin embargo, particularmente las sequías siguen siendo problemas graves en el país. También lo es la contaminación de los recursos hídricos: Sólo el 11% de las aguas de los ríos españoles son de calidad aceptable. La sobreexplotación de acuíferos, sobre todo en la costa mediterránea, es otro problema grave.

Los organismos de cuenca (OC), que tenían inicialmente como papel principal la construcción de infraestructura hidráulica, en las últimas décadas se han centrado en la protección y uso sostenible del agua, tendencia que se ha reforzado con la **directiva marco del agua de 2000 de la EU**. Los OC tienen varios órganos consultivos para aumentar la participación de los usuarios en la toma de decisiones. La mayoría son Confederaciones Hidrográficas, que forman parte de la administración del Estado y al mismo tiempo son herramientas para la toma de decisiones participativas al nivel local y de la cuenca.

#### Datos del consumo de agua en España, según I.N.E. (referidos al año 2011):

La política del agua en España se ha basado en el aumento de recursos hídricos, esto ha hecho que España sea el cuarto país del mundo con un mayor número de grandes presas (1.200) y que apenas queden ríos sin regular.

Los **usos del agua** en España se distribuyen por sectores, el consumo de agua es:

- Abastecimiento a núcleos urbanos, 4.300Hm<sup>3</sup>/año, el 14% del consumo.
- Industria, 1.900 Hm<sup>3</sup> /año, es decir, el 6%.
- Regadío utiliza 24.200 Hm<sup>3</sup>, el 80% del agua.

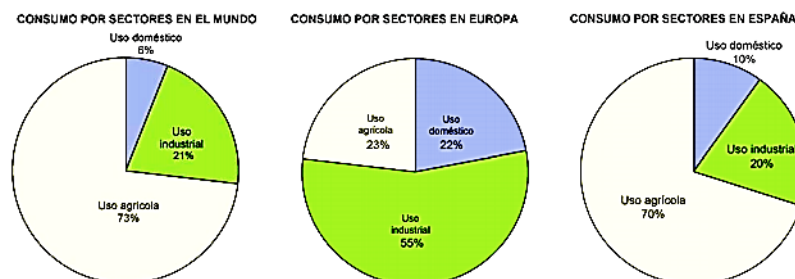
El **uso urbano** supone entre el 10 y 14% del consumo de agua, porcentaje que se prevé aumentar por el desarrollo del turismo, precisamente en las zonas donde el agua es más escasa y se emplea con finalidades de ocio (zonas verdes, piscinas, campos de golf, etc.). El consumo de la industria (12-15%) se mantiene como consecuencia de las medidas de ahorro que se están implantando para reducir costes y los efluentes contaminantes.

Durante el año 2011, se suministraron a las redes públicas de **abastecimiento urbano** 4.514 hm<sup>3</sup> de agua. Tres cuartas partes (3.381 hm<sup>3</sup>) fueron volúmenes de agua registrada, medidos en los contadores de los usuarios. El resto (1.133 hm<sup>3</sup>) fueron volúmenes no registrados (pérdidas reales o no medidos). Las pérdidas reales (fugas, roturas y averías en la red de abastecimiento) se estimaron en 776 hm<sup>3</sup> (un 17,1% del total de agua suministrada).

El volumen de agua registrado y **distribuido a los hogares** fue de 2.384 hm<sup>3</sup> (el 70,5% del total). Los sectores económicos (Industria, Servicios y Ganadería) usaron 693 hm<sup>3</sup> (el 20,5%), mientras que los consumos municipales (riego de jardines, baldeo de calles y otros usos) alcanzaron los 304 hm<sup>3</sup> (el 9,0%).

El 65% del agua captada por las empresas suministradoras con medios propios procedió de aguas superficiales, mientras que el 30% tuvo su origen en aguas subterráneas. Un 5% fueron aguas desaladas del mar.

En el año 2011 el **coste** unitario del agua se situó en 1,54 €/m<sup>3</sup> por persona y día, con un incremento del 2,0% respecto al año anterior (1,51 euros). El coste unitario del suministro de agua alcanzó los 0,95 euros por metro cúbico, un 3,3% más que en 2010, mientras que el de saneamiento (alcantarillado, depuración, cánones de saneamiento y vertido) fue de 0,59 euros, con un aumento del 1,0%.



Actualmente existen 3.700.000 Ha en **regadío**, de las que casi un millón son de regadío tradicional. El aumento de la superficie de regadío que propuso el Plan Nacional de Regadíos en 2008 era de 228.518 Ha, impulsando el ritmo de terminación de las zonas regables en ejecución (138.365 Ha), estableciendo pequeños regadíos destinados a mejorar las condiciones del mundo rural (79.426 Ha), y fomentando la creación de nuevos regadíos por iniciativa privada. Este aumento se debe a los altos rendimientos que presentan estos tipos de cultivos frente a los de secano.

735.000 Ha de regadío funcionan básicamente con canales de tierra, que tienen pérdidas de agua muy altas. De 1.295.000 Ha regadas mediante acequias de hormigón, 392.000 presentan graves problemas de conservación y mantenimiento. 1.981.000 Ha se siguen regando con métodos antiguos, como el riego a manta o de gravedad, y gran parte de ellos, con riegos por turnos. Si las actuales conducciones de agua se arreglasen y tuviesen un adecuado mantenimiento, y se cambiasen los métodos de riego a manta por otros más modernos que economizan el agua, se conseguiría reducir el derroche de agua que actualmente se viene realizando en los campos españoles.

La agricultura además acarrea otros **problemas ambientales**, como es la contaminación de aguas (tanto superficiales como subterráneas) por el uso excesivo de insecticidas y pesticidas. La industria química ha puesto más de 100.000 sustancias sintéticas en el medio ambiente. Sólo se conocen los efectos reales de un número muy reducido de ellas, por lo que incluso las medidas de la contaminación que existe actualmente no garantizan la inocuidad o la calidad de las aguas para la vida natural o para el consumo humano.

**Los ríos** españoles son irregulares debido a las estaciones, que hacen que los ríos se sequen en verano. Para poder disponer de agua suficiente se han construido presas que almacenan el agua en la época de lluvias, regulan el caudal del río para evitar inundaciones y se pueden aprovechar para obtener energía hidroeléctrica. La capacidad de embalse es en la actualidad superior a 50.000 hm<sup>3</sup> al año, lo que da una disponibilidad de agua de unos 2.800 m<sup>3</sup> por persona al año. Según el Ministerio de Medio Ambiente, en 25.000 km de cauce de nuestros ríos, es decir, en el 33% de los cursos fluviales españoles, existe una contaminación severa.

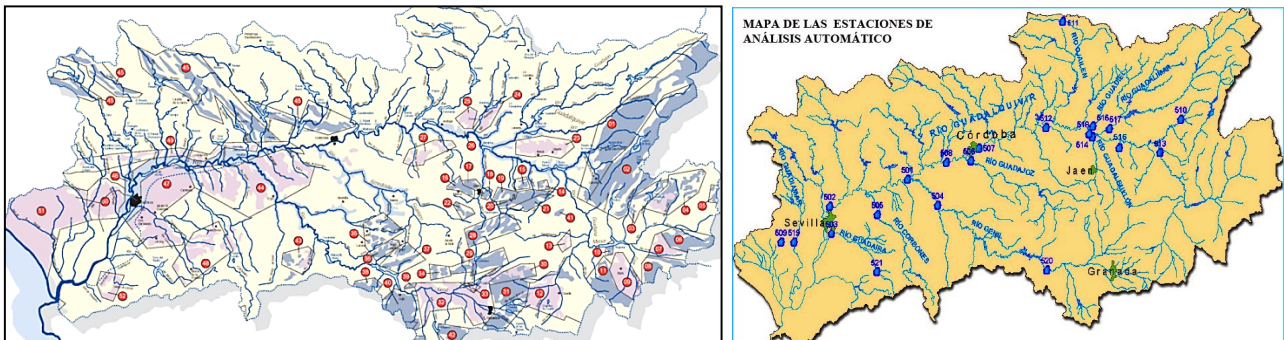
La explotación del **agua subterránea** en las áreas costeras (no sólo por parte de la agricultura, sino también por el turismo) ha llevado a que en la zona del mediterráneo, desde Cataluña hasta Andalucía, y en Baleares y Canarias, los acuíferos estén en mayor o menor medida salinizados.

Uno de los motivos por el que no hay una buena **cultura del agua** en España, es por el bajo precio que tiene este bien en nuestro país. Este bajo coste hace que se desperdicie tanta agua. Este precio no cubre los gastos de extracción y tratamiento que se realiza para el consumo del agua. El agua se considera un bien público y los gastos que ocasiona se cargan a la masa global de impuestos pagados entre todos los ciudadanos.

En España, los precios que pagan los regantes por metro cúbico de agua utilizada no cubren los costes reales que supone el llevar el agua hasta los campos, ni se considera en el precio que pagan los gastos equivalentes de la pérdida de la calidad del agua por la utilización de productos fitosanitarios, o por la salinización resultante de la sobre-explotación de los acuíferos cercanos al mar. Actualmente, las aguas subterráneas suponen unos costes para el agricultor que pueden rondar un promedio de 0,15 €/m<sup>3</sup>. Sin embargo, en la mayoría del millón de ha de regadío tradicional y el en otro millón de ha de nuevos regadíos subvencionados por el Estado, los regantes apenas pagan entre 0,005 y 0,020€/m<sup>3</sup>.

La práctica de la reutilización de las aguas es escasa debido al rechazo de los potenciales usuarios. En España se reutilizan alrededor de 200 Hm<sup>3</sup> anuales, los cuales se utilizan para riego. Este uso se da sobre todo en la costa mediterránea y del sur, la zona atlántica y en los archipiélagos.

Desde finales de los años setenta, se utiliza la desalación de agua en Ceuta, Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria. Actualmente se desalan 200 Hm<sup>3</sup> anuales.



La gestión del agua en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir se lleva a cabo utilizando mapas: Izqda: se representan las reservas hídricas de aguas superficiales (embalses) y, con números, de aguas subterráneas (acuíferos). Drcha: estaciones de análisis para medir la calidad de las aguas.

### El ciclo urbano del agua

El agua que utiliza en las poblaciones recorre un ciclo: se toma del medio natural y, una vez usada y depurada, se reintegra al medio. En el ciclo urbano diferenciamos tres fases: captación, potabilización y depuración.

#### A. Captación

En los proyectos de captación deben existir las siguientes prioridades:

Elegir acuíferos con recursos superiores a las necesidades de la población, Que las aguas sean de la mejor calidad y Localizar el lugar decantación lo más cercano posible al punto de destino del agua.

#### B. Potabilización

La potabilización del agua se realiza en Estaciones de tratamiento de Aguas Potables (ETAP). La finalidad del proceso es conseguir buenas características organolépticas y ausencia de riesgos sanitarios para la población. Consta de tres etapas:

Decantación de partículas en suspensión. Se consigue manteniendo el agua en reposo y añadiendo floculantes como sulfato de aluminio, que aglutinan las partículas pequeñas.

Filtrado. El agua se hace pasar por lechos de arena, se airea para eliminar los gases que pudiera contener y mejorar las características organolépticas. También se ajusta el pH y la dureza.

Desinfección. Se realiza con cloro o hipoclorito, más barato y fácil de aplicar. A veces se sustituye la cloración con tratamientos con ozono o radiaciones UV. Son procedimientos más caros.

#### C) Depuración

Los procesos de depuración rebajan las contaminaciones con el fin facilitar la autodepuración, reutilizar las aguas residuales en regadíos y favorecer la potabilización evitando riesgos para la salud. Se diferencian 2 sistemas depurativos: de bajo coste y convencionales. Ambos se realizan por actividad metabólica de microorganismos.

Sistemas depurativos de bajo coste:

El más importante es el sistema de lagunaje múltiple que reproduce la transformación que el agua experimenta en el medio natural mediante su retención en lagunas artificiales. Tiene buenos rendimientos a un coste mínimo, pero ocupa extensos terrenos, por lo que solo se utiliza en poblaciones pequeñas.

El proceso comprende 3 fases:

Tamizado mediante filtros para eliminar los objetos flotantes y de gran tamaño-

Tratamiento anaeróbico en lagunas profundas durante un corto tiempo para hidrolizar las moléculas orgánicas en otras más pequeñas.

Tratamiento aeróbico.

El agua va pasando por gravedad de una fase a la siguiente, transformándose sin gasto de energía y con un mínimo mantenimiento de las instalaciones.

Las depuradoras convencionales llamadas de alto coste porque requieren altas inversiones son eficaces para limpiar el agua procedente de medianas y grandes poblaciones. Son sistemas que depuran mediante la actividad metabólica de microorganismos (fangos o lodos activos). Existen varias modalidades pero en todas se diferencian tres líneas para el tratamiento: de agua, de fangos y de gases.

La depuración del agua se realiza en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR). Tiene por objeto eliminar o reducir los contaminantes para preservar el medio ambiente. Las EDAR hacen circular las aguas por compartimentos, en los cuales tienen lugar procesos diferentes denominados tratamientos, que suelen ser cuatro: Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario, Tratamiento Terciario.

Pretratamiento: desbaste o extracción de residuos gruesos, mediante rejas y tamices, desarenado y desengrasado.

Tratamiento Primario: trata de reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua residual por sedimentación en grandes balsas. Se puede mejorar con floculantes.

Tratamiento secundario o biológico: se elimina la materia orgánica mediante el metabolismo de microorganismos anaerobios y aerobios, que forman los fangos activos con capacidad depuradora. Los fangos (biosólidos), una vez tratados pueden incinerarse para obtener energía, elaborar fertilizantes y compost o depositarlos en vertederos. El proceso anaerobio genera biogás (mezcla de metano, CO<sub>2</sub> y vapor de agua) que se consume en la propia planta o se quema.

Tratamiento terciario: se eliminan patógenos (por ejemplo mediante cloración), metales pesados, fosfatos y nitratos mediante técnicas avanzadas y caras. Este tratamiento se realiza solo si el agua va a volver a ser utilizada.

El producto final principal es el agua depurada que se incorpora a los cauces, pero también se producen otras sustancias principalmente fangos ricos en materia orgánica que se producen en las sucesivas decantaciones y en el tratamiento biológico y el biogás.

