

# Tema 5. La hidrosfera. Balance Hídrico, recursos hídricos. Detección, prevención y corrección de la contaminación hídrica.

---

Tema 5,  
2ª parte

1. RECURSOS HÍDRICOS
  - 1.1. EL AGUA COMO RECURSO
  - 1.2. BALANCE HÍDRICO
  - 1.3. RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA
  - 1.4. INTERVENCIÓN HUMANA SOBRE EL CICLO HIDROLÓGICO
2. USOS DEL AGUA
  - 2.1. USOS DEL AGUA
  - 2.2. EL AGUA COMO RECURSO ENERGÉTICO
3. GESTIÓN DEL AGUA: PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA
4. SOBREEXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
5. CONTAMINACIÓN DEL AGUA
  - 5.1. TIPOS DE CONTAMINACIÓN y CONTAMINANTES
  - 5.2. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DULCES
  - 5.3. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS MARINAS
  - 5.4. LA CALIDAD DEL AGUA
  - 5.5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LAS AGUAS

# 1. RECURSOS HÍDRICOS

## 1.1. EL AGUA COMO RECURSO

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

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

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

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

## 1.2. BALANCE HÍDRICO

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

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

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

En su forma más simple se expresa mediante la ecuación  $P = ET + ES$

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

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

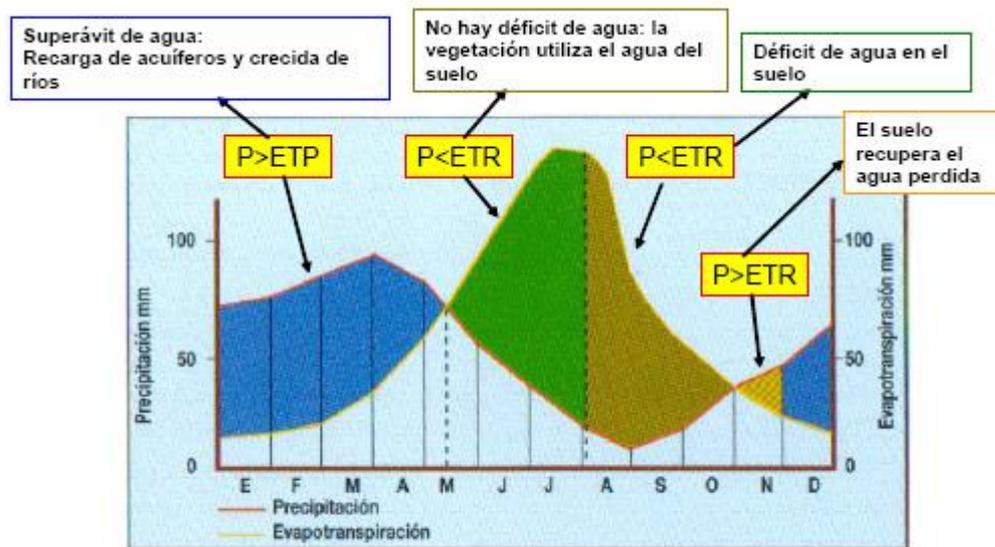
A las entradas de agua hay que sumar o restar el volumen de agua almacenada (V) en el sistema, por lo que la ecuación quedaría:

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

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

El balance hídrico se puede representar gráficamente mediante un **diagrama hídrico**, en el que se compara la evapotranspiración potencial y real con la precipitación, en un tiempo determinado, generalmente mensual. Los diagramas hídricos nos permiten conocer el exceso o déficit probable de agua disponible en el suelo y así poder planificar el riego, el tipo de

cultivos, etc. Además es importante para evaluar los recursos hídricos disponibles.



### INTERPRETACIÓN DE DIAGRAMA HÍDRICO

#### 1.3. RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA

En España se contabiliza una precipitación media anual de 682 mm, lo que representa unas entradas de  $346.000 \text{ hm}^3$ , pero la sequedad de nuestro país produce una evapotranspiración de  $235.000 \text{ hm}^3$ , de lo que resulta una escorrentía de  $111.000 \text{ hm}^3$  (220 mm/año), aproximadamente un tercio de la precipitación. Esta aportación incluye el agua de la red fluvial, o sea, la escorrentía superficial directa más el drenaje de los acuíferos ( $109.000 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) y la escorrentía subterránea al mar ( $2.000 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) que no se aprovecha.

Estas cifras indican que la disponibilidad máxima teórica de agua alcanza los  $2.800 \text{ m}^3/\text{hab./año}$ , algo más de la tercera parte del promedio mundial. Pero, lo realmente grave es que la distribución del agua en el espacio y en el tiempo es muy irregular. En la vertiente Norte, seguida a bastante distancia por el Pirineo Oriental, es donde se alcanzan los valores más altos, mientras que la cuenca Sur (Guadalquivir y Segura), Canarias y Baleares son las que reciben menos precipitaciones y son deficitarias. Además la irregularidad temporal (marcados ciclos interanuales, originalidad del clima mediterráneo) impide que los recursos puedan ser totalmente aprovechados. Así, si no se alterara artificialmente el régimen natural, sólo sería posible explotar un 10%, no obstante gracias a la regulación de los caudales, las extracciones de agua subterránea y los trasvases, el aprovechamiento llega al 40%, por lo que el agua realmente disponible equivale a unos  $1.025 \text{ m}^3/\text{hab./año}$ .

#### Problemas de agua en España

1. Alteraciones antropogénicas del ciclo hidrológico: Deforestación desmedida; Erosión; Desertización de las cuencas hidrológicas; Contaminación atmosférica
2. Distribución hidrográfica irregular: Fenómenos torrenciales; Inundaciones; Drásticos estiajes.
3. Aumento continuo de la demanda: Aumento de la población; Incremento cuantitativo del consumo per cápita.
4. Utilización irracional y contaminación del recurso: Vertido de efluentes sin tratar; El despilfarro y "el mal gastar"; La sobreexplotación de acuíferos

# DÍA MUNDIAL DEL AGUA

## Agua que es de beber, no la dejes correr

GUSTAVO HERMOSO

Es difícil calcular con precisión cuánta agua hay en nuestro planeta. Los cálculos más fiables apuntan a que en total existen aproximadamente 1.360 millones de kilómetros cúbicos del líquido elemento. Parecen muchos, pero en realidad es una fina capa que cubre una parte de la Tierra. De toda esta masa líquida, sólo el 2,7% es agua dulce, y de ella, sólo un pequeño

porcentaje está accesible de forma fácil y poco costosa. La presión demográfica, la agricultura y la industria han hecho del agua un elemento de valor estratégico, que muchas veces se derrocha mientras millones de personas pasan literalmente sed. Un uso responsable de este vital elemento y su distribución solidaria permitiría superar las carencias actuales, ya que, según los expertos, con la tecnología actual hay agua para todos.

### AGUA DULCE 2,7%

Sólo un pequeño porcentaje es dulce, pero no toda está disponible. Un 0,03% del total del agua del planeta corresponde al agua superficial, que es fácilmente aprovechable para el consumo humano. Otro 0,77% corresponde a las aguas subterráneas, accesible sólo en parte con la tecnología actual. El resto del agua, la gran mayoría (1,9%), está en forma de hielo en los polos y glaciares.



AGUA SALADA EN MARES Y OCEANOS

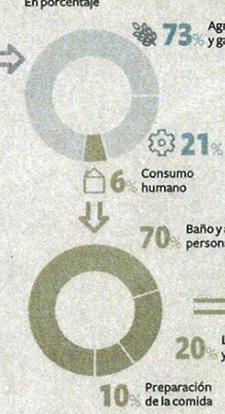
### 97,3%

La mayoría del agua que contiene el planeta se encuentra en los mares y océanos. Es agua salada y no apta para el consumo humano. La tecnología de desalación permite paliar en parte la escasez en zonas costeras, pero con un importante gasto energético y emisiones de salmuera, que afectan al ecosistema marino cercano.

### CONSECUENCIAS DE LA SOBREPLOTACIÓN DEL AGUA

- 60% porcentaje de grandes ríos que tienen su curso represado y degradado
- 75% pérdida del volumen total del mar de Aral
- 50% porcentaje de humedales perdidos desde 1900
- 70% bajada anual del nivel del agua en el mar Muerto

### UTILIZACIÓN DEL AGUA DULCE

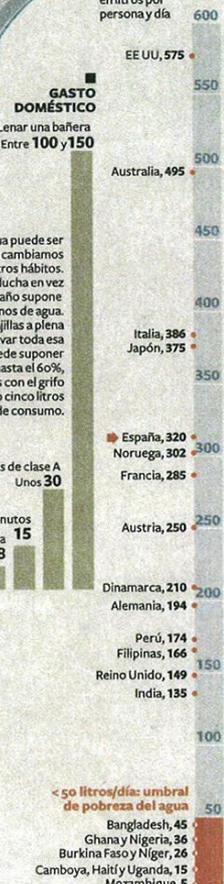


### ACCESO AL AGUA Y DESARROLLO HUMANO

Porcentaje de población que tiene acceso a una fuente de agua mejorada



### CONSUMO DIARIO



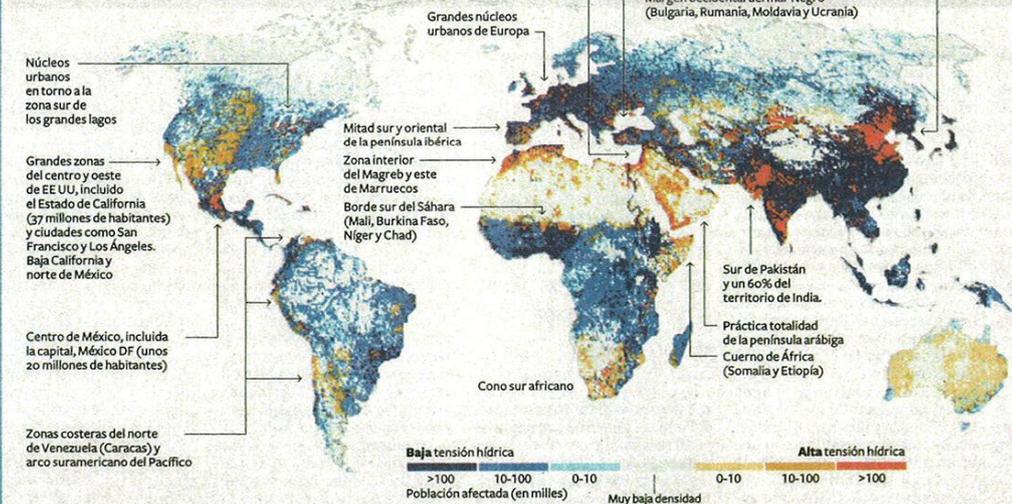
El ahorro de agua puede ser muy significativo si cambiamos un poco nuestros hábitos. Tomar una ducha en vez de un baño supone unos 100 litros menos de agua. Poner el lavavajillas a plena carga en vez de lavar toda esa vajilla a mano puede suponer un ahorro de hasta el 60%, y lavarse los dientes con el grifo cerrado, otro cinco litros menos de consumo.

Un ciclo de lavavajillas de clase A Unos 30 litros  
 Ducha de tres minutos Descarga de la cisterna 15 litros  
 Cocinar y beber 6-8 litros  
 Cepillado de dientes 0,5 litros

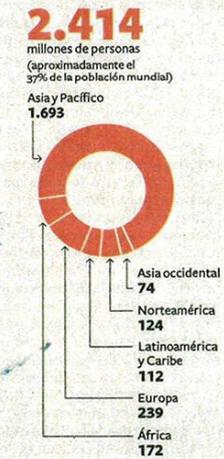
### MAPA DE TENSIÓN HÍDRICA

Cuando la demanda de agua está por debajo de la disponibilidad de la misma (zonas en rojo), se dice que existe una tensión hídrica elevada. Cuando la demanda es inferior a la disponibilidad de agua, la tensión es baja.

Fuente: Grupo de Análisis de Sistemas Hídricos, Universidad de New Hampshire. <http://wwdri.sr.unh.edu/>



### POBLACIÓN AFECTADA POR UNA CARENCIA GRAVE DE AGUA



Fuente: Unesco, PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y Banco Mundial.

## 1.4. LA INTERVENCIÓN HUMANA SOBRE EL CICLO DEL AGUA

- Construcción de embalses y presas: permiten afrontar épocas de escasez, y regulan las aguas de los ríos controlando sus crecidas.
- Construcción de Canales y Trasvases: permiten conducir el agua desde su lugar de almacenamiento hasta el lugar de uso y exportar agua de zonas excedentarias a zonas deficitarias
- Rectificación y manipulación del cauce de los ríos, rectificando sus curvas y encajando sus aguas en cauces artificiales.
- Explotación y relleno de acuíferos subterráneos: a veces las extracciones de agua son mayores que los aportes que reciben (sobreexplotación).
- Modificaciones de la cobertura vegetal.
- La desalación del agua del mar mediante ósmosis inversa o procedimientos térmicos con el fin de obtener agua potable.

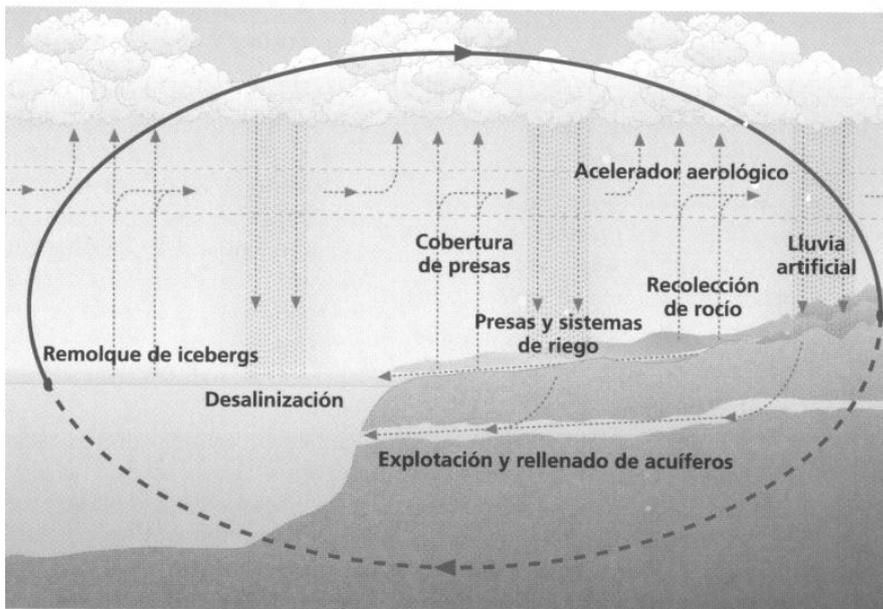


Figura 12. Algunas actuaciones humanas sobre el ciclo hidrológico.  
Fuente: Anguita, 1993.

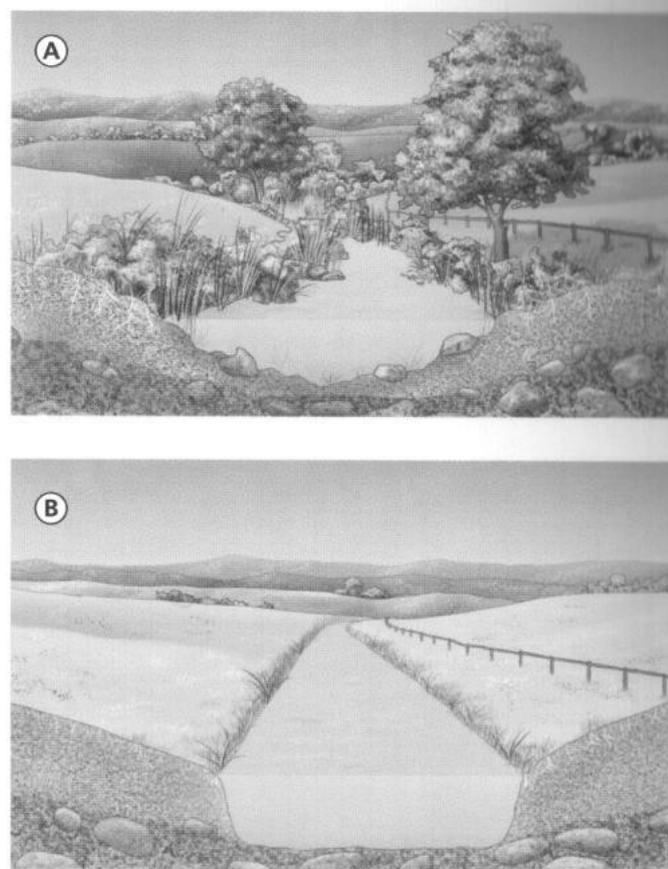


Figura 10. Diferencia en la biodiversidad y en la valoración estética entre un curso natural (A) y un curso canalizado (B). Fuente: Stanners, 1995.

## 2. USOS DEL AGUA

### 2.1. USOS DEL AGUA

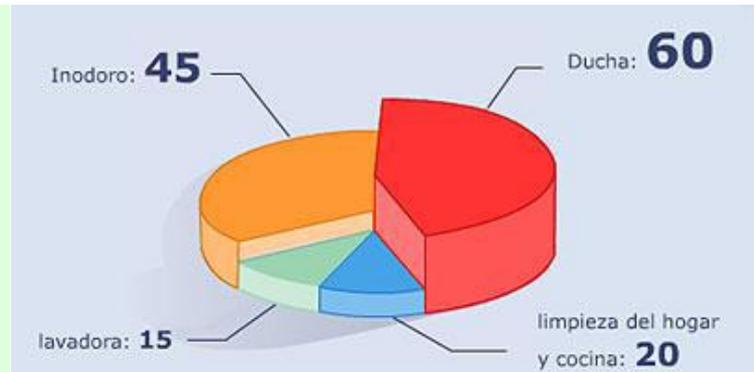
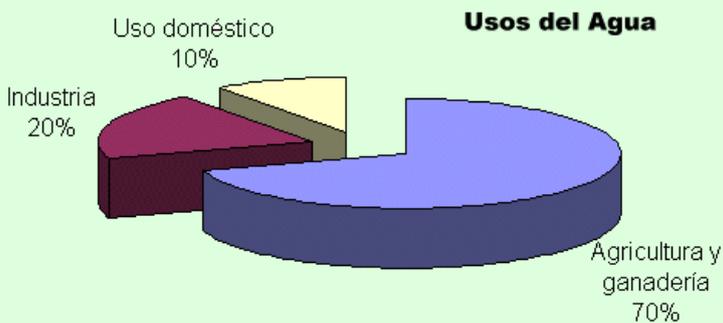
a) **Consuntivos:** en los que se consume agua o se pierde o calidad.

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

TABLA I	
Consumo de agua necesario para la fabricación u obtención de algunos productos	
PRODUCTO	LITROS
1 kg acero .....	280
1 kg cemento .....	4,5
1 kg papel .....	250
1 kg plástico .....	2 000
1 kg algodón .....	10 000
1 kg arroz .....	4 000
1 pollo .....	6 000
1 ternera.....	9 000

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

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



## 2.2. EL AGUA COMO RECURSO ENERGÉTICO

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

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

### **Energía hidráulica**

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

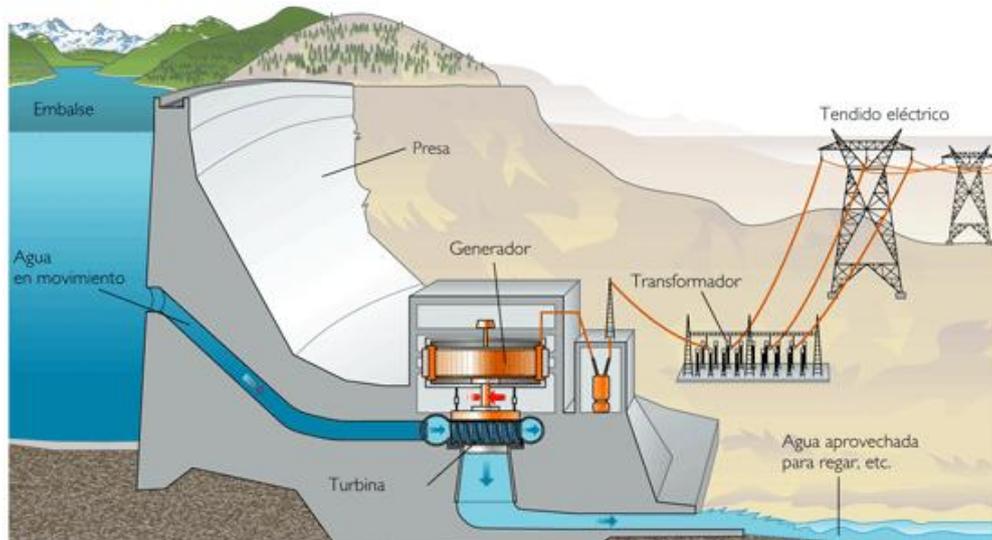
Las **ventajas** que representa este tipo de energía son:

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

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

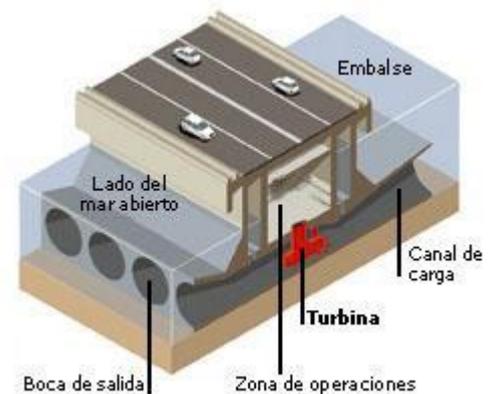
- Alteraciones en los ecosistemas. Reducen la diversidad biológica de la zona; dificultan la emigración de los peces (salmones y anguilas); cambios en la composición química del agua embalsada, alteraciones en el microclima y eutrofización de las aguas.
- Aceleran la erosión de las laderas y sedimentación de materiales en el fondo del embalse lo que favorece su colmatación

- Impacto paisajístico. Fundamentalmente producido por las grandes presas, que implican la destrucción de tierras de labor y de pueblos enteros.
- Riesgos de catástrofes por rotura de la presa.



### Energía mareomotriz

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



### Energía mecánica de las olas

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

### Energía térmica oceánica

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

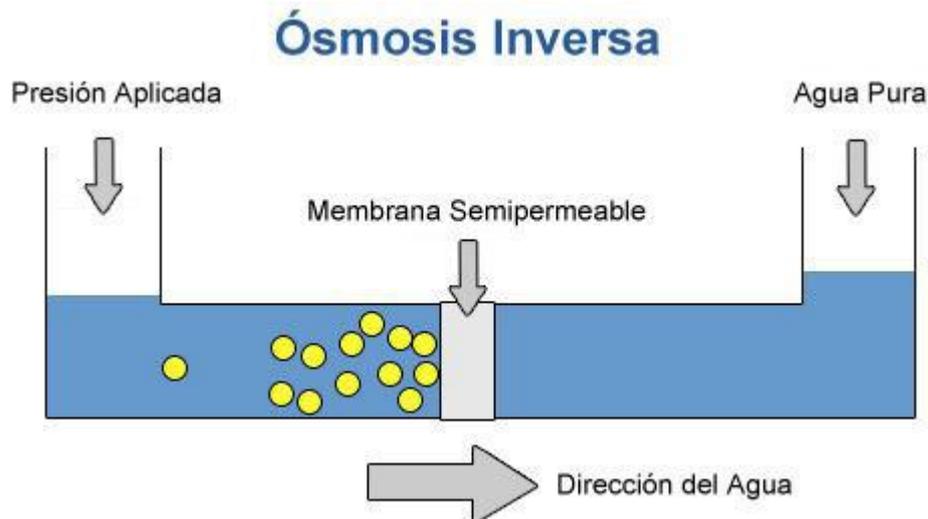
### 3. GESTIÓN DEL AGUA: PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

#### Medidas de reducción de consumo

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

#### Medidas técnicas

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



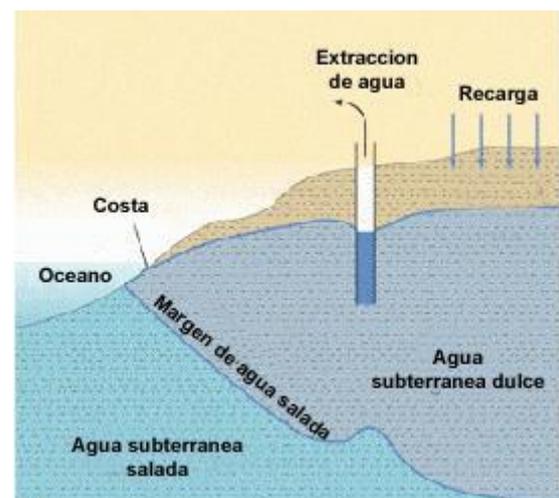
- **Depuración** de aguas residuales

#### Medidas políticas

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

### 4. SOBREEXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

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

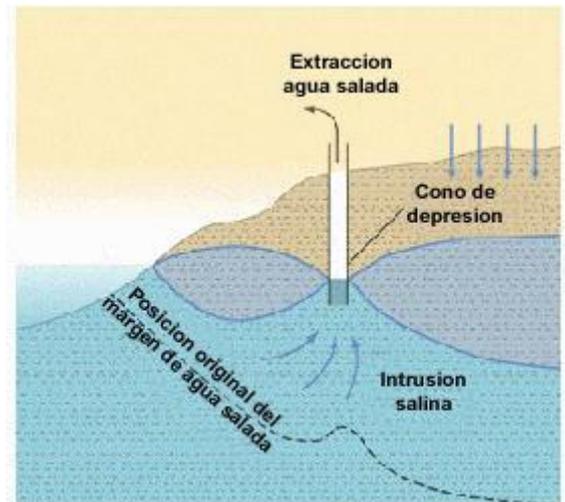


Esto ha producido una disminución del caudal de los ríos y del nivel de los lagos, pero donde se observa con mayor claridad la sobreexplotación de los recursos hídricos es en las aguas subterráneas.

La explotación de los acuíferos a un ritmo superior al de recarga es una práctica insostenible que conduce inevitablemente a su agotamiento.

Las consecuencias de la sobreexplotación son varias:

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



(b) Después de una sobreexplotación

## 5. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

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

### 5.1. TIPOS DE CONTAMINACIÓN y CONTAMINANTES

#### 1. Según su origen:

- **Natural:** como polen, esporas, hojas excrementos de animales, minerales arrastrados por la escorrentía, gases atmosféricos captados por la lluvia,... Estos residuos son eliminados por la capacidad autodepuradora del agua.
- **Antrópica:** provocada por acción humana. Se distinguen diferentes fuentes de contaminación antrópica, dependiendo de la actividad que la provoque:
  - Origen urbano: resultado del uso del agua en viviendas, comercios y servicios. Genera aguas residuales urbanas, ricas en microorganismos, materia orgánica y productos químicos de uso doméstico. Tienen una gran demanda de oxígeno.
  - Origen agrícola: derivada del uso de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego. Son ricas en nitratos y fosfatos, peligrosos para la salud y con influencia en la eutrofización de aguas lentas y en la contaminación de acuíferos.
  - Origen industrial: derivada de actividades industriales. Producen un mayor impacto por la gran cantidad de materiales y fuentes de energía que pueden aportar al agua (materia orgánica, metales pesados, incremento de pH y

temperatura, radiactividad, aceites, grasas,...). Las industrias más contaminantes son las petroquímicas, energéticas, papeleras, siderúrgicas, alimenticias, textiles y mineras.

– Otras fuentes de origen antrópico: vertederos de residuos (urbanos, agrarios e industriales); restos de combustibles (lubricantes, anticongelantes, asfaltos,...); mareas negras, ocasionadas por vertidos de petróleo crudo; fugas de conducciones y depósitos de carácter industrial

## 2. Según su localización:

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

## TIPOS DE CONTAMINANTES

- **Contaminantes biológicos:** materia orgánica y microorganismos presentes en el agua, como bacterias, virus, protistas y algas. Se contamina básicamente por los excrementos humanos o animales y por las aguas residuales. El efecto más importante es la producción o transmisión de enfermedades (tifus, cólera, disentería, paludismo,...).

- **Contaminantes químicos:** atendiendo a su metabolismo de diferencian:

- **Biodegradables:** como nitratos y fosfatos, procedentes de fertilizantes o de descomposición de materia orgánica. Su descomposición en el intestino, al combinarse con grupos amino de los alimentos, puede dar lugar a nitrosaminas, que son cancerígenas. Los carbohidratos, proteínas y grasas, así como gases como el metano, originan olores y colores anormales.

- **No biodegradables:** se obtienen por síntesis química, como plásticos, pesticidas, metales pesados,... Como los organismos carecen de enzimas capaces de transformarlos, pueden llegar a concentraciones peligrosas, acumulándose en las cadenas tróficas. Compuestos orgánicos como plaguicidas, hidrocarburos aromáticos, policlorobifenilos (PCBs) y detergentes alterar el sabor, olor y color natural, producen espumas y alcanzan toxicidad por bioacumulación.

- **Contaminantes físicos:**

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

- **Contaminación térmica:** procedente de la utilización del agua como refrigerante en industrias térmicas (calentamiento) o de las turbinas de los embalses (enfriamiento). Afecta a la concentración de O<sub>2</sub> en el agua (disminuye su solubilidad al

aumentar la temperatura), a la reproducción de especies y a la capacidad autodepuradora de las aguas.

– **Sólidos en suspensión:** como lodos, arenas, gravas y restos orgánicos de animales y plantas. Interfieren en la penetración de la luz, afectando a los organismos fotosintéticos, afecta a la capacidad de autodepuración del agua y dificulta su utilización en las plantas potabilizadoras.

## 5.2. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DULCES

### Contaminación de los ríos

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

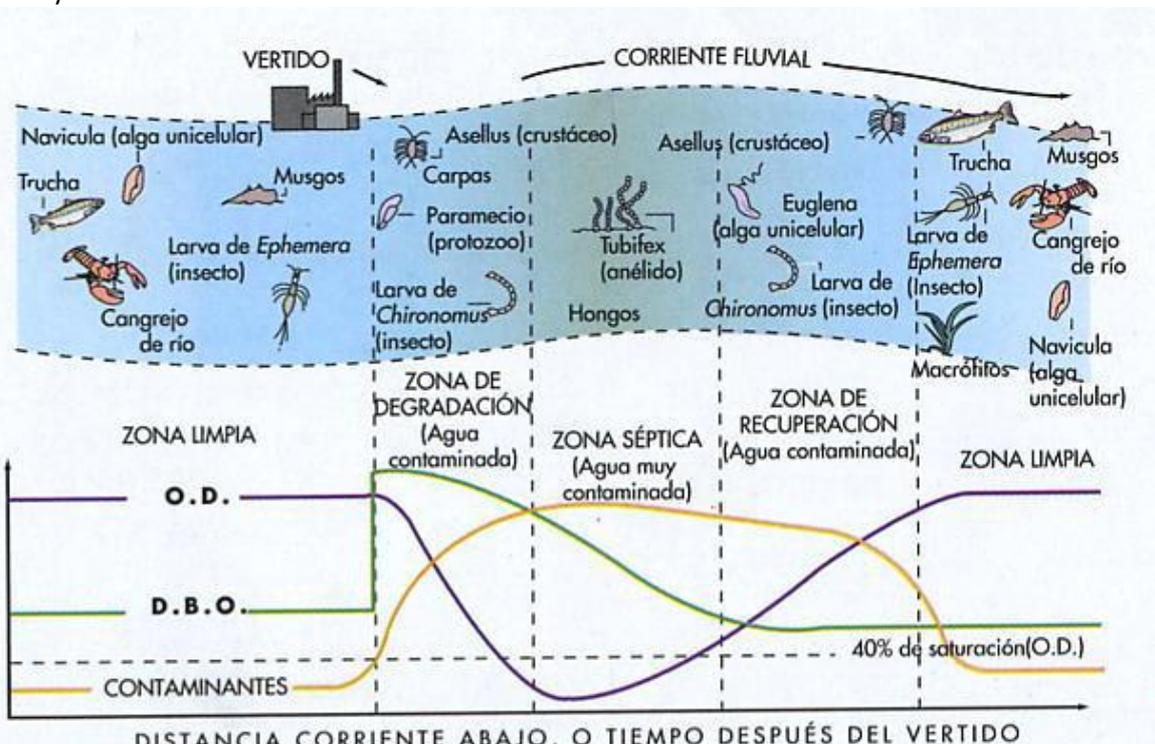
De manera creciente se ha ido vertiendo a los ríos multitud de productos procedentes de las actividades domésticas, agrícolas, ganaderas e industriales, y aunque los ríos tienen una importante capacidad de **autodepuración**, no pueden asumir tal cantidad de contaminantes, por lo que la contaminación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

Las consecuencias de esta contaminación son:

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

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

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



## Contaminación de los lagos. Eutrofización

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

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

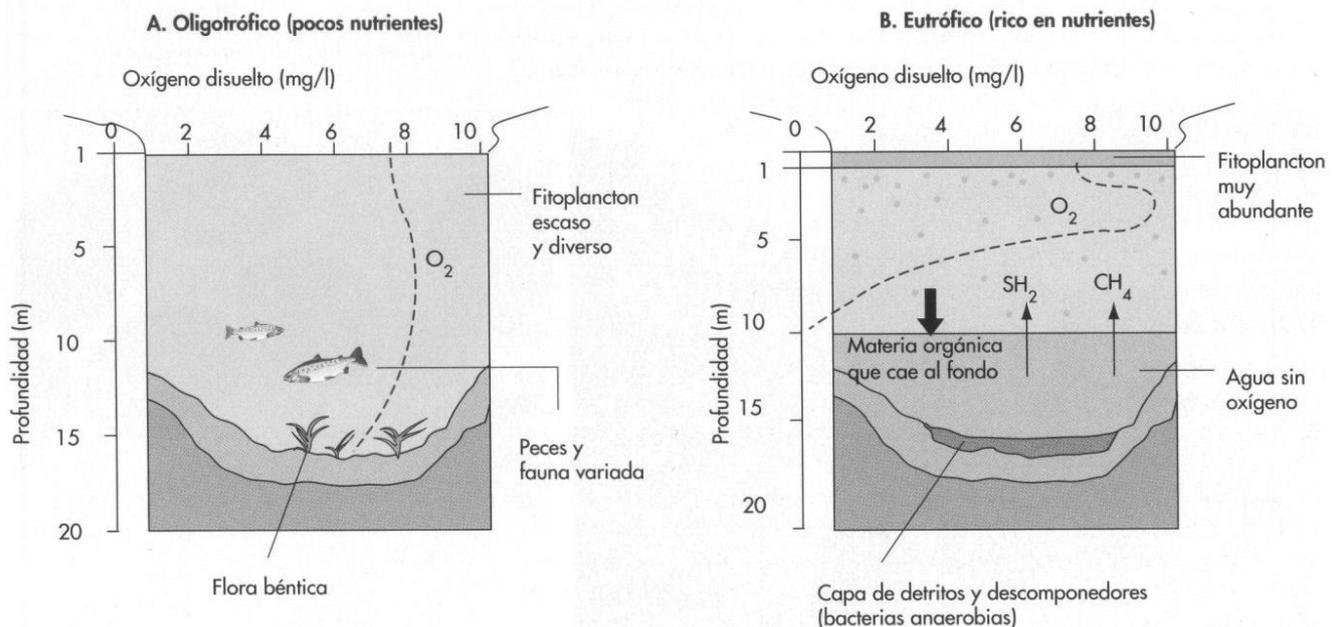
La eutrofización se desarrolla básicamente en tres etapas:

a) **Gran aporte de nutrientes**, fundamentalmente fósforo, que es el principal factor limitante. Este P procede básicamente de abonos y fertilizantes, residuos alimenticios y detergentes con fosfatos.

b) **Proliferación excesiva de organismos fotosintéticos superficiales**, como fitoplancton y algas, que enturbian el agua y disminuyen la zona fótica y producen al morir gran cantidad de materia orgánica en el fondo.

c) **Oxidación de materia orgánica del fondo**, agotando el oxígeno, llegando a producir condiciones de anaerobiosis. Así se favorece la aparición de bacterias anaerobias y al fermentar la materia orgánica se desprenden compuestos químicos desagradables y peligrosos para la salud. Todo ellos empobrece la vida acuática.

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



## Contaminación de las aguas subterráneas

El origen de la contaminación de las aguas subterráneas es muy variado: residuos sólidos urbanos, actividades agrícolas y ganaderas, actividades industriales y mineras, fugas de aguas residuales,...

La contaminación rural, por ejemplo, está provocada por los pesticidas y plaguicidas, sustancias químicas asociadas a los abonos, el propio estiércol y sus productos de descomposición,...

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

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

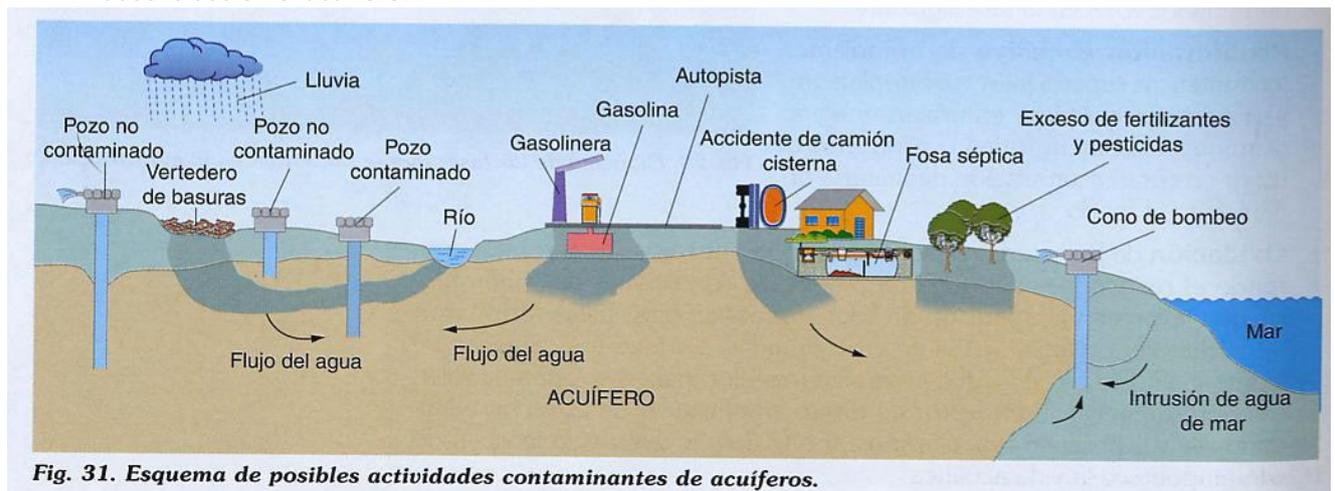


Fig. 31. Esquema de posibles actividades contaminantes de acuíferos.

### 5.3. CONTAMINACIÓN DEL MAR: MAREAS NEGRAS

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

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

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

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

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

#### 5.4. LA CALIDAD DEL AGUA. PARÁMETROS DE ESTUDIO

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

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

##### 1. FÍSICOS:

- **Caracteres organolépticos:** color, olor, sabor.
- **Temperatura:** idónea para consumo entre 8-15 °C. Mayor temperatura indica probable presencia de microorganismos en el agua.
- **Turbidez:** debida a sólidos en suspensión (s.s.). Se utiliza el disco de Sechi para valorarla.
- **Conductividad:** está relacionada

##### 2. Químicos

- **pH y alcalinidad:** debido a la presencia de bicarbonatos, carbonato o hidróxido. El agua limpia tiene pH=7.
- **Dureza:** mide la concentración de sales de Ca y Mg.  
Aguas blandas < 50 mg CO<sub>3</sub>Ca/l  
Aguas duras > 200 mg CO<sub>3</sub>Ca/l
- **Nitrógeno:** se mide el índice de N orgánico, N amoniacal, NO<sub>2</sub> (nitritos) y NO<sub>3</sub> (nitratos).  
Descomposición y oxidación del nitrógeno orgánico por bacterias  
N orgánico → N amoniacal → NO<sub>2</sub> → NO<sub>3</sub>  
El índice de N nos sirve para determinar el tiempo que puede llevar el agua contaminada. Si hay niveles altos de N orgánico y N amoniacal significa que la contaminación es reciente, porque todavía no le ha dado tiempo a oxidarse.
- **Fosfatos:** el nivel de Fosfatos sirve para determinar si el agua se ha contaminado con fertilizantes o detergentes con fosfatos (hoy día están prohibidos).

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

- **O.D. (Oxígeno disuelto):** mide la concentración de O<sub>2</sub> en mg O<sub>2</sub>/l a 20°C, cuando menos concentración de O<sub>2</sub> mayor contaminación orgánica.
  - Aguas de montaña: 10 mg O<sub>2</sub>/l
  - Aguas contaminadas de materia orgánica: 4 mg O<sub>2</sub>/l
- **D.B.O. (Demanda biológica de oxígeno):** mide la cantidad de O<sub>2</sub> consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. La medida más empleada es la **DBO<sub>5</sub>**, el O<sub>2</sub> consumido en 5 días en una muestra de agua a 20 °C y en oscuridad. Valores altos de DBO indican contaminación orgánica.
  - Agua potable: DBO < 3 mg/l
  - Efluentes depuradora: DBO < 20 mg/l
- **D.Q.O. (Demanda química de oxígeno):** mide la cantidad de O<sub>2</sub> consumido para oxidar la materia orgánica e inorgánica empleando un agente oxidante (Dicromato o Permanganato potásico). La DQO siempre tiene que ser mayor que la DBO.  
DQO – DBO: indica la cantidad de materia NO biodegradable.

**3. BIOLÓGICOS. BIOINDICADORES** de la calidad del agua: son microorganismos, larvas de insectos y otros animales (peces, cangrejos, anfibios) cuya presencia o ausencia nos indica el grado de contaminación. Se utilizan diferentes tipos de bioindicadores:

- **Índice de coliformes:** mide la [bacterias coliformes]/100 ml. Niveles altos indican contaminación fecal.

- **Sistema de saprobios:** utiliza ciertos organismos como Bioindicadores, ya que crecen selectivamente en aguas con diferente grado de contaminación. Para determinar el grado de contaminación del agua, las aguas se dividen en 4 categorías:

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

**Tipo Valor BMWP Estado del agua**

1 > 120 Buena calidad. Aguas muy limpias

2 101-120 Calidad aceptable. Aguas no contaminadas o no alteradas sensiblemente

3 61-101 Se evidencias algunos efectos de contaminación

4 36-60 Mala calidad. Aguas contaminadas

5 16-35 Aguas muy contaminadas

6 < 15 Aguas fuertemente contaminadas

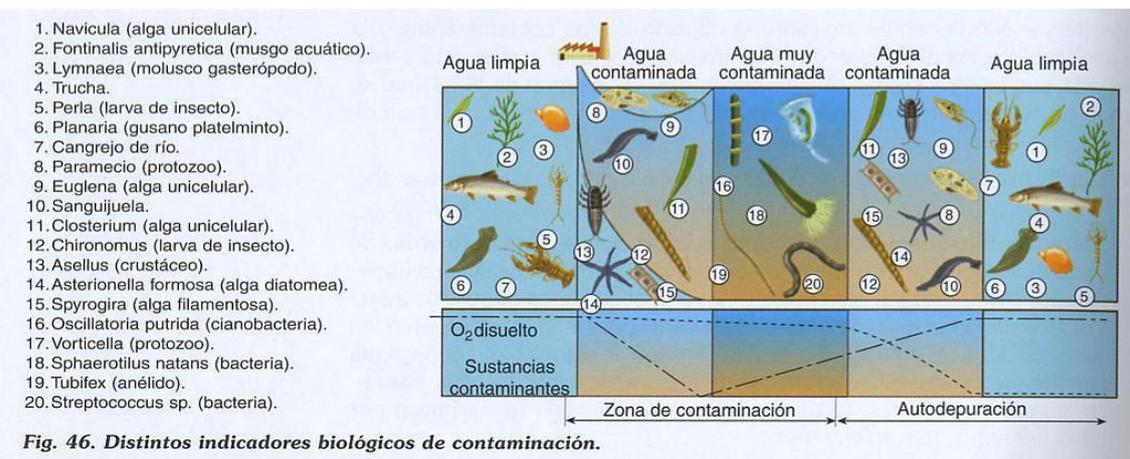
Agua catarobia ↑ OD, ↓ DBO, ↓ coliformes

Agua oligosaprobia

Agua mesosaprobia

Agua polisaprobia ↓ OD, ↑ DBO, ↑ coliformes

TABLA 4. SISTEMA DE LOS SAPROBIOS					
Clase de organismos	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	Bacterias totales/ml	Tipo de agua	Nivel de contaminación
Catarobios	0	0	0	Cataróbica	Nada contaminada
Oligosaprobios	1-3	5-12	<100.000	Oligosapróbica	Poco contaminada
α-Mesosaprobios	3-7	12-20	100.000-500.000	α-Mesosapróbica	Medianamente contaminada
β-Mesosaprobios	7-15	20-35	500.000-2.000.000	β-Mesosapróbica	Muy contaminada
Polisaprobios	15-100	35-100	>2.000.000	Polisapróbica	Fuertemente contaminada



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

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

## 5.5 SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LAS AGUAS

Normalmente, el agua natural es válida para cualquier uso sin necesidad de tratamiento especial, excepto para consumo como agua potable, en cuyo caso es necesario un tratamiento de potabilización más o menos intenso.

Las aguas residuales, resultantes de las actividades humanas, salvo excepciones, deben ser tratadas antes de ser devueltas al medio natural mediante tratamiento de depuración.

### TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CONSUMO: POTABILIZACIÓN

La potabilización es el conjunto de procesos que transforman a las aguas naturales en aptas para el consumo, es decir, potables. En ella se eliminan o ajustan las concentraciones de sus componentes para que no supongan un factor de riesgo para la salud y no tengan características organolépticas repulsivas.

#### Proceso de potabilización

La potabilización de agua comprende dos tipos de tratamiento:

- **Eliminación de sólidos en suspensión:** se utilizan procesos físicos y/o químicos. Los principales son:
  - Desbaste-tamización: se eliminan los materiales más gruesos por medio de rejillas y tamices.
  - Decantación o sedimentación: se eliminan las partículas sólidas en suspensión, añadiendo en el agua reactivos (como sulfato de aluminio) para favorecer la formación de agregados de partículas y favorecer la sedimentación.
  - Filtración: para eliminar las partículas más finas, olores y sabores, se emplean filtros de arena y grava o de carbón activo.
- **Desinfección:** se eliminan los microorganismos patógenos. Se pueden utilizar tratamientos químicos con cloro u ozono, o físicos, mediante calor o radiaciones ultravioletas. La cloración es el método más común y más barato, pero tiene el inconveniente del olor que produce, por eso cada vez es más frecuente la utilización de ozono, más caro, pero elimina los olores y tiene mayor poder oxidante.

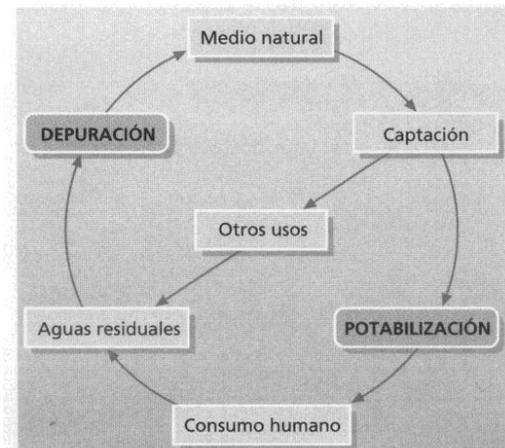
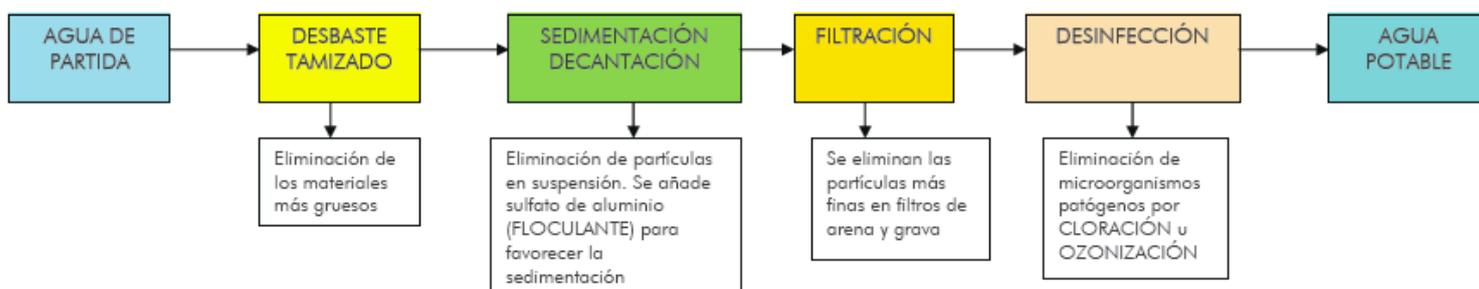


Figura 6. Tratamientos del agua: potabilización y depuración.

#### ESQUEMA DE LOS PROCESOS UTILIZADOS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA



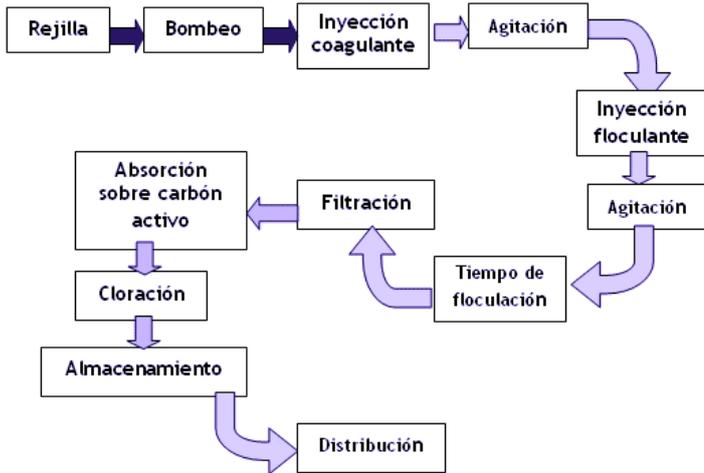
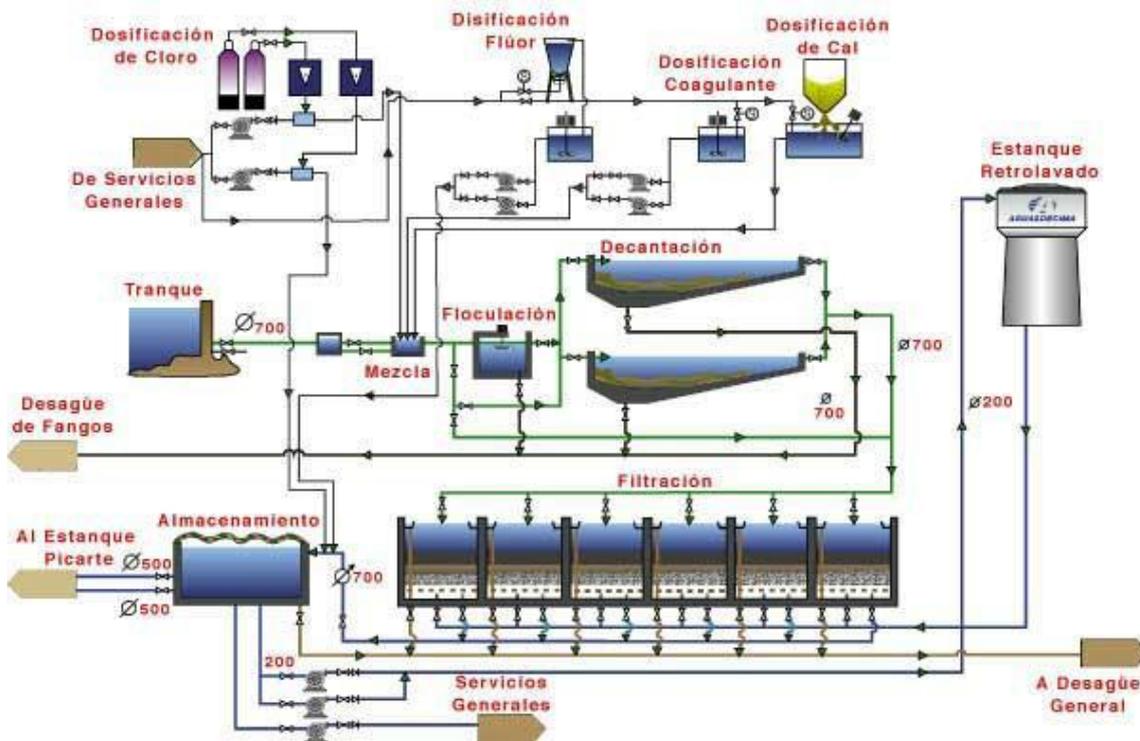


Tabla 2. Unidades de un proceso tipo de potabilización y su función (línea de agua)

Proceso	Función
Desbaste	Eliminación de sólidos de pequeño y mediano tamaño
Coagulación-floculación	Desestabilización de partículas para favorecer la formación de floculos de elevado tamaño capaces de sedimentar o quedar retenidas en la filtración
Decantación	Separación por gravedad de los floculos formados y otros sólidos en suspensión. Tratamiento opcional no siempre presente
Filtración	Retención de todo tipo de partículas de pequeño tamaño y de los floculos en caso de no existir decantación
Desinfección	Supresión de microorganismos
Tratamiento de afino	Eliminación de compuestos orgánicos y organoclorados (que dan sabor y olor al agua) u otros compuestos que atraviesan los filtros, mediante carbón activado. Tratamiento opcional no presente en todas las potabilizadoras



## DEPURACIÓN DE LAS AGUAS

### Depuración natural o autodepuración

Es un mecanismo que tienen las aguas naturales, mediante la sedimentación de partículas y de procesos químicos y biológicos que degradan la materia orgánica y la convierten en inorgánica, que servirá de nutriente a las algas y gracias a su actividad fotosintética, enriquecen las aguas con O<sub>2</sub>.

### DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las plantas depuradoras tienen como finalidad concentrar, eliminar o reducir los contaminantes, y por tanto preservar el medio ambiente y evitar problemas sanitarios, devolviendo a la cuenca receptora el agua con mínimas alteraciones que permitan su rápida autodepuración. Son necesarios los tratamientos previos de aguas residuales industriales, de laboratorios y hospitales que aporten materiales no biodegradables, microorganismos o reactivos. Se realizan en el lugar de origen.

## Procesos de depuración de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.)

1. **Pretratamiento:** consiste en la eliminación de los materiales más gruesos (trapos, botellas, compresas, etc,...) utilizando filtros de mallas gruesas, y posteriormente se procede a un desarenado y desengrasado, para eliminar grasas, aceites, pelos o fibras que permanezcan flotando.

2. **Tratamiento primario:** el agua sucia se traslada a un decantador primario, donde las partículas que no hayan sido eliminadas en el pretratamiento, se depositan por gravedad. Se pueden emplear floculantes para facilitar la sedimentación.

3. **Tratamiento secundario o biológico:** el agua contaminada es trasladada a estanques de oxidación, donde microorganismos aerobios, mezclados con el oxígeno inyectado descomponen la materia orgánica biodegradable no retirada en procesos anteriores. Uno de los procesos más empleados es el de los **fangos activos**, que emplea reactores biológicos, tanques donde el agua residual es aireada y agitada, mezclada con floculos de bacterias que oxidan la materia orgánica.

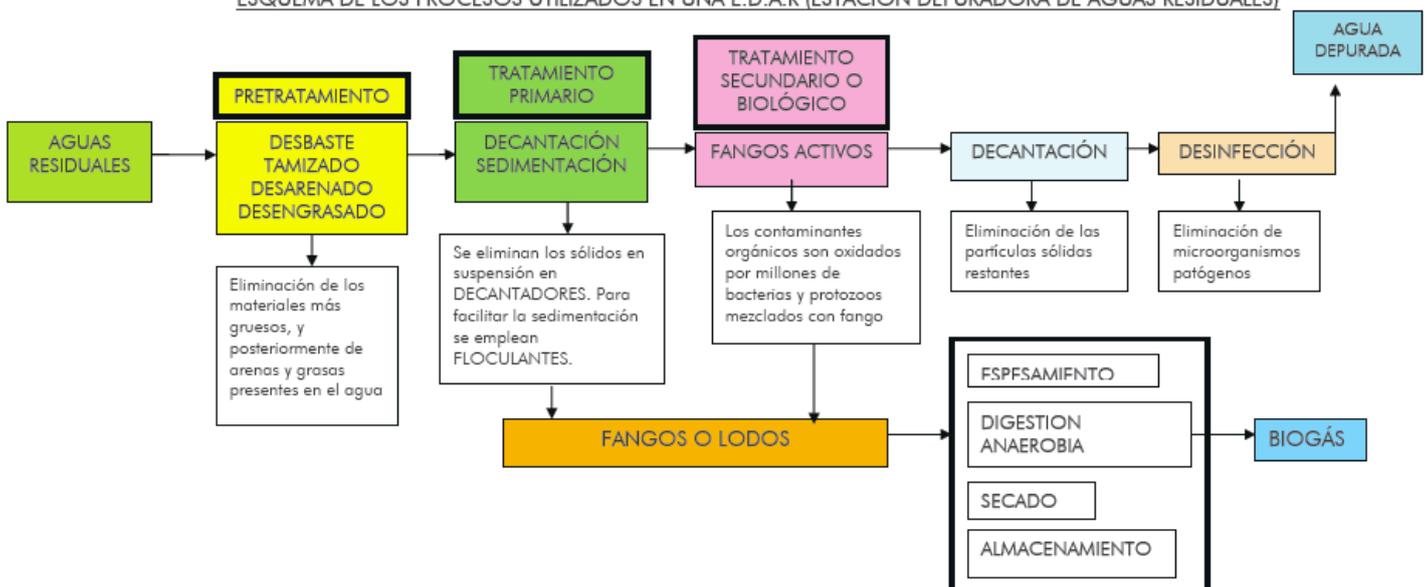
Los fangos generados formados por partículas y bacterias sedimentan en decantadores secundarios, parte de ellos se recirculan a los reactores biológicos, y otra parte reciben diferentes tratamientos posteriores.

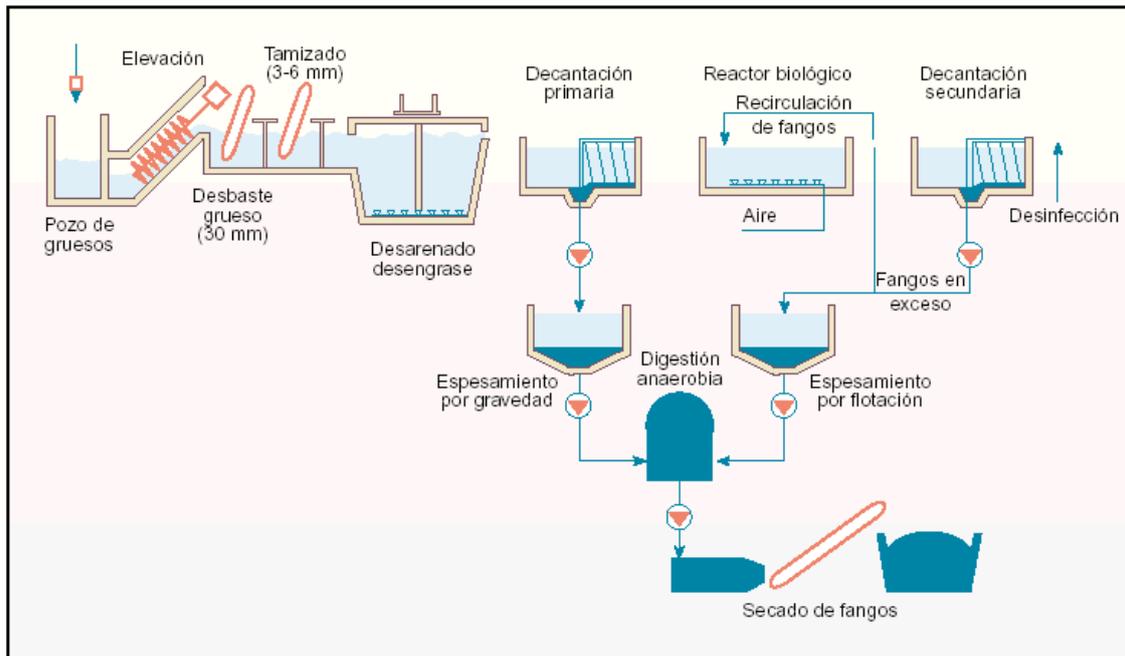
4. **Desinfección:** consiste en una higienización del agua, destinada a la eliminación de gérmenes, mediante cloración, ozonización o radiación ultravioleta de la misma. Se realiza al final del tratamiento primario

Los fangos o lodos generados en los depurados son tratados de forma individual y separada del agua (**línea de fangos**). El **tratamiento de lodos o fangos** requiere varios procesos: espesamiento, digestión anaerobia, deshidratación y almacenamiento. La digestión anaerobia de los fangos se realiza en digestores, y es llevada a cabo por bacterias anaerobias que fermentan los fangos y producen biogás (mezcla de gases, entre ellos metano), que se emplea como combustible en el funcionamiento de la EDAR.

Algunas depuradoras llevan a cabo un **tratamiento terciario**, destinado a eliminar ciertos contaminantes que permanecen después del tratamiento secundario, como metales pesados, fósforo, o nitrógeno, procedentes de la industria y la agricultura.

ESQUEMA DE LOS PROCESOS UTILIZADOS EN UNA E.D.A.R (ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES)





**Tabla 1. Unidades de un proceso tipo de depuración y su función (línea de agua)**

Proceso	Objeto
Desbaste	Eliminación de objetos voluminosos y sólidos de tamaño medio o grande
Desarenado-desengrasado	Eliminación de material inorgánico (arenas y arcillas) por sedimentación y grasas, emulsiones y objetos flotantes de pequeño tamaño (colillas, envoltorios de caramelos, restos de preservativos) que atraviesen el sistema de desbaste
Decantación primaria	– Sedimentación por gravedad de sólidos en suspensión – Disminución de parte de la contaminación orgánica
Tratamiento biológico	Reducción de contaminación orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo)
Decantación secundaria	– Sedimentación de flóculos (lodo o fango) generados en el tratamiento biológico – Retroalimentación de microorganismos al tratamiento biológico mediante la recirculación de fango activado
Canal de cloración	Desinfección del efluente en caso de epidemias

### **ACTIVIDADES**

**1.- Define de forma clara** los siguientes conceptos (máximo cuatro líneas cada concepto):

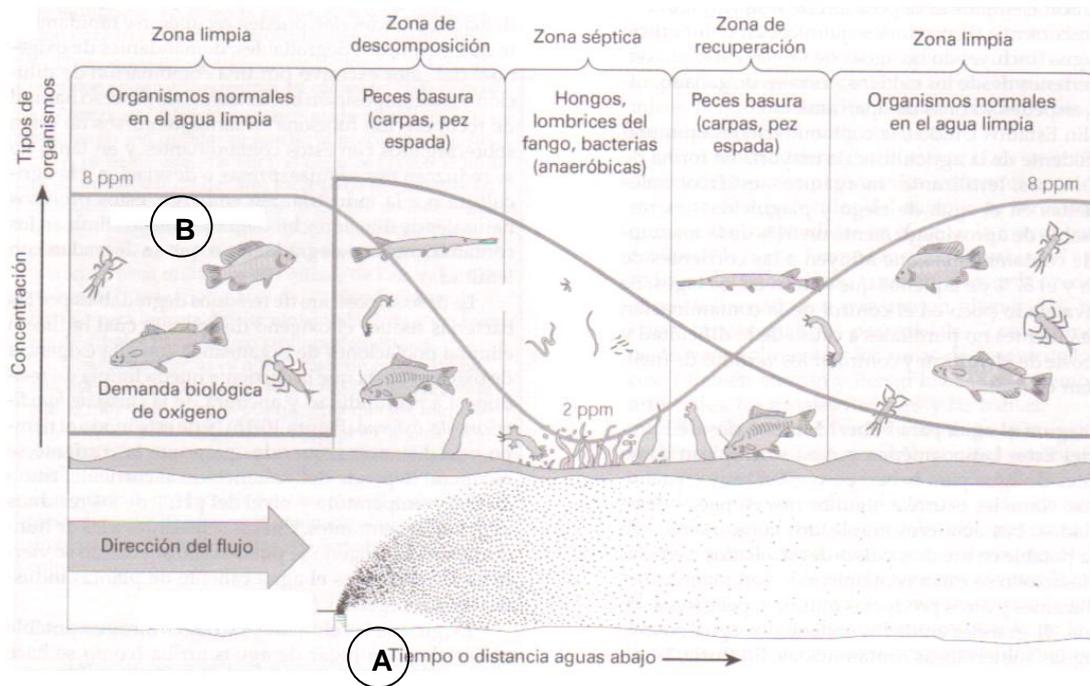
- Bioindicador
- Eutrofización
- Marea negra

**2.** Explica el concepto de eutrofización e indica dos posibles medidas para minimizar y corregir este problema de contaminación.

**3. Indica** cómo se clasifican los distintos tipos de contaminantes posibles en el agua, **citando** un ejemplo de cada uno.

4. ¿Dónde y cómo se realiza la potabilización del agua? **Describe brevemente** las líneas de tratamiento de aguas.
- 5.- Define el concepto de contaminación e indica cuáles son los tipos generales de contaminación del agua, citando un ejemplo de cada uno de ellos y de algunas de las fuentes de contaminación que los generan.
6. ¿En qué consiste la autodepuración del agua? Describirlo brevemente
7. Explica el concepto de calidad del agua. Indica los principales parámetros de calidad del agua según su naturaleza.
8. **1ª Pregunta** – En la India, las aguas residuales se vierten directamente al Ganges y otros ríos. La población usa esta misma agua para beber, cocinar y lavarse.
- Explique en qué consiste la contaminación natural del agua.
  - ¿En qué se diferencian la DBO y la DQO?
  - Cite las etapas del proceso de eutrofización de un lago.
  - Indique cómo podría reducirse el consumo de agua en los sectores: urbano, agrícola e industrial. Nombrar dos medidas para cada sector..

9.



- ¿Qué fenómeno representa el dibujo esquemático? ¿Qué ha ocurrido en el punto designado por "A"?
- ¿Qué representa la curva señalada por "B"? ¿Por qué sufre una reducción severa en las zonas de "descomposición" y "séptica"?
- Define el concepto de autodepuración. ¿Cuándo podemos considerar que ha finalizado el proceso de autodepuración?
- El esquema muestra numerosos organismos (peces, crustáceos, anélidos,...) en cada una de las zonas. ¿Crees que resultan útiles para la detección de este tipo de procesos? Razona tu respuesta.

**10. Bloque 2.** El agua, recurso imprescindible para la vida.

1. Atendiendo al criterio de reutilización del agua, ¿qué tipos de uso del agua existen? Cita dos ejemplos de cada uno de ellos.
2. ¿En qué consiste el fenómeno conocido como “marea negra”? Dentro de este contexto, ¿qué se entiende por biorremediación? ¿En qué proceso biológico se basa?
3. ¿Qué es una EDAR? ¿Cuántos niveles o tipos de tratamientos de aguas se pueden llevar a cabo en una EDAR? Cítalos y explica cuál es el objetivo general de cada uno de ellos.

**11. Opción B.** El agua como recurso.

- 1.- Atendiendo al criterio de reutilización, ¿qué tipos de uso del agua existen? Cita dos ejemplos de cada uno de ellos.
- 2.- ¿Qué clases de parámetros existen para medir la calidad del agua? Pon un ejemplo para cada tipo.
- 3.- Propón una medida para reducir el consumo de agua en el ámbito doméstico, otra en la agricultura y otra en la industria.

- 12.-** Cita y comenta los tres impactos que pueden sufrir las aguas subterráneas.