

El agua es una de las fuentes elementales de la vida y la calidad del agua es reflejo de la calidad de todo el medio natural. Sin agua las actividades económicas no pueden mantenerse ni desarrollarse de manera sostenible. La planificación hidrológica debe ser la base de la ordenación del territorio, puesto que el agua es el elemento de mayor importancia para las actividades humanas. Hay que poner freno a la tendencia actual a consumir cada vez más agua para conseguir unos mayores beneficios económicos, en perjuicio de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos.

6.1 EL AGUA, UN RECURSO BÁSICO

EL AGUA ES IMPRESCINDIBLE PARA EL MANTENIMIENTO DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

- Más del 70% de la superficie terrestre está ocupada por la hidrosfera. El agua de la hidrosfera está sometida a un continuo reciclado (→ Ciclo del agua, Tema 5) movido por la energía del Sol y considerado como un gran sistema de depuración natural.
- El agua ha sido siempre el principal vehículo empleado por el hombre para la eliminación de los residuos generados por su actividad. El desarrollo económico descontrolado y el aumento de la población ha incrementado de tal manera el impacto del hombre sobre la hidrosfera que ha superado ampliamente su capacidad de auto-depuración y ha traído como consecuencia la pérdida de calidad y, por lo tanto, la disminución del agua como recurso.
- La contaminación del agua es, según la Ley de Aguas, “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”. Para la OMS, el agua está contaminada cuando su composición es alterada de modo que no conserva las propiedades que le corresponden a su estado natural.

EL AGUA ES UN RECURSO RENOVABLE PERO LIMITADO

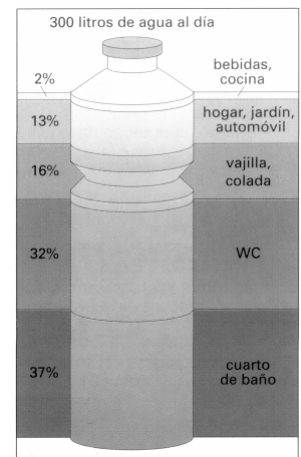
- El agua es un factor determinante para el desarrollo de la vida.
- El agua es un recurso limitado, puesto que la cantidad disponible viene condicionada por su desigual distribución en el espacio y en el tiempo (figura 12.1, pág. 354).
- El hombre ha ido aumentando sus requerimientos de agua, hasta el punto de poner en peligro la supervivencia de los ecosistemas acuáticos, debido a:
 - El aumento de la población y de la calidad de vida (figura 12.2, pág. 355).
 - La mayor demanda en las actividades agrícolas, ganaderas e industriales.
- Al incremento de consumo hay que añadir el problema de la contaminación del agua, que hace disminuir notablemente las cantidades disponibles de este recurso.
- Las soluciones planteadas hasta ahora (construcción de embalses, desviación de cauces, etc.) suponen elevados costes económicos y medioambientales, por lo que deben plantearse nuevas soluciones que lleven a un uso racional y sostenible de este recurso básico.
- Las nuevas soluciones deben ir encaminadas a aumentar la eficiencia en el uso del agua mediante:
 - El reparto solidario del agua disponible.
 - El empleo de nuevas tecnologías que garanticen el reciclado y la reutilización del agua.
 - El fomento del ahorro.

LOS USOS DEL AGUA PUEDEN SER CONSUNTIVOS O NO CONSUNTIVOS

- El uso consuntivo se da cuando el agua empleada para realizar una actividad ya no puede ser utilizada de nuevo (actividades agrícolas, urbanas o industriales), en caso contrario el uso es no consuntivo (usos energéticos, recreativos o ecológicos).
- Por otro lado, los usos primarios son aquellos en los que es imprescindible el empleo de agua dulce y los secundarios aquellos en los que es prescindible.

USOS CONSUNTIVOS

- Usos urbanos (10% del total mundial)
 - Cubren las necesidades en el hogar, en los comercios y en los servicios públicos.
 - Procede principalmente de embalses y de aguas subterráneas.
 - La cantidad demandada está relacionada directamente con el nivel de vida y el desarrollo económico.
 - Las necesidades mínimas para el consumo humano requieren 15 l/día.
 - En España se consumían en 1993 unos 300 litros por persona al día (figura 12.6, pág. 358).
- Usos industriales (25% del total mundial)
 - Puede usarse como materia prima (industria química), como agente refrigerante (industria energética), como depósito de vertidos, como transporte de materiales y como medio de limpieza.
 - La cantidad demandada está relacionada directamente con el desarrollo industrial.
- Usos agrícolas (65% del total mundial)
 - Incluye el agua empleada para el riego y otras prácticas agrícolas.
 - Estos usos vienen condicionados por las características climáticas de la zona, los tipos de suelos y cultivos, la mecanización agrícola y los sistemas de riego (la eficiencia en todo el mundo es inferior al 40%).



USOS NO CONSUNTIVOS

- Usos energéticos
 - Principalmente la empleada en la producción de energía hidroeléctrica (en España un 40% de la energía eléctrica total se produce en centrales hidráulicas).
- Usos en navegación y ocio
 - Aunque es un uso no consuntivo, la navegación puede provocar pérdida de calidad que restrinja su utilización posterior. En España sólo es navegable el último tramo del río Guadalquivir.
 - También el uso recreativo puede generar problemas relacionados con vertidos y pérdida de la calidad del agua que condicione otras aplicaciones.
- Usos ecológicos y medioambientales
 - Destinados a mantener el equilibrio en el ecosistema acuático y en su dinámica. Tiene como objetivo el mantenimiento del paisaje, la recarga de acuíferos y evitar el estancamiento del agua.

6.2 MEJORA DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA

EL AGUA ES UN BIEN COMÚN QUE DEBE SER PROTEGIDO

CARTA EUROPEA DEL AGUA

Estrasburgo 6 de Mayo de 1968

1. No hay vida sin agua. El agua es un bien precioso, indispensable para todas las actividades humanas.
2. Los recursos del agua no son inagotables. Es indispensable conservarlos, controlarlos y, si es posible, acrecentarlos.
3. Alterar la calidad del agua significa atentar contra la vida de los hombres y del resto de los seres vivos que dependen de ella.
4. La calidad del agua ha de mantenerse al nivel adecuado para los usos previstos y ha de satisfacer especialmente las exigencias de la salud pública.
5. Cuando el agua, una vez utilizada, vuelve a su medio natural, no ha de comprometer los usos posteriores, tanto públicos como privados, que se pueden hacer de ella.
6. El mantenimiento de una cobertura vegetal apropiada, preferentemente forestal, es esencial para la conservación de los recursos del agua.
7. Los recursos de agua han de ser inventariados.
8. La correcta gestión hidráulica ha de ser objeto de un plan establecido por las autoridades competentes.
9. La conservación de los recursos hidráulicos implica un importante esfuerzo de investigación científica, de formación especializada y de información pública.
10. El agua es un patrimonio común, cuyo valor todos tienen que conocer. Cada persona tiene el deber de ahorrarla y de usarla con cuidado.
11. La gestión de los recursos hidráulicos debería llevarse a cabo en el marco de la cuenca natural, preferentemente al de las fronteras administrativas y políticas.
12. El agua no tiene fronteras. Es un bien común que requiere la cooperación internacional.

EL BALANCE HÍDRICO DE UNA REGIÓN SE ESTABLECE COMPARANDO LAS ENTRADAS Y LAS SALIDAS DE AGUA

- Las entradas se deben a las precipitaciones. Las salidas son debidas a la evapotranspiración y la escorrentía (superficial y subterránea).

$$P = ED + I + EVT$$

P =precipitaciones; ED =escorrentía directa o superficial; I =infiltración o escorrentía subterránea; EVT =evapotranspiración; $ED + I = ET$ (escorrentía total)

- La escorrentía total representa los recursos hídricos potencialmente explotables por la humanidad.
- Para analizar el aumento o la disminución de los recursos hídricos disponibles en una región concreta durante un periodo determinado se deben tener en cuenta igualmente las entradas y salidas de agua en la zona:

Agua disponible	=	Agua existente (Embalses, acuíferos)	+	Aportes de agua (Precipitación, ríos)	-	Agua que sale de la zona (Evaporación, ríos, consumo)
Al final del periodo		Al inicio del periodo		Entradas y salidas durante el periodo		

EL HOMBRE INFLUYE EN EL CICLO HIDROLÓGICO PARA AFRONTAR LOS DESEQUILIBRIOS EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

- Con una regulación de la cantidad de agua de escorrentía y de las precipitaciones, mediante su acumulación en presas y embalses, se pueden afrontar épocas de escasez de agua (desequilibrio temporal); con una adecuación del consumo de los recursos hídricos disponibles (p.e. el empleo adecuado de sistemas de riego) se pueden solucionar los desequilibrios en la distribución espacial.
- Las acciones humanas más destacadas en la actualidad son:
 - Construcción de presas y embalses
 - Explotación y rellenado de acuíferos.
 - Recolección del rocío y acumulación en depósitos subterráneos.
 - Trasvase de unas cuencas hidrográficas a otras.
 - Desalación de agua de mar o de agua salobre.
- Otras intervenciones que se pretenden hacer en el futuro son:
 - Cobertura de presas para evitar pérdidas por evaporación.
 - Formación de lluvia artificial mediante el “acelerador hidrológico” o el empleo de aviones para “sembrar” núcleos de condensación en las nubes.

MEDIANTE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA SE PRETENDE CONSEGUIR UN USO SOSTENIBLE DEL AGUA

- Las prácticas actuales de consumo de agua, sobre todo en los países más desarrollados, nos conducen inexorablemente a una situación insostenible cuya consecuencia fundamental será la escasez de este elemento.
- Las medidas que se pueden tomar para mejorar la gestión del agua (planificación hidrológica) se pueden reunir en tres apartados: medidas de carácter general, medidas de carácter técnico y medidas de carácter político.
- Medidas de carácter general:
 - Reducción de consumo en el sector agrícola.
 - Cambios en los sistemas de riego: empleo de sistemas de riego mas eficientes como el riego por impulsos (en lugar del riego continuo) o el riego por goteo. Se pueden conseguir reducciones en el consumo de hasta el 50%.
 - Mejora en las prácticas de gestión del agua: control de suministros o aumento de tarifas agrícolas para evitar el despilfarro.
 - Reducción del consumo en la industria.
 - Reciclado del agua que se emplea en refrigeración.
 - Aplicación de diseños de ingeniería que reduzcan el flujo de agua y eviten pérdidas.
 - Incentivar el empleo en las industrias de tecnologías de bajo consumo y menos contaminantes.
 - Reducción del consumo urbano.
 - Empleo de instalaciones de bajo consumo.
 - Adopción de precios del agua más acordes con su verdadero coste.
 - Aplicación de paisajismo xerofítico (empleo de especies autóctonas más resistentes a la sequía).
 - Reutilización de aguas residuales domésticas, previa depuración, en la agricultura o en el riego de parques y jardines.
 - Educación ambiental mediante campañas de sensibilización y concienciación ciudadana.

- Soluciones de carácter técnico.

Dado su elevado coste económico y/o medioambiental, sólo deben emprenderse cuando las medidas de carácter general sean insuficientes para afrontar épocas de escasez.

- Construcción de embalses para laminar el caudal, controlar las crecidas, abastecer de agua a las poblaciones, la industria y la agricultura, generar electricidad e, incluso, para ser empleados en el ocio.
- Construcción de trasvases que exporten agua de una cuenca hidrográfica con excedentes a otra deficitaria (se trata de una solución muy polémica).
- Actuaciones sobre los cursos de los ríos para restaurar los daños que hayan sufrido (limpieza y acondicionamiento del cauce, revegetación de las riberas, ...).
- Desalación del agua de mar (o de aguas salobres) para obtener agua potable. Existen diversos procedimientos:
 - Procedimientos térmicos (evaporación y condensación). Existen diversas técnicas como la de evaporación de múltiple efecto, la evaporación multietapa (figura 12.20, pág. 365 o la compresión por vapor.
 - Procedimientos de filtración mediante membranas, como la ósmosis inversa o la electrodiálisis.
- Control de la explotación de acuíferos para evitar los problemas derivados de su sobreexplotación (agotamiento, subsidencias, salinización, ...). En casos extremos se puede recurrir al rellenado de los acuíferos si las características del terreno y las condiciones climáticas lo permiten.

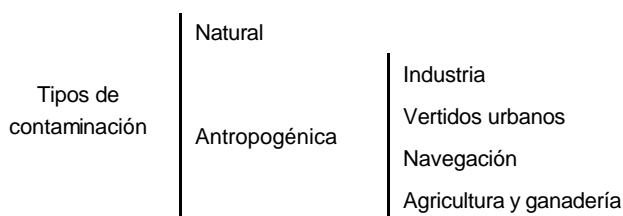
- Soluciones de carácter político.

- Promulgación de leyes que regulen el consumo de agua y la gestión de la misma y garantizar su cumplimiento.
- Conferencias internacionales que traten de dar una respuesta global al problema de la escasez del agua.

6.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

- Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana.
- El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.
- La degradación de las aguas viene de antiguo y en algunos lugares, como la desembocadura del Nilo, hay niveles altos de contaminación desde hace siglos; pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo.
- Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en sucias cloacas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes. Con la industrialización y el desarrollo económico este problema se ha ido trasladando a los países en vías de desarrollo, a la vez que en los países desarrollados se producían importantes mejoras.

LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA PUEDE SER DE ORIGEN NATURAL O PROVOCADA POR EL HOMBRE



- La contaminación natural es difusa y se debe al arrastre de partículas o de gases atmosféricos por las gotas de lluvia, a pólenes, esporas, hojas secas u otros residuos vegetales y a excrementos de peces o de aves acuáticas. La capacidad natural de autodepuración hace que sean eliminados en su mayor parte.
- La autodepuración es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar de un modo natural en una masa de agua y que tienden a destruir todos los contaminantes incorporados a la misma.
- La contaminación producida por el hombre es puntual, ya que se origina en un foco emisor determinado y afecta a una zona concreta.

- Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica:
 - Industria. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante.
 - Vertidos urbanos. La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc.
 - Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.
 - Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

LAS CARACTERÍSTICAS DEL RECEPTOR, LA ZONA EN LA QUE SE ENCUENTRA Y LOS USOS PREVIOS DEL AGUA PUEDEN REDUCIR O AGRAVAR EL PROCESO DE CONTAMINACIÓN

- En relación con las características del receptor:
 - Las aguas subterráneas están más protegidas que las superficiales, por lo que éstas últimas se contaminan con mayor facilidad, aunque también son más fáciles de depurar.
 - Cuanto mayor sea el volumen de agua del receptor mayor es su capacidad de absorber la contaminación (se diluye más).
 - Si el agua está previamente contaminada su capacidad de absorber la contaminación será menor.
 - Las aguas más turbulentas dispersan mejor los contaminantes que las más estáticas.
 - La presencia de ciertos organismos puede favorecer la depuración.
- Respecto a las características de la zona en la que se localiza el receptor:
 - En las zonas de elevada pluviosidad aumenta el caudal del receptor y, por tanto, su capacidad de dispersar la contaminación.
 - El relieve abrupto favorece una dinámica más turbulenta y facilita la dispersión.
- En cuanto a los usos previos del agua del receptor:
 - Hay que considerar el tipo y cantidad de vertidos que el agua ha tenido que soportar con anterioridad y si existen o no sistemas de depuración.

LOS CONTAMINANTES PUEDEN SER FÍSICOS, QUÍMICOS O BIOLÓGICOS

- Se considera contaminante a cualquier sustancia química, ser vivo o forma de energía que aparezca en proporciones superiores a las consideradas normales.

Contaminantes	Fuente contaminante	Efectos
Virus, bacterias, protozoos, nemátodos.	Aguas negras domésticas. Drenaje de granjas.	Hepatitis, poliomielitis (virus). Tifus, cólera, disentería (bacterias). Disentería (protozoo ameba). Esquistosomiasis (nemátodos)
Materia orgánica en suspensión.	Aguas negras domésticas. Granjas e instalaciones agrícolas.	Agotamiento del oxígeno y muerte de los animales. Aguas putrefactas y malolientes.
Productos químicos inorgánicos: Ácidos, sales que contienen metales pesados (mercurio, plomo y cadmio).	Residuos industriales. Escorrentía urbana.	Defectos congénitos (mercurio, plomo y cadmio). Se acumulan en los niveles superiores de las cadenas tróficas (peces).
Exceso de fertilizantes inorgánicos (fosfatos y nitratos solubles).	Escorrentía de campos cultivados.	Crecimiento excesivo de algas, eutrofización de ríos y lagos. Acumulación de materia orgánica muerta, cuya descomposición elimina el oxígeno disuelto y, por lo tanto, la vida animal.
Productos químicos orgánicos: petróleo, gasolina, aceites, plásticos, plaguicidas, solventes orgánicos, etc.	Residuos industriales. Escorrentía urbana y rural. Aguas domésticas.	Desde trastornos leves de la salud hasta diversos tipos de cáncer. También pueden producir alteraciones genéticas.
Sedimentos insolubles, lodos, etc.	Erosión del suelo. Residuos urbanos e industriales.	Enturbia el agua, impide la fotosíntesis, destruye los fondos, rellena los embalses y lagos.
Sustancias radiactivas.	Instalaciones nucleares	Defectos genéticos, cáncer.
Calor	Refrigeración de industrias (especialmente centrales eléctricas).	Aumenta la temperatura y disminuye el oxígeno disuelto. Los seres vivos son más vulnerables a agentes tóxicos o patógenos.

- Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos:

① Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños (tabla 9.4, pág. 264). Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas.

② Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

③ Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

④ Nutrientes vegetales inorgánicos. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

⑤ Compuestos orgánicos. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

⑥ Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, rías y puertos.

⑦ Sustancias radiactivas. Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

⑧ Contaminación térmica. El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

- ① y ② son contaminantes biológicos; ③, ④ y ⑤ son contaminantes químicos; y ⑥, ⑦ y ⑧ son contaminantes físicos.

LA EUTROFIZACIÓN ES LA PRINCIPAL CONSECUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS LAGOS

- Como consecuencia de la contaminación de ríos y lagos se alteran su fauna y su flora naturales y sus aguas adquieren un aspecto y olor desagradables, dejando de ser útiles para la mayoría de los usos.

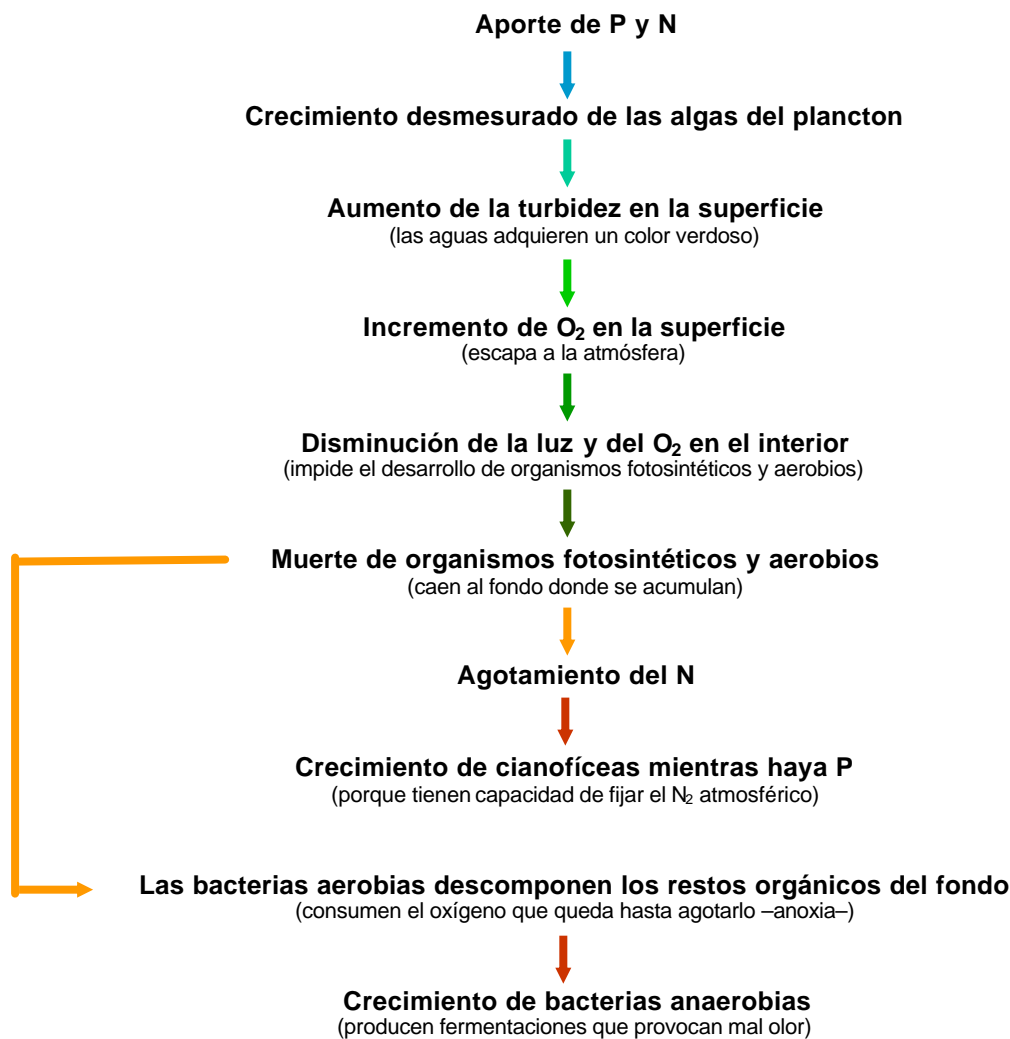
- Los ríos, por su dinámica, pueden contrarrestar mejor la contaminación. Sin embargo en los lagos el problema adquiere una mayor magnitud y el equilibrio natural se altera con más facilidad, provocando que algunas especies desaparezcan mientras que otras se desarrollan en exceso.

- Un buen ejemplo de cómo la contaminación puede alterar el equilibrio natural de una masa de agua es el proceso conocido como eutrofización.

- La eutrofización es el proceso por el que las aguas se enriquecen en derivados del nitrógeno y fosfatos que sirven de nutrientes a cierto grupo de algas y bacterias. Estos derivados ricos en fósforo y nitrógeno provienen de los vertidos de las aguas de ciudades y pequeñas industrias.

- En principio se podría pensar que este enriquecimiento en algas podría resultar beneficioso para el resto de los organismos del lago, embalse o río, pero no es así. La razón es que estas algas proliferan muy rápidamente, se sitúan en la superficie del agua e impiden que la luz del Sol llegue a zonas más profundas. Esto hace que otras

plantas y animales no puedan desarrollarse normalmente. Se agota el oxígeno en el interior y la putrefacción de la materia orgánica que se acumula en el fondo provoca malos olores.



- Las principales medidas encaminadas a la prevención y la corrección del problema de la eutrofización son:
 - Limitar o prohibir vertidos domésticos y agrícolas en ecosistemas acuáticos reducidos o con escasa dinámica.
 - Depurar las aguas residuales antes de su devolución al receptor.
 - Disminuir el contenido de los polifosfatos de los detergentes.
 - Inyectar O_2 puro en lagos y embalses afectados.
 - Añadir nitrógeno al agua para evitar el crecimiento de algas cianofíceas.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS TIENEN UNA ESCASA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN

- Las aguas subterráneas constituyen un recurso hídrico importante que en la actualidad se encuentra seriamente amenazado por problemas como la contaminación, las sobreexplotación y la salinización.

En España el 30% de la población y el 25% de la superficie agrícola de regadío se abastece de las aguas subterráneas

- La contaminación de las aguas subterráneas puede ser puntual (relacionada con un vertedero o una fosa séptica, por ejemplo) o difusa (relacionada con la infiltración del agua de riego con fertilizantes y pesticidas en una zona agrícola, por ejemplo).
- Aunque las aguas subterráneas se contaminan con mayor dificultad que las superficiales, una vez contaminadas el problema es más difícil de detectar y corregir (margen pág. 268).

- Puesto que la depuración de las aguas subterráneas es difícil y muy costosa, el mejor método de protección es la prevención. Entre las medidas que se pueden adoptar para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas podemos citar:
 - Controlar los posibles focos de contaminación para evitar que los contaminantes puedan llegar al acuífero.
 - Estudiar la ubicación de los posibles focos de contaminación, situándolos en zonas en las que el acuífero esté protegido por capas impermeables (planificación del territorio).
 - Controlar la cantidad de fertilizantes y pesticidas que se emplean en la agricultura.
- La sobreexplotación de un acuífero se ocasiona al extraer agua en cantidad superior a la capacidad de recarga, lo que provoca una disminución del nivel freático. Cuando tiene lugar en zonas costeras provoca el fenómeno de "intrusión salina", en el que el agua del mar invade el acuífero sobreexplotado provocando su salinización. La concentración elevada de sales inutiliza el agua para usos domésticos y agrícolas. En España este problema es especialmente grave en la región mediterránea como consecuencia de las escasas precipitaciones.

LOS MARES Y LOS OCÉANOS POSEEN UNA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN MUCHO MAYOR QUE LA DE RÍOS, LAGOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Los mayores niveles de contaminación se alcanzan en mares cerrados y con escasa dinámica, como es el caso del Mar Mediterráneo, cuyas aguas tardan mucho tiempo en renovarse.
- Las principales fuentes de contaminación de los mares son los ríos contaminados, los vertidos incontrolados y los petroleros y plataformas petrolíferas.

Anualmente se vierten al mar entre tres y cuatro millones de toneladas de petróleo. El 12% proviene de accidentes de petroleros y el resto de la limpieza de tanques, de barcos y de vertidos de refinerías e industrias.

- Las mareas negras provocadas por accidentes en petroleros o en plataformas petrolíferas son causantes de graves desastres ambientales porque producen vertidos de masas de petróleo muy concentradas y forman manchas de gran extensión.
- Para combatir las mareas negras podemos aplicar medidas preventivas como:
 - Elaboración de reglamentaciones y leyes.
 - Exigencia de buques de doble casco para el transporte de crudo y sustancias peligrosas.
- Como medidas correctoras para atenuar los efectos tras un desastre podemos citar:
 - Aislamiento mediante flotadores, geles y otros absorbentes.
 - Empleo de bacterias que degraden el petróleo (como *pseudomonas*).
 - Combustión del petróleo, aunque esta medida contamina la atmósfera con SO₂ y NO_x y genera problemas de lluvia ácida.

6.4 PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA

LA CALIDAD DEL AGUA SE DEFINE EN FUNCIÓN DEL USO A QUE VA A SER DESTINADA

- Para medir la calidad del agua se emplean diversos parámetros e índices que permiten cuantificar el grado de alteración de sus características naturales.
- Se pueden distinguir parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Entre los parámetros físicos destacan:
 - Transparencia o turbidez. Varía en función de la presencia de partículas sólidas o microorganismos.
 - Propiedades organolépticas (color, sabor y olor), que dependen de la presencia de materia orgánica.
 - Conductividad eléctrica, relacionada con la cantidad de sales disueltas.
- Los parámetros químicos son los más útiles para determinar la calidad del agua. Los más utilizados son:
 - Oxígeno disuelto. Las aguas superficiales limpias están saturadas de oxígeno, pero su cantidad se reduce drásticamente se realizan vertidos de materia orgánica.
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es una prueba que mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos en un determinado volumen de agua en un plazo fijo de tiempo de tiempo (5 días en la DBO₅), a una temperatura estándar (20°C) y en la oscuridad. Nos indica la materia orgánica presente en el agua, porque cuanto más hay, más activas estarán las bacterias aerobias, y más oxígeno se consumirá. Por tanto si la DBO es alta indica contaminación y mala calidad del agua y al revés.
 - La demanda química de oxígeno (DQO) mide la cantidad de O₂ necesaria para oxidar los compuestos presentes en el agua, sin la participación de los seres vivos.
 - COT: contenido total de carbono.

Cuando se produce un vertido orgánico la relación DBO/DQO es mayor que 0,6, mientras que si el vertido es inorgánico la relación es menor que 0,2.

Por otro lado, podemos considerar que la relación DBO/DQO=1/2 denota un grado satisfactorio de biodegradabilidad, mientras que una relación DBO/DQO inferior a 1/2, permite sospechar la presencia de sustancias tóxicas que retardan o inhiben la biodegradabilidad (metales pesados, cianuros, cloro, etc.).

- El pH; las reacciones químicas y biológicas dependen del pH, y la actividad biológica normal en el agua se desarrolla en unos valores de pH que oscilan entre 6 y 8,5.
- La dureza se debe a la presencia de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y se mide como la concentración de CaCO_3 . Las aguas duras suponen ciertos riesgos para la salud (aumenta la probabilidad de formación de cálculos renales) e incrementa el consumo de jabón y de energía en ciertos procesos industriales.

Se considera que las aguas son blandas cuando $[\text{CaCO}_3] < 50 \text{ mg/l}$ y duras cuando $[\text{CaCO}_3] > 200 \text{ mg/l}$. La OMS recomienda para el consumo aguas en las que la concentración se encuentre entre 100 y 500 mg/l)

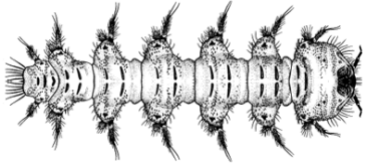
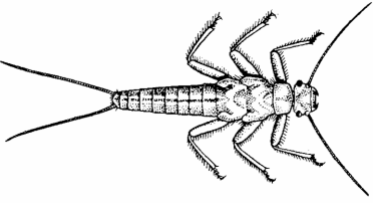
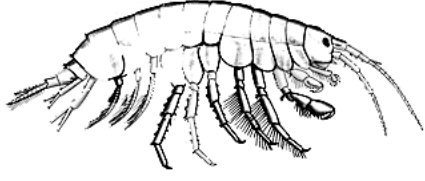
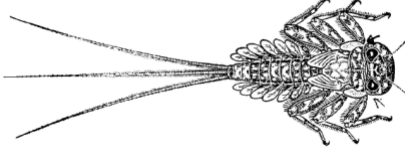
- La presencia de nitrógeno en sus diferentes formas. La presencia de N orgánico y amoníaco indica una contaminación reciente.

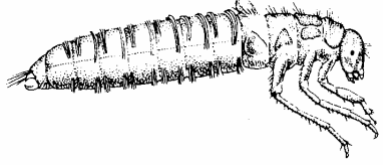
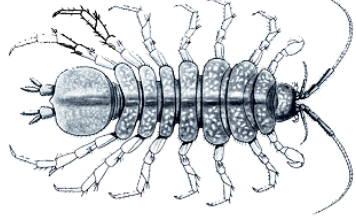
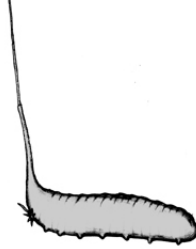
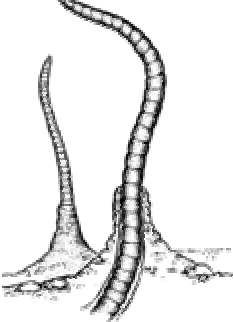
	Agua no contaminada	Contaminación débil	Contaminación fuerte
OD (mg/l)	7	5	3
DBO (mg/l)	<5	5 - 20	20 - 50
DQO (mg/l)	20 - 40		40 - 80

- Los parámetros biológicos indican la cantidad y tipos de microorganismos presentes en el agua. La presencia de ciertos microorganismos es responsable de la turbidez del agua, de ciertos olores, colores y sabores, y de la transmisión de ciertas enfermedades.

Un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

- Los indicadores biológicos de contaminación se basan en la presencia de ciertos organismos típicos que son capaces de vivir en zonas de diferente grado de contaminación. También pueden considerar el grado de diversidad de especies o el número de individuos de cada especie.

Blefarocéridos (larvas de dípteros)		Aguas muy limpias y fuertemente oxigenadas.
Perlas (ninfas de plecópteros)		Aguas limpias y oxigenadas.
Gammarus (crustáceo anfípodo)		Aguas limpias y aireadas.
Efímeras (ninfas de efemerópteros)		Resisten aguas ligeramente contaminadas.

Frigáneas (larvas de tricópteros)		Aguas con niveles medios de oxígeno y ligeramente contaminadas
Asellus (crustáceo isópodo)		Aguas contaminadas
Colas de rata (larvas de dípteros)		Aguas carentes de oxígeno y contaminadas.
Tubifex (gusanos oligoquetos)		Aguas pobres en oxígeno y muy contaminadas.

- Los índices compuestos se obtienen aplicando fórmulas que contemplan varios parámetros y permiten valorar la calidad del agua de una forma global.

6.5 EL CICLO URBANO DEL AGUA

EL CICLO URBANO DEL AGUA CONSTA DE TRES FASES: CAPTACIÓN, POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN

- El agua que se utiliza en las poblaciones recorre un ciclo: se toma del medio natural y, una vez usada y depurada, se reintegra de nuevo al medio.
- El ciclo urbano del agua se desarrolla en cinco etapas:
 - Captación (aducción): el 60% del agua captada en Francia proviene de capas subterráneas, pero también se la puede bombear en los lagos, arroyos y ríos. El bombeo del agua se realiza en función de la demanda y velando siempre por la preservación de las reservas naturales. Las zonas de captación están protegidas y vigiladas para limitar los riesgos de contaminación.
 - Potabilización: en procesos sucesivos se filtra, se clarifica y se desinfecta para que sea potable.
 - Almacenamiento: una vez tratada, se envía a distintos lugares de almacenamiento (tanques, depósitos). Desde allí es distribuida por medio de grandes tuberías.
 - Utilización – Recuperación: una vez utilizada, el agua se recupera mediante el sistema de alcantarillado y es transportada hasta las estaciones de depuración.
 - Depuración: las estaciones de depuración descontaminan el agua sucia para poder restituirla al medio natural. Luego, los lodos de depuración se tratan y valorizan en parte.

EL AGUA NATURAL NO ES ADECUADA PARA EL CONSUMO HUMANO

- El agua natural debe ser sometida a una serie de tratamientos y procesos que la conviertan en agua potable, carente de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas y de sabor, olor o color desagradables.

- La potabilización se realiza en las ETAP (Estaciones de Tratamiento de Agua Potable) (figura 9.25, pág. 277) y consta de dos tipos de procesos:
 - Tratamiento global: eliminación de partículas en suspensión. Se realiza mediante decantación (manteniendo el agua en reposo y, en ocasiones, añadiendo floculantes que aglutinan las partículas) y filtrado (haciendo pasar el agua por lechos de arena). También se airea el agua, para eliminar gases que pueda contener y mejorar sus características organolépticas.
 - Tratamiento especial: desinfección (usando cloro, cloraminas, ozono o radiaciones ultravioleta), neutralización (ajuste del pH) y ablandamiento (ajuste de la dureza).

LAS AGUAS RESIDUALES SON DEPURADAS ANTES DE SER DEVUELTAS AL MEDIO NATURAL

Según la Directiva europea –de obligado cumplimiento por los países miembros– de depuración de aguas (91/271/CEE) antes del 31 de diciembre del año 2000 deben depurar sus aguas residuales todas las poblaciones de más de 15.000 habitantes y antes del 31 de diciembre del año 2005 todas las poblaciones de más de 2.000 habitantes.

- Existen sistemas de depuración naturales (lagunaje, filtros verdes), poco costosos y basados en los procesos naturales de autodepuración, y tecnológicos (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, EDAR), que requieren personal especializado y grandes inversiones en instalaciones y equipos. Los primeros se conocen también como procesos de tecnología blanda y los segundos de tecnología convencional o dura.
- El lagunaje consiste en la construcción de lagunas artificiales en las que se retiene el agua que va a ser depurada durante un tiempo suficiente como para que sedimenten las partículas en suspensión y que los microorganismos degraden la materia orgánica. Dependiendo de la profundidad y extensión de las lagunas se favorecen los procesos de descomposición aerobios (lagunas aerobias), anaerobios (lagunas anaerobias) o ambos (lagunas facultativas).
- Los filtros verdes consisten en una extensión de terreno donde se realiza un cultivo, frecuentemente de chopos, que periódicamente se inundan con aguas residuales.
- Las EDAR son imprescindibles cuando el volumen de agua que hay que depurar es grande, como es el caso de las aguas residuales de las poblaciones grandes (más de 50.000 habitantes), sin embargo, su elevado coste dificulta su aplicación en países con escasos recursos económicos.
- En una estación depuradora convencional se pueden distinguir: la línea de agua (recorrido del agua residual), la línea de fangos, lodos o biosólidos, que resultan de la concentración de los contaminantes presentes, y la línea de gas, generado en el tratamiento de lodos o fangos (figura 9.30, pág 279).
- La línea de agua incluye los siguientes procesos:
 - Pretratamiento: separación de sólidos en suspensión o flotantes de gran tamaño y densidad para proteger la depuradora. Se realiza por desbaste o retención (mediante rejillas), desarenado (haciendo circular el agua por cámaras a velocidades controladas) y desengrasado (por un procedimiento semejante al anterior). Los materiales separados en el pretratamiento se depositan en contenedores para su transporte a vertederos.
 - Tratamiento primario: procesos que separan por medios físicos o físico-químicos las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento. Se realiza en los decantadores primarios, que son tanques, frecuentemente circulares, con mecanismos de arrastre y extracción de grasas y fangos (figura 9.28, pág. 279).

La decantación es un proceso físico provocado por la acción de la gravedad, que hace que las partículas más pesadas que el agua sedimenten.

Se elimina materia orgánica (25% aprox.) y sólidos en suspensión (hasta un 70%). Para aumentar el rendimiento se suelen echar sales de aluminio para que por floculación precipite la materia orgánica. Finalmente existen procesos de neutralización o ajuste de pH que permiten los tratamientos biológicos posteriores.

- Tratamiento secundario: conjunto de procesos biológicos complementados con un sistema de decantación secundario para eliminar la materia orgánica. Se trata de favorecer el desarrollo de bacterias aerobias que, tras alimentarse de la materia orgánica, desprenderán agua y CO₂. Si las colonias bacterianas se desarrollan sobre flóculos en suspensión en el agua la técnica se denomina de lodos activados y si es sobre masas materiales de gran superficie se denomina de lechos bacterianos. Ambas técnicas necesitan de aireación forzada.
- Tratamiento terciario: consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos

orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales: para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etc.

- Desinfección: procesos encaminados a la eliminación de agentes patógenos (virus, bacterias, ...) mediante cloración, ozonización, ...
- La línea de fangos está formada por el conjunto de procesos a los que se somete a los fangos (lodos) que se han producido en la línea de agua. Comprende los siguientes procesos:
 - Espesamiento de fangos: reduce el volumen de los mismos eliminando la mayor parte del agua.
 - Estabilización de fangos: se elimina la materia orgánica que quede por vía aerobia (aireando los fangos) o anaerobia (más frecuente por ser más económica).
Los digestores anaeróbicos son depósitos cerrados en los que se mantiene un tiempo a los lodos procedentes de la fase aeróbica de la depuradora. En ellos las bacterias fermentan la materia orgánica y se liberan CO₂ y CH₄, que constituyen el denominado biogas, que se puede utilizar como combustible en algunos procesos industriales.
 - Acondicionamiento químico mediante la adición de ciertas sustancias.
 - Deshidratación, para eliminar el agua que quede mediante secado, prensado o centrifugación.

Los productos de este proceso pueden ser trasladados a vertederos, incinerados o utilizados como compost (producto de la fermentación controlada de la materia orgánica que se utiliza como abono). Los dos últimos destinos son controvertidos y sería necesario plantearse alternativas.

- Línea de gas: el gas obtenido en la digestión de los fangos puede emplearse para suministrar parte de la energía que necesita la planta depuradora o quemarse en una antorcha.

LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PERMITE DETECTAR CON RAPIDEZ LA ALTERACIÓN DEL AGUA Y SU ORIGEN

- Existen redes de control formados por estaciones de muestreo en las que periódicamente se analizan hasta 40 parámetros para conocer la calidad de las aguas. Recientemente se han puesto en marcha estaciones automatizadas que realizan permanentemente análisis y transmiten los resultados a estaciones de control.
- Estas redes permiten localizar con rapidez la existencia de vertidos no autorizados y tomar rápidamente las medidas para su corrección.

Según la Ley de Aguas de 1985 se entiende por vertido autorizado aquel que la Administración permite bajo unas determinadas condiciones. La Administración impone un canon a las empresas que realizan estos vertidos, es decir, el pago de un impuesto que se destina a la protección y mejora del medio receptor.

6.6 LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA

EN ESPAÑA EL AGUA ES UN BIEN NACIONAL Y SU GESTIÓN CORRESPONDE AL ESTADO

- En España el balance hídrico es negativo como consecuencia de un excesivo consumo de agua. Existe un déficit del orden de 3.000 hm³, aunque hay diferencias entre unas cuencas y otras y entre unos años y otros.
- La Ley de Aguas de 1985 (modificada en 1999) promueve la protección de un recurso escaso, al mismo tiempo que declara de dominio público la totalidad de las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, y prevé la puesta en marcha de un proceso de planificación hidrológica.
- La Ley de Aguas establece que la planificación hidrológica se realizará a través de los Planes Hidrológicos de cuenca y el Plan Hidrológico Nacional.
- La administración Central se encarga de redactar el Plan Hidrológico Nacional (PHN), que define la política hidráulica del Estado. El PHN está integrado por los Planes Hidrológicos de cuenca, elaborados por las Confederaciones Hidrográficas de Cuenca (u Organismos de Cuenca según la reciente Ley de Aguas), que conceden los permisos para los diferentes usos del agua y son responsables del mantenimiento y protección de los embalses y de las cuencas de captación de agua.
- Los objetivos de la planificación hidrológica son, según la Ley de Aguas:
 - Incrementar la disponibilidad del recurso.
 - Proteger la calidad del agua.
 - Racionalizar los usos del agua en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.
 - Satisfacer las demandas de agua de los españoles.