

Autor: Luis Echarri  
 Asignatura: Población, ecología y ambiente  
 2007

<b>Tema 8 Contaminación del agua</b> .....	<b>1</b>
Alteraciones físicas del agua .....	1
Alteraciones químicas del agua .....	3
Alteraciones biológicas del agua .....	4
Substancias contaminantes del agua.....	5
Clasificación de la calidad de las aguas.....	6
a) Clasificación para consumo humano.- .....	6
b) Clasificación para baño y usos deportivos .....	6
c) Otras clasificaciones de calidad de las aguas .....	7
Contaminación de mares y costas.....	8
Costas .....	9
Aguas libres .....	9
Eutrofización .....	9
Petróleo en el mar .....	11
Cantidad y origen del petróleo vertido al mar .....	12
Evolución de las manchas de petróleo.....	14
Efectos de la contaminación con petróleo .....	16
Depuración de los vertidos .....	17
Tipos de tratamiento. ....	17
Niveles de tratamiento .....	18
Líneas de tratamiento en las EDAR .....	19
Tratamientos especiales: eliminación de N y P.....	20
Contaminación de las aguas subterráneas .....	20
Anexo I: El mar Báltico en peligro.....	24
Anexo II: Eutrofización de los Grandes Lagos .....	25

## Tema 8 Contaminación del agua

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 arrojamamos 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.

### *Alteraciones físicas del agua*

<b>Alteraciones físicas</b>	<b>Características y contaminación que indica</b>
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los

	<p>compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.</p> <p>Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación</p>
Olор y sabor	<p>Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.</p> <p>Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.</p>
Espumas	<p>Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.</p>
Conductividad	<p>El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C</p>

## Alteraciones químicas del agua

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
pH	<p>Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO<sub>2</sub> disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO<sub>2</sub> formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.</p>
Oxígeno disuelto OD <sup>1</sup>	<p>Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.</p>
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	<p>DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.</p>
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.</p>
Nitrógeno total	<p>Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total</p>

	Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.
Fósforo total	El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.
Aniones: cloruros nitratos nitritos fosfatos sulfuros cianuros fluoruros	indican salinidad indican contaminación agrícola indican actividad bacteriológica indican detergentes y fertilizantes indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.) indican contaminación de origen industrial en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.
Cationes: sodio calcio y magnesio amonio metales pesados	indica salinidad están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica; (se estudian con detalle en el capítulo correspondiente)
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.

### ***Alteraciones biológicas del agua***

<b>Alteraciones biológicas del agua</b>	<b>Contaminación que indican</b>
Bacterias coliformes <sup>2</sup>	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos

Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización
---	---------------

## ***Substancias contaminantes del agua***

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.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, 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.

**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, al ser productos fabricados por el hombre, 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.

Origen de la contaminación de las aguas

### **Clasificación de la calidad de las aguas**

Hay muchos sistemas de clasificar la calidad de las aguas. En primer lugar se suele distinguir según el uso que se le vaya a dar (abastecimiento humano, recreativo, vida acuática).

Hay directivas comunitarias que definen los límites que deben cumplir un amplio número de variables físicas, químicas y microbiológicas para que pueda ser utilizada para consumo y abastecimiento (75/440/CEE), baño y usos recreativos (76/160/CEE) y vida de los peces (78/659/CEE) y están traspuestas en la legislación española en el R. D. 927/1988 de 29 de julio.

#### **a) Clasificación para consumo humano.-**

Las aguas se clasifican en cuatro grupos (ver cuadro) según su calidad para el consumo humano. Para hacer esta clasificación se usan unos 20 parámetros de los que los más importantes son: DQO, DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NTK, conductividad, Cl<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, recuentos microbiológicos y algunos metales (Fe, Cu, Cr).

<b>Tipo</b>	<b>Clasificación de las aguas para consumo humano</b>
A1	Aguas potabilizables con un tratamiento físico simple como filtración rápida y desinfección.
A2	Aguas potabilizables con un tratamiento físico-químico normal, como precloración, floculación, decantación, filtración y desinfección.
A3	Potabilizable con un tratamiento adicional a la A2, tales como ozonización o carbón activo.
A4	Aguas no utilizables para el suministro de agua potable, salvo casos excepcionales, y con un tratamiento intensivo.

#### **b) Clasificación para baño y usos deportivos**

De forma similar se determina la aptitud de las aguas para el baño y uso deportivo. En este caso hay que fijarse, sobre todo, en los recuentos microbiológicos, el porcentaje de saturación de oxígeno, y en menor medida, presencia de aceites y grasas y otros caracteres organolépticos (olor, sabor, etc.). Para determinar la aptitud de las aguas para la vida piscícola influye mucho la concentración de nitritos y también el amoníaco no

ionizado, que es muy tóxico para los organismos acuáticos, aún a bajas concentraciones; y también, aunque menos, la DBO<sub>5</sub>, amonio, hidrocarburos disueltos y metales (Pb, Cu, Zn) presentes.

### c) Otros clasificaciones de calidad de las aguas

Hay otras formas de definir la calidad de las aguas que se utilizan según lo que interese conocer. Se puede también determinar y clasificar las aguas según un índice de calidad físico-químico. Ejemplos de índices utilizados son:

**ICG** (índice de calidad general), muy utilizado en todo el estado español.

Otra posibilidad es analizar el nivel de mineralización de las aguas por análisis de **conductividad**.

Desde el punto de vista biológico suele interesar clasificar las aguas según el tipo y cantidad de microorganismos presentes o aplicar **índices bióticos**, como el BMWP, o **índices de diversidad** que indican la riqueza ecológica de ese tramo del río. Hay modelos, como el **SCAF**, que determinan el tipo de "ambiente ecológico" de la estación analizada, lo que permite hacer estudios de comparación o determinar que impactos negativos sobre el ecosistema pueden estar afectando a la calidad del río.

**Índice biótico BMWP'** (Biological Monitoring Working Party) de Hellawell modificado por Alba & Sánchez para la Península Ibérica. Con él se determina un índice que suele tener valores entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar el 200.

**Modelo SCAF.**- Se basa en la teoría de la sucesión ecológica. Determina el estado ambiental combinando los índices de diversidad y el índice biótico BMWP'.

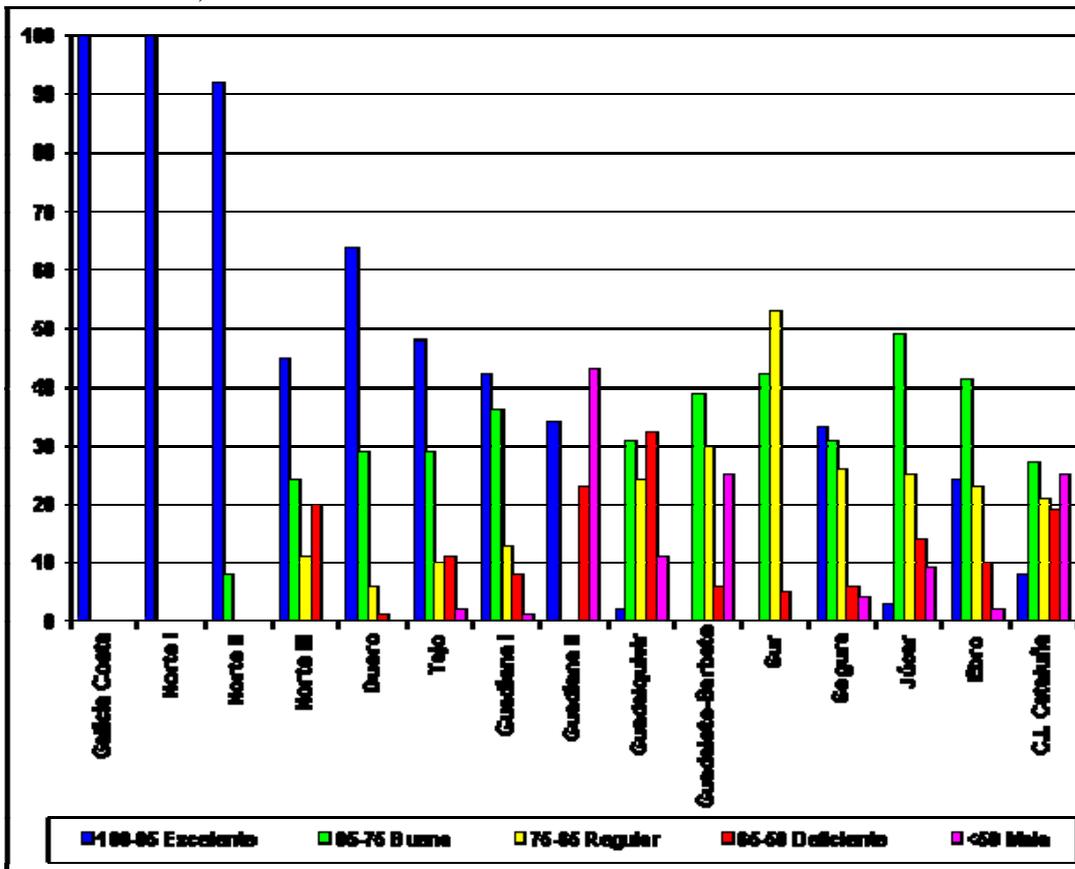
Con este modelo se determinan los distintos tipos de estado ambiental del ecosistema. A cada tipo le corresponderán, a su vez, unos usos potenciales

Figura de calidad de los Ríos



Mapa de calidad de los ríos

**Síntesis de la situación actual de la calidad de las aguas en función de los valores del Índice de Calidad General (porcentaje de tramos según calidad respecto del total de cada cuenca).**



### **Contaminación de mares y costas**

El vertedero final para una gran parte de nuestros desechos es el océano. A él van a parar gran parte de los vertidos urbanos e industriales. No sólo recibe las aguas residuales, sino que, en muchas ocasiones, se usa para arrojar las basuras o, incluso, los residuos radiactivos.

El 80% de las sustancias que contaminan el mar tienen su origen en tierra. De las fuentes terrestres la contaminación difusa es la más importante. Incluye pequeños focos como tanques sépticos, coches, camiones, etc. y otros mayores como granjas, tierras de cultivo, bosques, etc. Los accidentes marítimos son responsables de alrededor de un 5% de los hidrocarburos vertidos en el mar. En cambio, una ciudad de cinco millones de habitantes acaba vertiendo en un año la misma cantidad que derramó el Exxon Valdez en su accidente en Alaska.

Aproximadamente un tercio de la contaminación que llega a los mares empieza siendo contaminación atmosférica pero después acaba cayendo a los océanos.

En los fondos oceánicos hay, en este momento, decenas de miles de barriles con sustancias como plutonio, cesio o mercurio, resultado de décadas de uso del océano como vertedero para grandes cantidades de desechos. Por ejemplo, como consecuencia de los accidentes sufridos por diversos barcos de guerra desde 1956 hasta 1989, ocho reactores nucleares completos, con todo su combustible, y 50 armas nucleares, se encuentran en el fondo de diversos mares del globo.

El exceso de aporte de nutrientes causa eutrofización en grandes zonas marítimas. En la desembocadura del Mississippi, por ejemplo, una zona de unas 4000 millas cuadradas, en las costas de Texas y Louisiana, ha perdido gran parte de su fauna como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes continuado por el excesivo crecimiento de las algas y del empobrecimiento en oxígeno provocado por la putrefacción de estas algas.

Alrededor del 60% de las especies viven en la franja de 60 Km más próxima a la costa. Todos ellos se ven especialmente afectados por la contaminación que afecta a los mares y océanos, especialmente en la cercanía de las costas, lo que es especialmente importante teniendo en cuenta que, según algunos cálculos, procede de las costas algo más de la mitad de todos los servicios que la naturaleza, en su conjunto, provee a la humanidad (que en un estudio hecho en 1987 se evaluaron en 21.500 miles de millones de dólares)

La capacidad **purificadora** de las grandes masas de agua marina es muy grande. En ellas se diluyen, dispersan o degradan ingentes cantidades de aguas fecales, hidrocarburos, desechos industriales e, incluso, materiales radiactivos. Por este motivo es muy tentador recurrir al barato sistema de arrojar al mar los residuos de los que queremos deshacernos; pero en muchos lugares, los excesos cometidos han convertido grandes zonas del mar en desiertos de vida o en cloacas malolientes.

Para saber más ver: El mar Báltico en peligro.

## Costas

Las zonas costeras son las que más han sufrido la actividad humana. Una gran parte de la población mundial vive cerca de las costas. Por ejemplo, en Europa, alrededor del 30% de la población vive a menos de 50 km. de la costa; y en España, 12,5 millones de habitantes - número que aumenta considerablemente en verano-, viven en las ciudades situadas en los algo más de 8 000 km. de costa que tiene el país. Así se entiende que una gran parte de las orillas de los mares del mundo tengan graves problemas de contaminación.

Los **vertidos** son la principal fuente de contaminación de las costas. En la mayor parte de los países en vías de desarrollo y en muchos lugares de los desarrollados, los vertidos de las ciudades se suelen hacer directamente al mar, sin tratamientos previos de depuración.

Además, las zonas donde la renovación del agua es más lenta (marismas, estuarios, bahías, puertos) son las más maltratadas. En ellas es frecuente encontrar peces con tumores y graves enfermedades, o moluscos y crustáceos cuya pesca y consumo están prohibidos, porque contienen altas dosis de productos tóxicos.

## Aguas libres

Los efectos de los vertidos también se dejan sentir en las aguas libres de mares y océanos. Las grandes cantidades de **plástico** echadas al mar son las responsables de la muerte de muchas focas, ballenas, delfines, tortugas, y aves marinas, que quedan atrapadas en ellas o se las comen.

En algunos casos el exceso de **materia orgánica y de nutrientes** que hacen proliferar las algas, genera procesos de putrefacción tan fuertes, que se consume el oxígeno disuelto en el mar y los peces y otros organismos mueren, originándose grandes "zonas sin vida"

## Eutrofización

### Concepto de eutrofización

Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén bien repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más fácil los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

### **Agua eutrófica y oligotrófica**

Cuando un lago o embalse es pobre en nutrientes (oligotrófico) tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas como las truchas.

Al ir cargándose de nutrientes el lago se convierte en eutrófico. Crecen las algas en gran cantidad con lo que el agua se enturbia. Las algas y otros organismos, cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias con lo que se gasta el oxígeno. No pueden vivir peces que necesitan aguas ricas en oxígeno, por eso en un lago de estas características encontraremos barbos, percas y otros organismos de aguas poco ventiladas. En algunos casos se producirán putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores. Las aguas son turbias y de poca calidad desde el punto de vista del consumo humano o de su uso para actividades deportivas. El fondo del lago se va rellenando de sedimentos y su profundidad va disminuyendo.

### **Nutrientes que eutrofizan las aguas**

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas.

En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica. El nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o saltar al aire por evaporación del amoníaco o por desnitrificación. El fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión erosionadas o disuelto por las aguas de escorrentía superficiales.

En condiciones naturales entra a un sistema acuático menos de 1Kg de fosfato por hectárea y año. Con los vertidos humanos esta cantidad sube mucho. Durante muchos años los jabones y detergentes fueron los principales causantes de este problema. En las décadas de los 60 y 70 el 65% del peso de los detergentes era un compuesto de fósforo, el tripolifosfato sódico, que se usaba para "sujetar" (quelar) a los iones Ca, Mg, Fe y Mn. De esta forma se conseguía que estos iones no impidieran el trabajo de las moléculas surfactantes que son las que hacen el lavado. Estos detergentes tenían alrededor de un 16% en peso de fósforo. El resultado era que los vertidos domésticos y de lavanderías contenían una gran proporción de ion fosfato. A partir de 1973 Canadá primero y luego otros países, prohibieron el uso de detergentes que tuvieran más de un 2,2% de fósforo, obligando así a usar otros quelantes con menor contenido de este elemento. Algunas legislaciones han llegado a prohibir los detergentes con más de 0,5% de fósforo.

### **Fuentes de eutrofización**

a) Eutrofización natural.- La eutrofización es un proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, porque todos van recibiendo nutrientes.

b) Eutrofización de origen humano.- Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son:

- los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos
- los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

### **Medida del grado de eutrofización**

Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se suele medir el contenido de clorofila de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo y de nitrógeno y el valor de penetración de la luz.

### **Medidas para evitar la eutrofización**

Lo más eficaz para luchar contra este tipo de contaminación es disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos, etc. En concreto:

- Tratar las aguas residuales en EDAR (estaciones depuradoras de aguas residuales) que incluyan tratamientos biológicos y químicos que eliminan el fósforo y el nitrógeno.
- Almacenar adecuadamente el estiércol que se usa en agricultura.
- Usar los fertilizantes más eficientemente.
- Cambiar las prácticas de cultivo a otras menos contaminantes. Así, por ejemplo, retrasar el arado y la preparación de los campos para el cultivo hasta la primavera y plantar los cultivos de cereal en otoño asegura tener cubiertas las tierras con vegetación durante el invierno con lo que se reduce la erosión.
- Reducir las emisiones de NOx y amoníaco.

## ***Petróleo en el mar***

En nuestras sociedades el petróleo y sus derivados son imprescindibles como fuente de energía y para la fabricación de múltiples productos de la industria química, farmacéutica, alimenticia, etc.

Por otro lado, alrededor del 0,1 al 0,2% de la producción mundial de petróleo acaba vertido al mar. El porcentaje puede parecer no muy grande pero son casi 3 millones de toneladas las que acaban contaminando las aguas cada año, provocando daños en el ecosistema marino.

La mayor parte del petróleo se usa en lugares muy alejados de sus puntos de extracción por lo que debe ser transportado por petroleros u oleoductos a lo largo de muchos kilómetros, lo que provoca espectaculares accidentes de vez en cuando. Estas fuentes de contaminación son las más conocidas y tienen importantes repercusiones ambientales, pero la mayor parte del petróleo vertido procede de tierra, de desperdicios domésticos, automóviles y gasolineras, refinерías, industrias, etc.

Se han ensayado distintas técnicas para limitar o limpiar los vertidos del petróleo.

Pronto se comenzaron a usar detergentes y otros productos, pero en el accidente del Torrey Canyon se comprobó que los productos de limpieza utilizados habían causado más daño ecológico que el propio petróleo vertido. Actualmente se emplean productos

de limpieza menos dañinos y diferentes técnicas y maquinarias, como barreras flotantes, sistemas de recogida, etc., que en algunos casos pueden ser bastante eficaces, aunque no son la solución definitiva. Evitar la contaminación es la única solución verdaderamente aceptable.

### **Cantidad y origen del petróleo vertido al mar**

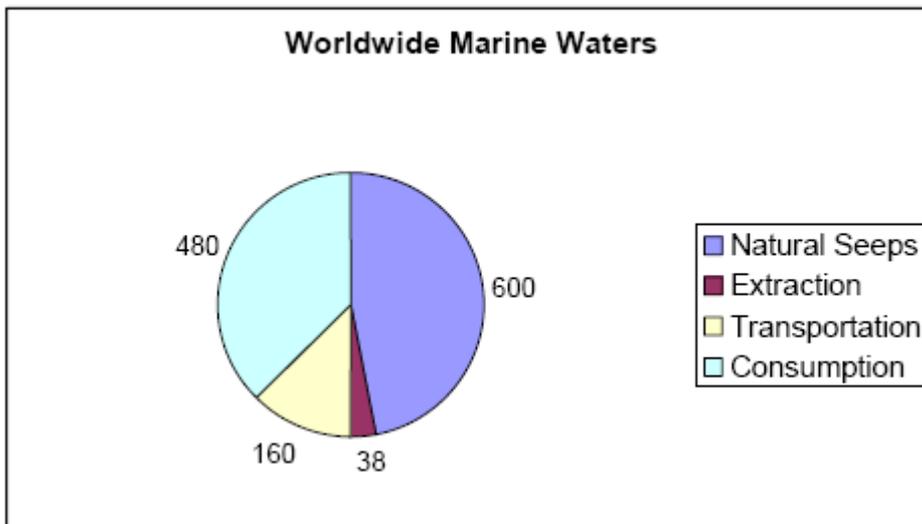
No es fácil calcular la cantidad y el origen de petróleo que llega al mar y, de hecho, sólo disponemos de valores poco exactos. Valores estimados según diversos estudios son:

<b>Año</b>	<b>Toneladas vertidas</b>
1973	6.110.000
1979	4.670.000
1981	3.570.000
1983	3.200.000
1985/1989	2.400.000

Entre los estudios que se han hecho destacan los de la National Academy of Sciences de los EEUU. Publicó su primer informe en 1975 (datos correspondientes al año 1973) y posteriormente otro en 1985 (con algunas cifras completadas en 1989). Con datos extraídos de estos informes, y de otras fuentes, se puede resumir que la cifra global de petróleo que llega al mar cada año es de unos 3.000.000 toneladas métricas (rango posible entre 1.7 y 8.8 millones de toneladas), y la procedencia de este petróleo vertido al mar sería:

Por causas naturales	10%
Desde tierra	64% (de ellas un 15 a un 30% por aire )
Por funcionamiento de petroleros	7%
Por accidentes	5%
Por explotaciones petroleo en mar	2%
Por otros buques	12%

En el informe publicado en 2003: Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects (2003) (ver resumen en [http://books.nap.edu/html/oil\\_in\\_the\\_sea/reportbrief.pdf](http://books.nap.edu/html/oil_in_the_sea/reportbrief.pdf) ) dan un resumen de datos recogido en esta tabla. Los datos vienen en miles de toneladas y se refieren a la media naua de la década entre 1990 y 1999



### Accidentes

El porcentaje vertido por accidentes es muy variable, pero lo podemos cifrar en alrededor de un 5%. Aunque en proporción no es la mayor fuente de contaminación, los desastres ambientales que originan son muy importantes, porque producen vertidos de masas de petróleo muy concentradas y forman manchas de gran extensión. En algunos accidentes se han llegado a derramar más de 400 000 toneladas, como en la rotura de una plataforma marina en el Golfo de México, en 1979. En la Guerra del Golfo, aunque no propiamente por accidente, sino por una combinación de acciones de guerra y sabotajes, se vertió aún mayor cantidad. Otros, como el vertido del Exxon Valdez, en 1989, en Alaska, pueden llegar a costas o lugares de gran interés ecológico y causar extraordinarias mortandades en pájaros, focas y todo tipo de fauna y flora.

<b>Vertidos de petróleo de más de 140 mil toneladas</b>			
<b>Año</b>	<b>Accidente</b>	<b>Lugar</b>	<b>Toneladas vertidas</b>
1991	Guerra del Golfo	Golfo Pérsico	816 000
1979	Plataforma Ixtoc I	Mexico	476 000
1983	Pozo petrolífero	Iran	272 000
1992	Oleoducto	Uzbekistan	272 000
1983	Petrolero Castillo de Bellver	Sudáfrica	267 000
1991	ABT Summer	Angola	260.000
1978	Petrolero Amoco Cadiz	Francia	234 000

1988	Petrolero Odyssey	Canadá	146 000
1979	Petrolero Atlantic Empress	Caribe	145 000
1991	Haven	Italia	144 000
1980	Pozo petrolífero	Libia	143 000
1979	Petrolero Atlantic Empress	Barbados	141 000
<b>Otros accidentes conocidos o que han sucedido en España</b>			
1967	Petrolero Torrey Canyon	Reino Unido	130 000
1994	Rotura de oleoducto	Rusia	104 000
1976	Petrolero Urquiola	La Coruña	95 000
1992	Petrolero Mar Egeo	La Coruña	71 000
2002	Prestige	Galicia	63 000
1989	Petrolero Exxon Valdez	Alaska	37 000

*Explicación: En el Anuario Internacional de Estadísticas sobre Vertidos Petrolíferos de 1996 venían recogidos 62 casos en los que se han derramado más de 3 400 toneladas (10 millones de galones). En el cuadro se recogen los accidentes con vertidos mayores de 140 000 toneladas y algunos otros casos de especial interés por sus consecuencias o por haber tenido lugar en las costas españolas.*

Más información en <http://www.itopf.com/stats.html>

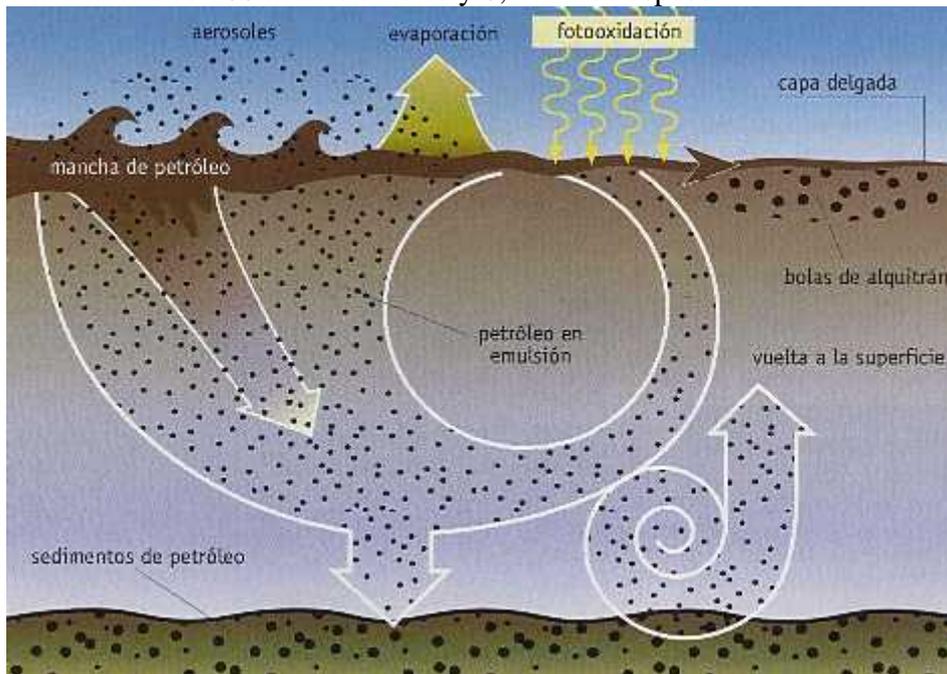
### **Lavado de tanques**

Durante mucho tiempo el lavado de tanques de los petroleros ha sido una de las prácticas más dañinas y que más contaminación por petróleo ha producido. Estos grandes buques hacían el lavado en los viajes de regreso, llenando los tanques con agua del mar que después vertían de nuevo al océano, dejando grandes manchas de petróleo por todas las rutas marítimas que usaban. En los últimos años una legislación más exigente y un sistema de vigilancia y denuncias más eficiente, han conseguido reducir de forma significativa estas prácticas, aunque, por unos motivos o por otros, los petroleros todavía siguen siendo un importante foco de contaminación.

### **Evolución de las manchas de petróleo**

El petróleo vertido se va extendiendo en una superficie cada vez mayor hasta llegar a formar una capa muy extensa, con espesores de sólo décimas de micrómetro. De esta

forma se ha comprobado que 1 m<sup>3</sup> de petróleo puede llegar a formar, en hora y media, una mancha de 100 m de diámetro y 0,1 mm de espesor.



#### *Evolución de las manchas de petróleo*

Una gran parte del petróleo (entre uno y dos tercios) se evapora. El petróleo evaporado es descompuesto por fotooxidación en la atmósfera.

Del crudo que queda en el agua:

- parte sufre fotooxidación;
- otra parte se disuelve en el agua, siendo esta la más peligrosa desde el punto de vista de la contaminación, y
- lo que queda forma el "mousse": emulsión gelatinosa de agua y aceite que se convierte en bolas de alquitrán densas, semisólidas, con aspecto asfáltico. Se ha calculado que en el centro del Atlántico hay unas 86 000 toneladas de este material, principalmente en el mar de los Sargazos que tiene mucha capacidad de recoger este tipo de material porque las algas, muy abundantes en esa zona, quedan enganchadas al alquitrán.

#### **Sistemas de limpieza de los vertidos de petróleo**

1. *Contención y recogida*: Se rodea el petróleo vertido con barreras y se recupera con raseras o espumaderas que son sistemas que succionan y separan el petróleo del agua por:
  - centrifugación, aprovechando que el agua es más pesada que el crudo se consigue que sea expulsada por el fondo del dispositivo que gira, mientras el petróleo es bombeado por la parte superior;
  - bombeo por aspiración
  - adherencia a tambor o discos giratorios, que se introducen en la mancha para que el crudo quede adherido a ellos, luego se desprende rascando y el petróleo que va quedando junto al eje de giro es bombeado a la embarcación de recogida
  - fibras absorbentes, en el que se usan materiales plásticos oleofílicos (que adhieren el petróleo) que actúan como una bayeta o "mopa" que absorbe petróleo, luego se exprime en la embarcación de recogida y vuelve a ser empleada para absorber más

Estas técnicas no causan daños y son muy usadas, pero su eficiencia, aun en las mejores condiciones, sólo llega a un 10 - 15%.

2. *Dispersantes*: Son sustancias químicas similares a los detergentes, que rompen el petróleo en pequeñas gotitas (emulsión) con lo que se diluyen los efectos dañinos del vertido y se facilita la actuación de las bacterias que digieren los hidrocarburos. Es muy importante elegir bien la sustancia química que se usa como dispersante, porque con algunas de las que se utilizaron en los primeros accidentes, por ejemplo en el del Torrey Canyon, se descubrió que eran más tóxicas y causaban más daños que el propio petróleo. En la actualidad existen dispersantes de baja toxicidad autorizados.
3. *Incineración*: Quemar el petróleo derramado suele ser una forma eficaz de hacerlo desaparecer. En circunstancias óptimas se puede eliminar el 95% del vertido. El principal problema de este método es que produce grandes cantidades de humo negro que, aunque no contiene gases más tóxicos que los normales que se forman al quemar el petróleo en la industria o los automóviles, es muy espeso por su alto contenido de partículas.
4. *Biodegradación*: En la naturaleza existen microorganismos (bacterias y hongos, principalmente) que se alimentan de los hidrocarburos y los transforman en otras sustancias químicas no contaminantes. Este proceso natural se puede acelerar aportando nutrientes y oxígeno que facilitan la multiplicación de las bacterias.
5. *Limpieza de las costas*: En ocasiones se usan chorros de agua caliente a presión para arrastrar el petróleo desde la línea de costa al agua. Este método suele hacer más mal que bien porque entierra el hidrocarburo más profundamente en la arena y mata todo ser vivo de la playa. Se usó extensamente en el accidente del Exxon Valdez debido a que la opinión pública exigía la limpieza y este método deja aparentemente la playa con un aspecto casi normal. Pero luego se comprobó que las zonas que se habían dejado para que se limpiaran de forma natural, al cabo de unos meses estaban en mejores condiciones que las que se habían sometido al tratamiento, demostrando que consideraciones estéticas a corto plazo no deben imponerse a planteamientos ecológicos más importantes a largo plazo.
6. *No hacer nada*: En los vertidos en medio del océano, o en aquellos en que la limpieza es difícil y poco eficaz, lo mejor es dejar que la acción de las olas, la fotooxidación y otras acciones naturales, acaben solucionando el problema.

## **Efectos de la contaminación con petróleo**

Los diversos ecosistemas reciben petróleo e hidrocarburos, en cantidades diversas, de forma natural, desde hace millones de años. Por esto es lógico que se encuentren muchos microorganismos capaces de metabolizar el petróleo y que sea frecuente el que muchos seres vivos sean capaces de eliminar el absorbido a través de la cadena alimenticia. No parece que es muy importante la amenaza de bioacumulación del petróleo y los productos relacionados en la cadena alimenticia, aunque en algunas ocasiones, en localidades concretas, puede resultar una amenaza para la salud, incluso humana.

Hay diferencias notables en el comportamiento de diferentes organismos ante la contaminación con petróleo. Los moluscos bivalvos (almejas, mejillones, etc.). por ejemplo, muestran muy baja capacidad de eliminación del contaminante y, aunque muchos organismos (algunos peces, por ejemplo) no sufren daños importantes con concentraciones del producto de hasta 1000 ppm, algunas larvas de peces se ven afectadas por niveles tan bajos como 1 ppm.

Las aves y los mamíferos se ven afectados por la impregnación de sus plumas y piel por el crudo, lo que supone su muerte en muchas ocasiones porque altera su capacidad de aislamiento o les impermeabiliza.

Los daños no sólo dependen de la cantidad vertida, sino también del lugar, momento del año, tipo de petróleo, etc. Un simple vertido de limpieza de tanques de un barco -el Styllis- mató en Noruega a 30 000 aves marinas en 1981, porque fue arrastrado directamente a la zona donde estas aves tenían sus colonias.

La mayoría de las poblaciones de organismos marinos se recuperan de exposiciones a grandes cantidades de petróleo crudo en unos tres años, aunque si el petróleo es refinado o la contaminación se ha producido en un mar frío, los efectos pueden durar el doble o el triple.

## ***Depuración de los vertidos***

La mayoría de los vertidos de aguas residuales que se hacen en el mundo no son tratados. Simplemente se descargan en el río, mar o lago más cercano y se deja que los sistemas naturales, con mayor o menor eficacia y riesgo, degraden los desechos de forma natural. En los países desarrollados una proporción, cada vez mayor, de los vertidos es tratada antes de que lleguen a los ríos o mares en EDAR (estaciones depuradoras de aguas residuales).

El objetivo de estos tratamientos es, en general, reducir la carga de contaminantes del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente. Para cumplir estos fines se usan distintos tipos de tratamiento dependiendo de los contaminantes que arrastre el agua y de otros factores más generales, como localización de la planta depuradora, clima, ecosistemas afectados, etc.

## **Tipos de tratamiento.**

Hay distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr retirar contaminantes. Se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. Entre ellos, los más usuales son:

### *a) Físicos*

- Sedimentación.
- Flotación.- Natural o provocada con aire.
- Filtración.- Con arena, carbón, cerámicas, etc.
- Evaporación.
- Adsorción.- Con carbón activo, zeolitas, etc.
- Desorción (Stripping). Se transfiere el contaminante al aire (ej. amoníaco).
- Extracción.- Con líquido disolvente que no se mezcla con el agua.

### *b) Químicos*

- Coagulación-floculación.- Agregación de pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, polielectrolitos, etc.)
- Precipitación química.- Eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico u otros que suben el pH.
- Oxidación-reducción.- Con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato potásico o reductores como el sulfito sódico.
- Reducción electrolítica.- Provocando la deposición en el electrodo del contaminante. Se usa para recuperar elementos valiosos.
- Intercambio iónico.- Con resinas que intercambian iones. Se usa para quitar dureza al agua.

- Osmosis inversa.- Haciendo pasar al agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos.
- c) *Biológicos*. Usan microorganismos que se nutren con diversos compuestos de los que contaminan las aguas. Los flóculos que se forman por agregación de microorganismos son separados en forma de lodos.
- Lodos activos.- Se añade agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias (burbujeo de aire o agitación de las aguas).
  - Filtros bacterianos.- Los microorganismos están fijos en un soporte sobre el que fluyen las aguas a depurar. Se introduce oxígeno suficiente para asegurar que el proceso es aerobio.
  - Biodiscos.- Intermedio entre los dos anteriores. Grandes discos dentro de una mezcla de agua residual con microorganismos facilitan la fijación y el trabajo de los microorganismos.
  - Lagunas aireadas.- Se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones.
  - Degradación anaerobia.- Procesos con microorganismos que no necesitan oxígeno para su metabolismo.

## Niveles de tratamiento

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etc, aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Así se pueden distinguir:

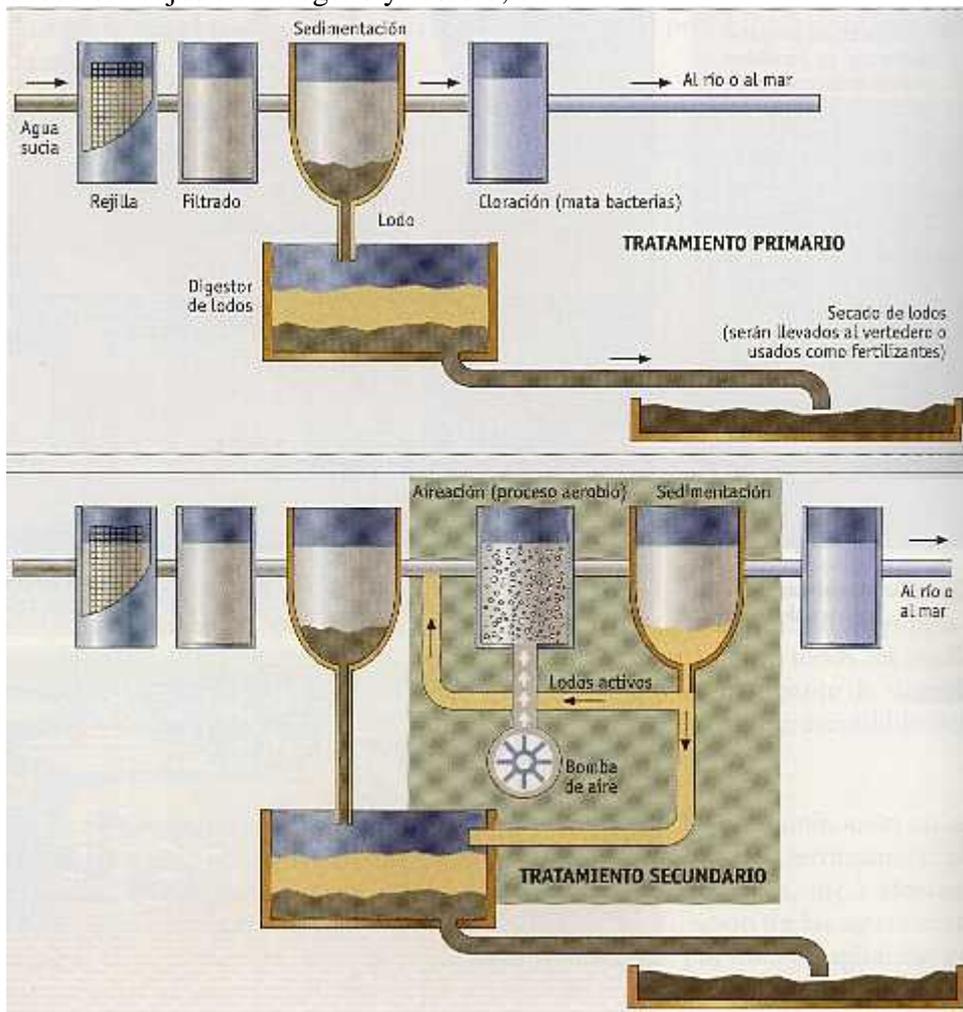
a) *Pretratamiento*.- Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan restos voluminosos como palos, telas, plásticos, etc.

b) *Tratamiento primario*.- Hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o fisico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes\* que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción (stripping).

c) *Tratamiento secundario*.- Elimina las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias\* digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas.

d) *Tratamientos más avanzados*.- 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.



*Tratamiento primario y tratamiento secundario en una EDAR*

## Líneas de tratamiento en las EDAR

En el funcionamiento de una EDAR (estación depuradora de agua) se suelen distinguir dos grandes líneas:

- Línea de agua.-** Es el conjunto de los procesos (primarios, secundarios, etc.) que depuran el agua propiamente dicha. Comenzaría con el agua que entra a la depuradora y terminaría en el agua vertida al río o al mar.
- 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. Estos lodos son degradados en un digestor anaeróbico\* (o en otra forma similar), para ser después incinerados, usados como abono, o depositados en un vertedero.

En una planta depuradora también se generan, además de los lodos, otros residuos (arenas, grasas, objetos diversos separados en el pretratamiento y en el tratamiento primario) que deben ser eliminados adecuadamente. Se suelen llevar a vertederos o similares.

## **Tratamientos especiales: eliminación de N y P**

En los casos en los que las aguas que salen de la EDAR se vierten a ecosistemas en peligro de eutrofización es importante eliminar los nutrientes (P y N) que estas aguas pueden llevar, para no aumentar la intensidad de ese proceso.

Para eliminar fósforo se suelen pasar las aguas por un reactor "anaerobio" que facilita una mayor asimilación de ese elemento por las bacterias. Así se llega a eliminar el 60 - 70% del fósforo. Si esto no es suficiente se complementa con una precipitación química forzada por la adición de sulfato de alúmina o cloruro férrico.

La eliminación de nitrógeno se hace en varias fases. En primer lugar, durante el tratamiento biológico habitual, la mayor parte de los compuestos orgánicos de nitrógeno se convierten en amoníaco (amonificación). A continuación hay que conseguir que el amoníaco se convierta a nitratos (nitrificación) por la acción de bacterias nitrificantes (Nitrosomonas y Nitrobacter) que son aerobias. Este proceso de nitrificación necesita de reactores de mucho mayor volumen (unas cinco o seis veces mayor) que los necesarios para eliminar carbono orgánico. Las temperaturas bajas también dificultan el proceso (a 12°C el volumen debe ser el doble que a 18°C). A continuación se procura la eliminación de los nitratos en el proceso llamado desnitrificación. Para esto se usan bacterias en condiciones anaerobias que hacen reaccionar el nitrato con parte del carbono que contiene el agua que está siendo tratada. Como resultado de la reacción se forma CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> que se desprenden a la atmósfera. Para llevar a cabo estos procesos hacen falta reactores de gran volumen, aireación de grandes masas de agua y recirculación de fangos que complican y encarecen todo el proceso de depuración.

### **Otros sistemas de depuración**

Para lograr una depuración suficiente de las aguas residuales de pequeñas comunidades no es necesario acudir a la instalación de EDAR capaces de realizar complejos tratamientos. Otros métodos pueden ser suficientemente eficaces y mucho más rentables. Así:

- Fosa séptica.- Cámaras cerradas en la que los contaminantes sedimentan y fermentan.
- Lecho bacteriano (depósito lleno de árido), zanjas o pozos filtrantes o filtros de arena.- Todos ellos facilitan la formación de películas de bacterias sobre los cantos o partículas filtrantes que realizan la descontaminación.
- Lagunaje:
  - anaerobio: elimina hasta el 50% el DBO
  - aerobio: con posible proceso anaerobio después
- Filtro verde: plantación forestal en la que se riega con aguas residuales.
- Contactores biológicos rotativos.- Sistemas mecánicos que facilitan la actuación de las bacterias descontaminantes.

### **Depuración de aguas en España**

En España, según el Environmental Profile of Spain 2005 (Ministerio de Medio Ambiente 2006) p. 85, el porcentaje de población equivalente atendido por sistemas de depuración era del 87% en 2004 (en 1995 era del 54%)

## **Contaminación de las aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en muchas partes de España y del mundo. En España alrededor de la tercera parte del agua que se usa en las ciudades y la industria y la cuarta parte de la que se usa en agricultura son aguas subterráneas. En muchos lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es muy apto para la

agricultura son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que permiten cultivar, productos muy apreciados en los mercados internacionales.

Las aguas subterráneas suele ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

### **Problemas en el uso de las aguas subterráneas.**



#### *Problemas de las aguas subterráneas en España*

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. En muchas ocasiones la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, porque como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente. Los principales problemas son:

#### **a) Por agotamiento del acuífero.**

Un buen uso de las aguas subterráneas exige tener en cuenta que, en los lugares en que las precipitaciones son escasas, los acuíferos se van cargando de agua muy lentamente y si se consumen a un ritmo excesivamente rápido, se agotan. Cuando se produce explotación intensiva, sequía u otras causas que van disminuyendo el nivel del agua contenida en el acuífero se derivan problemas ecológicos como, por ejemplo, en las Tablas de Daimiel, Parque Nacional situado en La Mancha formado por zonas húmedas muy ricas en aves. La explotación creciente para usos agrícolas del acuífero 23 que nutre de agua al Parque ha hecho que en los años de pocas lluvias grandes áreas de las Tablas se queden sin agua.

Cuando estos acuíferos se encuentran en la costa, al ir vaciándose de agua dulce, van siendo invadidos por agua salada (intrusión) y queda inutilizados para el uso humano. En la costa mediterránea española prácticamente todos los acuíferos están afectados por este problema y necesitan una mejora urgente de su explotación o de sus sistemas de control y, en muchos casos, es imprescindible permitir que se recarguen de agua antes de seguir explotándolos.

#### **b) Por contaminación de las aguas subterráneas.**

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal.

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

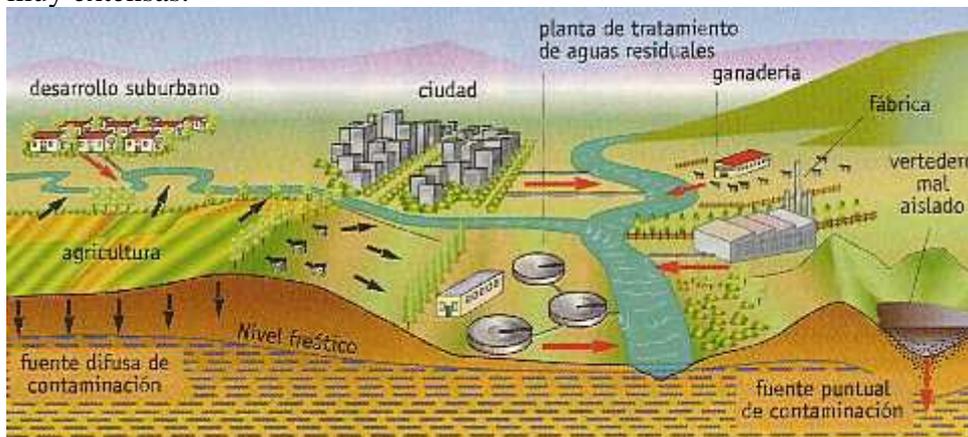
- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en que lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuales no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y al revés.

La contaminación difusa suele estar provocada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.



*Fuentes puntuales y difusas de contaminación de las aguas subterráneas*

### **Depuración**

Los acuíferos tienen una cierta capacidad de autodepuración, mayor o menor según el tipo de roca y otras características. Las sustancias contaminantes, al ir el agua avanzando entre las partículas del subsuelo se filtran y dispersan y también son neutralizadas, oxidadas, reducidas o sufren otros procesos químicos o biológicos que las degradan. De esta manera el agua va limpiándose.

Cuando la estructura geológica del terreno facilita una zona amplia de aireación, los procesos de depuración son más eficaces. También es muy favorable la abundancia de arcillas y de materia orgánica. En cambio en los depósitos aluviales o las zonas kársticas la purificación del agua es mucho más difícil y este tipo de acuíferos son mucho más sensibles a la contaminación.

Es muy importante, de todas formas, tener en cuenta que las posibilidades de depuración en el acuífero son limitadas y que el mejor método de protección es, por tanto, la prevención. No contaminar, controlar los focos de contaminación para conocer bien sus efectos y evitar que las sustancias contaminantes lleguen al acuífero son los mejores métodos para poder seguir disfrutando de ellos sin problemas.

Cuando un acuífero está contaminado y hay que limpiarlo el proceso es muy difícil y muy caro. Se han usado procedimientos que extraen el agua, la depuran y la vuelven a inyectar en el terreno, pero no siempre son eficaces y consumen una gran cantidad de energía y dinero.

### **Uso y calidad del agua subterránea en España**

Alrededor de la cuarta parte del agua utilizada en España es de origen subterráneo. Con ella se atiende a las necesidades de más de un tercio de la población y se riega algo menos que un tercio de la superficie total regada. En las zonas más secas es la fuente fundamental de agua, mientras que en zonas más húmedas, como Galicia, es un recurso complementario.

Los principales problemas de los acuíferos son de contaminación difusa. Principalmente por contaminación con nitratos y por invasión de agua salada. Las contaminaciones puntuales no son un grave problema, exceptuando algunas zonas muy concretas en núcleos industriales o junto a grandes poblaciones.

El problema más preocupante es el de los altos niveles de concentración de nitratos en algunos depósitos de aguas subterráneas. El límite máximo permitido por la reglamentación es de 50 mg/l en el agua de abastecimiento de la población, y en 2003 (Environmental Profile of Spain 2005 (Ministerio de Medio Ambiente 2006) p. 77) el 18,76% de la superficie de las áreas hidrogeológicas estaba contaminada con concentraciones de nitrato superiores a 50 mg/L.

Generalizando se puede decir que los acuíferos de la zona norte se encuentran en situación buena, mientras que los de la zona mediterránea, entre Gerona y Málaga se encuentran muy afectados por este problema. También están en una situación bastante deteriorada los de las cuencas de los ríos Guadiana y Júcar y algunas zonas de las del Tajo y Duero, especialmente en las provincias de Badajoz, Ciudad Real y Albacete. Asimismo es mala la situación en Mallorca y en algunas zonas de Tenerife y Gran Canaria.

El exceso de nitratos se da precisamente en las zonas en las que los acuíferos son más utilizados. En zonas cálidas en las que se puede usar agua subterránea para regar, las cosechas pueden ser muy buenas y tempranas, lo que posibilita muy buenos rendimientos económicos. Por eso se cultiva más intensamente y el campo necesita ser fertilizado con nitratos. Si se usa una cantidad excesiva de estos, el agua los acaba arrastrando al acuífero y se establece un ciclo que hace que cada vez haya más compuestos de nitrógeno acumulados en las aguas subterráneas.

El otro proceso preocupante es el de entrada de agua salada en los acuíferos cuando estos son sobreexplotados. También este problema es especialmente acuciante en la zona mediterránea, en acuíferos cercanos a la costa. Estos acuíferos limitan con aguas subterráneas salinas, situadas bajo el mar, y cuando se retira demasiada agua dulce de ellos, la interfase se desplaza, penetrando el agua salina en zonas en las que sólo había agua dulce hasta entonces. Cuando pasa esto no sólo se ve amenazado el suministro de agua para las poblaciones y el regadío, sino que también se producen daños en los ecosistemas que dependían de la descarga de aguas de estos acuíferos.

El porcentaje de superficie de unidades hidrogeológicas afectadas por intrusiones salinas (más de 1g/litro de cloruros) oscila en España entre el 8 y el 12% en los últimos años (Environmental Profile of Spain 2005 (Ministerio de Medio Ambiente 2006) p.79)

## **Anexo I: El mar Báltico en peligro**

El mar Báltico, situado al Norte de Europa, tiene algo más de 100 000 Km<sup>2</sup> y recibe los vertidos de un área con una población de más de 70 millones de habitantes y con un alto nivel de desarrollo industrial (aproximadamente el 15% de la producción industrial mundial tiene lugar en este área).

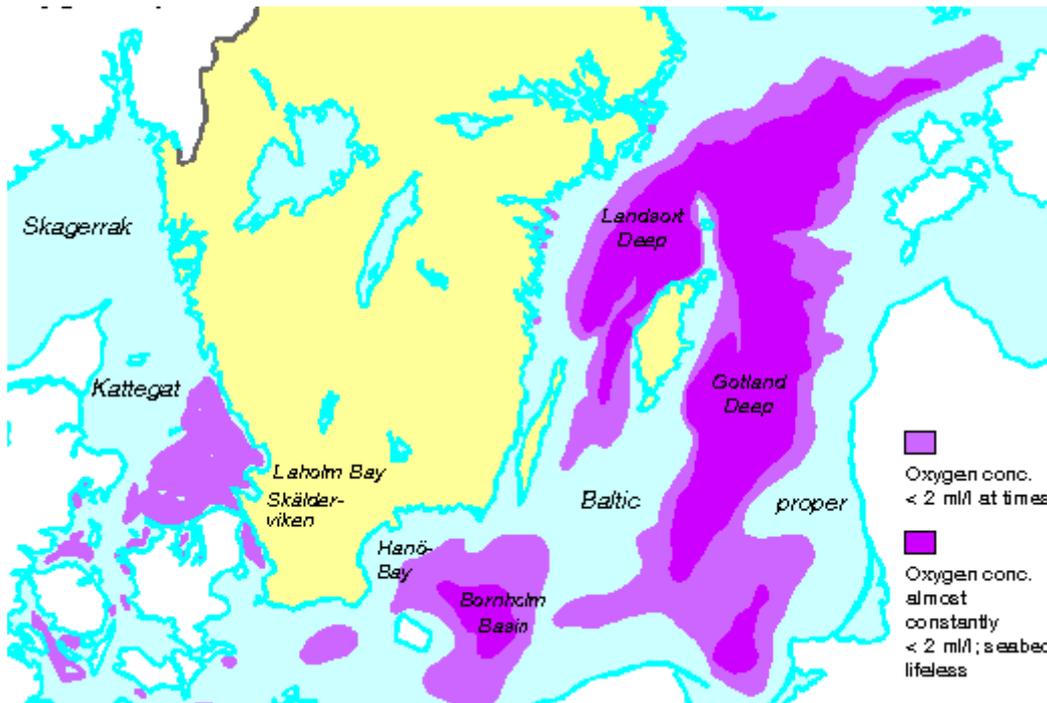
Hasta mediados de los años 1960 sus aguas estaban relativamente limpias, pero luego se ha ido convirtiendo en uno de los mares más contaminados del mundo. Además, el Báltico tiene unas características que lo hacen especialmente vulnerable a la polución. Una de ellas es la marcada estratificación de sus aguas. Su agua es salada, pero recibe grandes cantidades de agua dulce de los ríos que desembocan en él. Estos dos tipos de agua no se mezclan suficientemente y se originan dos capas de agua claramente distintas: una en el fondo, de aguas más saladas, y otra de aguas menos saladas colocada encima al ser menos densa. Como el intercambio entre las dos capas es muy pequeño, la de abajo tiene muy bajo contenido en oxígeno y cualquier factor de contaminación que reduzca aun más el nivel de oxígeno tiene efectos devastadores. Otro de los factores que hacen muy vulnerable al Báltico es que es un mar muy cerrado, ya que su única salida es al Mar del Norte a través de un estrecho canal, por el que tarda unos 50 años en renovar toda su agua.

Los **cuatro grandes problemas de contaminación** detectados en este mar son:

1. los vertidos de petróleo,
2. la eutrofización,
3. la bioacumulación de sustancias tóxicas en la cadena trófica y
4. las descargas accidentales de residuos tóxicos y peligrosos.

**Vertidos de petróleo.**- Según datos de 1996, en el mar Báltico hay de media tres accidentes al año que vierten unas 225 toneladas de petróleo. Pero, como sucede en general en el mundo, del total anual de unas 20.000 a 70.000 toneladas de hidrocarburos que le contaminan, sólo alrededor del 10% se origina en el mismo mar. El resto viene de tierra. Dentro de los productos derivados del petróleo el grupo más peligroso es el de los PAH (Hidrocarburos aromáticos policíclicos) que se encuentran en el Báltico en proporción tres veces mayor que en el vecino Mar del Norte.

**Eutrofización.**- Por lo que respecta a la eutrofización, por ejemplo, se calcula que entran en este mar más de 500 000 toneladas métricas de nitrógeno y alrededor de 50 000 toneladas de fósforo al año, procedentes del arrastre de fertilizantes, aguas residuales no tratadas y contaminación del aire. Esto supone como unas cuatro veces el nitrógeno y ocho veces el fósforo que llegaban a principios de siglo y provoca el crecimiento masivo de algas verdeazules que, cuando mueren al final del otoño, caen al fondo del mar en donde se descomponen, reduciendo drásticamente el nivel de oxígeno en grandes extensiones del fondo marino. Los científicos estiman que un 25% del fondo del Mar Báltico son "desiertos marinos".



*Distribución de niveles de oxígeno en el fondo de los mares que rodean Suecia en 1990*

**Bioacumulación.**- La acumulación de sustancias como los PCBs en los tejidos de diferentes animales (en concreto las focas) se piensa que han tenido que ver con la disminución de sus poblaciones. Desde hace unos 20 años, gracias a distintas medidas ha ido disminuyendo la concentración de PCB y otras sustancias como el DDT y algunos metales tóxicos. En 1996 las concentraciones de varios de ellos eran un grado de magnitud más bajas que las medidas veinte años atrás, pero seguían siendo tres o cuatro veces más altas que las medidas en aguas abiertas como las del mar del Norte.

**Descargas de residuos.**- Entre otras muchas cabe citar la de residuos radiactivos causada por el accidente de Chernobyl que multiplicó por cinco el nivel de Cs 137 que se encuentra en este mar. De 1986 a 1991 disminuyó a la mitad, pero el nivel sigue siendo todavía entre cinco y diez veces más alto del que se encuentra en las aguas del mar del Norte.

Para más información sobre el Báltico ver:

- The environmental state of the Baltic Sea.- <http://www.helcom.fi/envst96.html>

Los nueve países que rodean a este mar firmaron en 1974 un acuerdo, el llamado acuerdo de Helsinki, por el que se comprometían a reducir la contaminación de sus aguas. Por desgracia la puesta en marcha de este acuerdo ha tenido muchos problemas, pero de todas formas supuso un importante paso adelante y ha sido un ejemplo de colaboración internacional para afrontar los problemas ambientales. En 1992 se volvió a firmar un nuevo compromiso

Ver textos completos e información sobre estos acuerdos en <http://www.helcom.fi/>

## **Anexo II: Eutrofización de los Grandes Lagos**

El fenómeno de eutrofización se observó y estudió con detalle en la zona de los Grandes Lagos, en la frontera entre Estados Unidos y Canadá. Estos lagos embalsan enormes cantidades de agua (el 20% de las aguas dulces del mundo) y en ellos se vertían las aguas residuales de las grandes ciudades situadas en sus orillas, como Chicago, Detroit, etc.

En su cuenca viven alrededor de 40 millones de personas, suministran agua potable a unos 30 millones y alrededor del 40% de la industria de Estados Unidos y la mitad de la de Canadá están situadas en sus orillas.

En la década de 1960 se observó que en muchos lugares de estos Grandes Lagos, especialmente en el Eire, que es el menos profundo de ellos, se estaban produciendo grandes mortandades de peces, proliferación de bacterias y contaminación con desechos. El proceso de eutrofización estaba siendo tan grave que tuvieron que cerrar muchas playas por exceso de contaminación y un gran número de poblaciones de peces nativos desaparecieron. A partir de 1972 se empezó un programa de control de la contaminación, con inversiones de más de 19 mil millones de dólares, que ha rebajado mucho los niveles de fosfatos y de otros contaminantes como las bacterias coliformes y sustancias tóxicas de origen industrial.

---

<sup>1</sup> **Oxígeno Disuelto** OD: Es la medida del oxígeno disuelto en el agua, expresado normalmente en ppm (partes por millón). La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura: a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve. Por otra parte si el agua está contaminada tiene muchos microorganismos y materia orgánica y la gran actividad respiratoria disminuye el oxígeno disuelto. Un nivel alto de OD indica que el agua es de buena calidad

<sup>2</sup> **Bacteria coliforme**

Bacterias que se encuentran en el intestino humano o en el de otras especies. La más conocida es *Escherichia coli*. Se usan en los análisis de calidad de las aguas pues su presencia indica contaminación con heces. La Organización Mundial de la Salud recomienda un recuento de 0 colonias por cada 100 ml de agua para beber