

# Presentación

EL AGUA suele considerarse por la humanidad como un recurso ilimitado. La realidad actual y las previsiones futuras muestran la necesidad de desterrar ese falso tópico. El incremento demográfico y la mejora del nivel de vida llevan aparejados aumentos en las necesidades de agua. El desarrollo humano, no siempre ordenado, puede significar una destrucción del entorno y, consecuentemente, de los recursos hídricos.

Debemos sensibilizarnos y concienciarnos de los problemas que todo ello puede alcanzar. Es necesario otorgar al agua el carácter de bien escaso. Protegiéndola de los agentes contaminadores. Aprovechándola mejor. Evitando su despilfarro. Reutilizándola cuando ello sea posible. Desarrollando de forma racional las posibilidades de nuevos abastecimientos.

El esfuerzo corresponde a todos. Autoridades y ciudadanos, cada uno en su medida. El agua es patrimonio común y bien necesario para ésta y sucesivas generaciones.

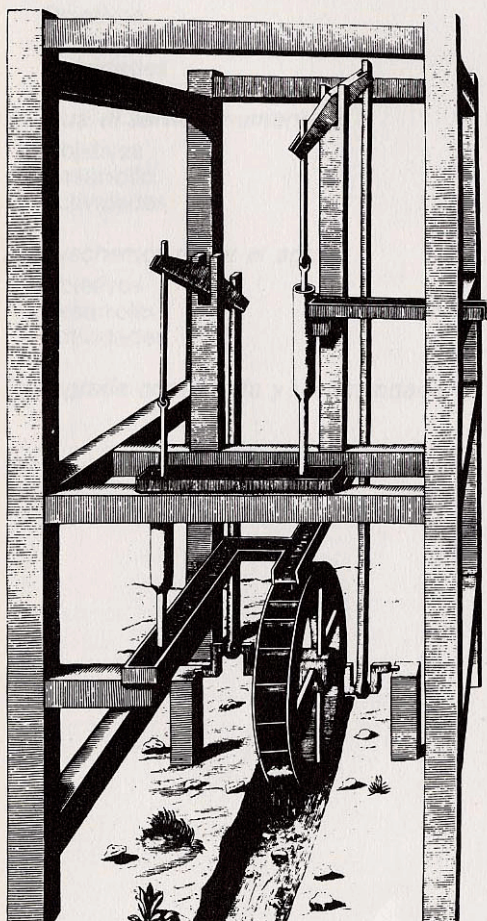
El Instituto Geológico y Minero de España, con el asesoramiento del Ministerio de Educación y Ciencia, ha creado y editado un material didáctico sobre la temática del agua dirigido a la población escolar. Este material puede servir para familiarizar al alumno con diversos aspectos de dicha temática, cuyo conocimiento es deseable para valorar en su justa medida la trascendencia e importancia del agua en la vida, su problemática y sus posibles soluciones.

El material en cuestión consta de:

- Una serie de cuatro murales dirigidos al alumno.
- Una guía didáctica para su utilización por el profesor.

Los murales responden a los siguientes títulos y contenidos:

1. **Sin agua no hay vida**, en el que se muestra la importancia del líquido elemento, así como su presencia en los seres y en las actividades.
2. **Agua y Naturaleza**, que describe los ciclos del agua, su localización en la Tierra y las posibilidades para su mejor administración por el hombre.
3. **Contaminación del agua**, en el que se señalan los riesgos a que está sometido este recurso, tanto en su estancia superficial como subterránea, y las medidas que se deben tomar al respecto.





4. **Investigación y captación de aguas subterráneas**, en el que se muestran los principales elementos de pozos y sondeos, junto a las componentes científicas que hoy se aplican para su investigación.

La Guía Didáctica tiene como objetivo facilitar al profesor la utilización de los murales: Su estructura en capítulos y subcapítulos se corresponde con la temática de éstos.

Cada capítulo se inicia con una pequeña introducción y todos los subcapítulos constan de tres secciones. La primera, objetivos, intenta sintetizar algunas de las ideas que se estiman importantes.

En la segunda, de forma breve, se incluye el desarrollo del tema para ser completado en la forma y extensión que estime el profesor. La tercera y última recoge una serie de sugerencias sobre posibles actividades adecuadas al programa, cuyo desarrollo pudiera representar interés. Finalmente, cada capítulo incluye unas referencias de Bibliografía sobre los temas tratados.

Es nuestro deseo que el presente material sirva al profesor como elemento útil en la misión formativa de sus alumnos. Con esa idea se ha confeccionado, pues es en sus manos y bajo sus criterios donde únicamente estos documentos de apoyo didáctico pueden hallar su posible validez.



## **1. SIN AGUA NO HAY VIDA**

**1.1. Los organismos vivos contienen gran cantidad de agua**

**1.2. La molécula de agua**

**1.3. El reino vegetal**

**1.4. Necesidades de agua en el cuerpo humano**

**1.5. Clases de aguas**

**1.6. El agua al servicio humano**

**1.7. Aprovechemos mejor el agua**



# 1. Sin agua no hay vida

## *Introducción*

### *Los organismos vivos contienen gran cantidad de agua*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *La molécula de agua*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *El reino vegetal*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Necesidades de agua en el cuerpo humano*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Clases de aguas*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *El agua al servicio humano*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Aprovechemos mejor el agua*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Bibliografía consultada y recomendada*

## **Introducción**

«¡Agua por todas partes!, podría decir muy bien el antiguo explorador de la Naturaleza que quisiera penetrar en los secretos íntimos de la Tierra. Si miramos a nuestro alrededor, vemos el agua en los ríos, en los lagos y en el mar; si miramos al cielo, la encontramos en las nubes, en las nieblas y en las lluvias; podemos verla desaparecer y reaparecer, adoptar el ropaje invisible del vapor, envolverse en la forma palpable de la niebla, evaporarse y condensarse otra vez, según las circunstancias. Las innumerables metamorfosis de las nubes, la delicada belleza del copo de nieve y la grandiosidad del glaciar pueden servir de ejemplo del papel que representa el agua como elemento que contribuye a hermosear la Naturaleza. Sin ella, el resplandor de la luz sería intolerable y la Tierra, un desierto monótono sin rastro de vida.»

Este canto al agua escrito por Edmunds y Hoblyn a principios de siglo, con reminiscencias románticas todavía, puede ser un buen comienzo para el estudio que nos proponemos: comprender la importancia del agua para la vida.

Nada nuevo descubrimos con esta afirmación, pero sí nos ayudará recordarla y contemplarla desde distintos aspectos a valorar el agua como sustancia imprescindible y no siempre usada adecuadamente, acaso porque su presencia abundante y, casi siempre, fácil de conseguir nos hace olvidar el esfuerzo y costo que supone su hallazgo y conducción hasta los lugares de consumo y lo más grave, quizá no recordamos que en algunos momentos puede escasear.

El objetivo fundamental en este trabajo es, precisamente, hacer llegar a los escolares la necesidad de apreciarla y, en consecuencia, protegerla y consumirla sin despilfarro.

## **Los organismos vivos contienen gran cantidad de agua**

### **Objetivos**

- Reconocer el agua como el medio necesario para que se desarrolle la vida.
- Conocer la importancia que siempre ha tenido el agua en la explicación de la materia y los fenómenos naturales.
- Informar sobre algunas teorías relativas a la aparición del agua en la Tierra.



- Asociar la existencia de agua con la presencia real o posible de organismos vivos.
- Comparar el porcentaje de agua que entra en la composición de algunos seres vivos y alimentos.

## Desarrollo

Thales de Mileto (624-546 a. de J.C.) creía que el agua era la causa primera de todas las cosas. Fundamentaba su idea en que cavando la tierra siempre se llegaba a encontrar agua y que de las nubes venía el agua que los seres vivos utilizaban para mantener su actividad. Para Thales el agua era el elemento inmutable del que procedían los demás elementos variables existentes en la Naturaleza.

Empédocles (490-430 a. de J.C.) siguió manteniendo el agua como elemento fundamental al que agregó el aire, la tierra y el fuego, completando así lo que para él —y hasta bien entrada la Edad Moderna— fueron los constituyentes esenciales de cualquier sustancia. Estas se diferenciaban entre sí según la proporción que de aquéllos contuvieran.

El establecimiento de las teorías atómicas, con los hallazgos de las partículas elementales: protón, neutrón y electrón, desplazó definitivamente aquellas teorías sobre la composición de la materia.

En cambio, es indudable que los filósofos griegos si no alcanzaron a determinar la estructura interna de las sustancias, sí vislumbraron con acierto cuáles eran imprescindibles para la vida. De ahí que el agua haya sido considerada desde la antigüedad como el líquido por excelencia. Tanto que la historia de la Tierra es una permanente alusión a la distribución de las aguas, con el consiguiente reparto de las tierras continentales. Las modernas teorías basadas en la Tectónica de placas —aunque no hayan establecido todavía cómo se inició el movimiento de las placas que, con el tiempo, han ido configurando el aspecto actual de nuestro planeta— centran su atención de manera preferente en la formación y evolución de los océanos.

Sobre cómo apareció el agua en la Tierra, hay teorías muy diversas, todas ingeniosas y en cierto modo, posibles. Veamos algunas.

Hay quienes consideran que el agua se formó después que la Tierra, debido a la permanente lluvia de rayos cósmicos a que ésta se encuentra sometida. Los rayos cósmicos contienen sobre todo protones, es decir, núcleos de átomos de hidrógeno. Los protones al atravesar la atmósfera terrestre captan electrones, transformándose así en átomos de hidrógeno que reaccionan con el oxígeno del aire formando el agua. De esta especie de «agua cósmica» dicen los científicos haber encontrado gigantescas nubes plateadas en nuestra galaxia, en las constelaciones de Orión y Casiopea.

En cambio, los geoquímicos afirman que el agua procede de la misma tierra, de la fusión de las rocas que en forma de erupciones volcánicas desprendieron nitrógeno, cloro, carbono, azufre y, sobre todo, grandes cantidades de vapor de agua. Es lo que suele llamarse «agua geológica».

Tanto unos como otros aseguran que por sendos procedimientos fue posible la formación de la cantidad de agua actualmente inventariada: 1.500 millones de km<sup>3</sup>, considerando océanos, casquetes polares, subsuelo, lagos, ríos y atmósfera.

Por otra parte, además de esa especie de acuífero «cósmico», se ha detectado agua, mediante análisis espectrográfico y viajes espaciales, en Venus, Marte, Júpiter y en los cometas. Lo que induce a pensar que pueda existir agua en cualquier lugar del universo. Otra cosa es que sea posible la vida en la forma que conocemos, ya que los organismos terrestres tienen su actividad vital condicionada también por la energía solar, la presión atmosférica, el aire, etc.

Sin embargo, siempre que se encuentra agua hay sospechas de que exista alguna forma de vida, porque parece ser que en ella se inició la vida sobre la Tierra; los primeros fósiles de origen orgánico son algas marinas que datan del período Arqueozoico (3.000-2.000 millones de años), encontrados en Rodesia y Estados Unidos. A partir del Precámbrico (600 millones de años) tiene lugar la aparición de las diversas formas de vida, unas llegadas hasta nuestros días y otras desaparecidas, casi todas de naturaleza acuática.

Es una teoría muy aceptada, la que considera que la vida sobre la tierra firme surgió por adaptación de especies marinas, dejadas al descubierto en las sucesivas y múltiples retiradas de las aguas y la aparición de marismas y zonas pantanosas. Así se explican la vida de los anfibios, primero; y después, de las aves y mamíferos. Igual con las plantas.

En la actualidad los habitantes del mundo acuático superan en número a los terrestres y aéreos, existiendo en ambos medios ciclos que perpetúan la vida en ellos. Así, las algas marinas capaces de elaborar sustancias orgánicas por su actividad fotosintética sirven de alimento a herbívoros, como los protozoos, alimento a su vez de los carnívoros (peces) que nutren al hombre y a otros animales.

En el agua los seres vivos encuentran un medio de vida más amparado que en la tierra, produciéndose una continua regulación del oxígeno consumido del agua con el que se disuelve del aire. Por otro lado, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sirve para la fotosíntesis y para la formación de las estructuras calcáreas que protegen a esponjas, pólipos, crustáceos, etc.

El protoplasma, parte principal de las células, está formado en gran parte por agua. En las células vegetales, la vacuola ocupa aproximadamente el 90 por 100 del volumen de la célula y el líquido contenido es casi todo agua; es decir, que las reacciones químicas de las que los organismos consiguen su energía vital se realizan necesariamente en medio acuoso, en el protoplasma celular, en la sangre o en los jugos segregados por las glándulas.

Sea o no cierto que la vida haya surgido de las aguas, es incuestionable la presencia de ésta en la composición de todo ser vivo o materia en general. Con determinaciones que pueden oscilar en algu-



nas unidades se han calculado, para los siguientes ejemplos, estos porcentajes:

	% de agua
El hombre	60-65
Algas	95
Arbol	50
Patata	75
Pan	35
Naranja	80
Harina de avena	7,5
Lechuga	94,7
Medusa	98
Leche	90
Huevo	65
Manteca	20

### Actividades

Realizar las siguientes experiencias:

- Dejar secar durante unos días una verdura (lechuga, espinaca, repollo). Al cabo de este tiempo comparad el peso antes y después de desecada. ¿A qué se debe la diferencia?
  - Comprobar cómo una planta transpira, colocándola al sol envuelta en una bolsa de plástico transparente.
  - Pesar una cantidad de tierra de jardín. Calentar al baño maría, ¿qué se observa? Pasado un tiempo, aproximadamente el necesario para que dejen de salir vapores, pesar el recipiente que contiene la tierra. ¿A qué se debe la diferencia de peso?
- A partir de algunos textos relativos a las teorías de los griegos sobre los componentes fundamentales de la Naturaleza, comentar la importancia que siempre le concedieron al agua.
  - Informarse de cómo ha evolucionado el reparto de aguas sobre la tierra. Comentar las eras geológicas y relacionar la flora y fauna en cada una con la distribución del agua. ¿Qué ocurrió durante las glaciaciones?
  - Construir con plastilina un modelo alusivo a la actual teoría de la Tectónica de placas.
  - Resolver:
    - ¿Qué cantidad de agua contiene una lechuga que pesa 3 1/2 kg?
    - Un repollo pesa 200 g, si se desecara totalmente pesaría unos 10 g. ¿Qué porcentaje de agua contiene?
    - ¿Qué radio tendría una esfera que contuviera los 1.500 millones de km<sup>3</sup> de agua existentes en nuestro planeta?

## La molécula de agua

### Objetivos

- Relacionar la importancia vital del agua con su estructura molecular.

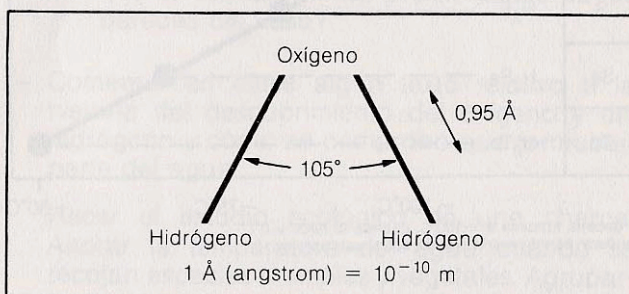
- Conocer sus propiedades físicas y químicas.
- Comparar las características del agua con las de otros hidruros, comprobando así sus peculiaridades.
- Definir algunos conceptos: temperatura y presión críticas, concentración iónica, pH, acidez y basicidad, momento dipolar, crioscopia, ebulloscopia.
- Valorar la importancia de la dilatación anómala del agua para el mantenimiento de la vida en el medio acuático.
- Conocer algunas reacciones químicas en las que interviene.

### Desarrollo

Hasta el siglo XVIII no se reconoció que el agua era una sustancia compuesta. Cavendish, en 1781, obtuvo agua quemando lo que él llamó aire inflamable; al que Lavoisier (1743-1794) dio el nombre de hidrógeno (engendrador de agua) cuando comprobó que aquella estaba formada por dicho gas y el oxígeno.

Fue Morley (1838-1923) quien tras una larga investigación determinó hacia 1895 la proporción 2:1 entre el hidrógeno y el oxígeno. La fórmula molecular del agua es H<sub>2</sub>O, y la estructural H-O-H, basada en la teoría de los enlaces químicos.

La estructura de la molécula de agua está determinada con bastante precisión:



Y a esta estructura se debe que una sustancia tan común, utilizada como patrón en multitud de ocasiones sea una «rareza química y física».

Propiedades físicas del agua (a la presión normal, 1 atm):

Peso molecular	18,016
Punto de congelación	0 °C
Punto de ebullición	100 °C
Temperatura crítica	374,2 °C
Presión crítica	218,4 atm
Calor a fusión	79,7 cal/g
Calor de vaporización a 100 °C	539,5 cal/g
Calor específico	1 cal/g °C

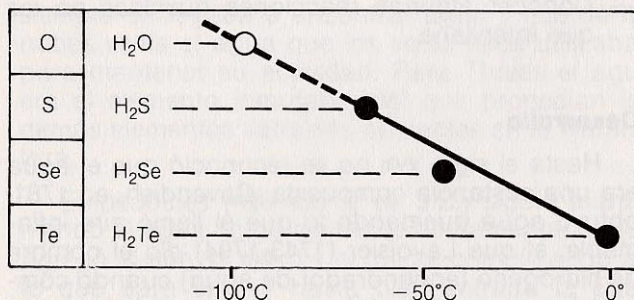
La densidad del agua aumenta anormalmente al elevar la temperatura de 0 °C a 4 °C, en que alcanza su máximo valor, 1 g/cm<sup>3</sup>. Por esta razón el hielo flota sobre el agua líquida.

La temperatura crítica es aquella por encima de la cual un gas no puede licuarse, por más que se eleve la presión. La presión necesaria para licuar un gas a su temperatura crítica es la presión crítica.



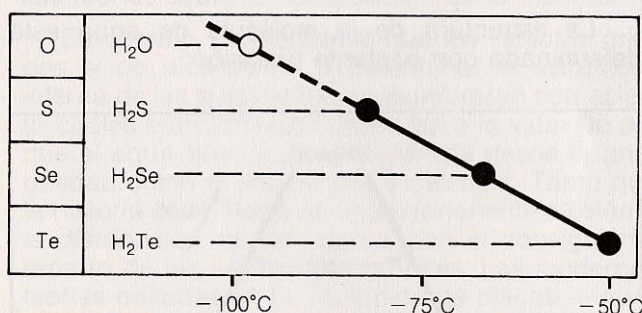
Tanto el punto de congelación como el de ebullición difieren mucho de lo que había de ser según la posición del oxígeno en el sistema periódico. Observemos los siguientes diagramas correspondientes a los hidruros de los elementos del grupo VI, donde los puntos negros indican las temperaturas aproximadas de ebullición y fusión, y los puntos blancos los valores que cabrían esperarse para el agua extrapolando los valores de los otros hidruros.

#### Temperaturas de ebullición



Según el diagrama al agua debería corresponderle una temperatura de ebullición de unos  $-85^{\circ}\text{C}$ .

#### Temperaturas de fusión



Y debería fundirse a  $-100^{\circ}\text{C}$ , cuando lo hace a  $0^{\circ}\text{C}$ . Es decir permanecería líquida entre esos valores.

Igualmente el calor específico del agua supera al de cualquier otro líquido o sólido, lo que explica que el agua de lagos, ríos y mares cambie de temperatura más lentamente que las rocas y el suelo. Este hecho contribuye a regular la temperatura ambiente. En invierno, los océanos calientan, en verano enfrían. Es una razón para que los climas marítimos, tipo Mediterráneo, sean menos extremos que los continentales.

Respecto al sorprendente fenómeno de que el enfriamiento entre  $4^{\circ}\text{C}$  y  $0^{\circ}\text{C}$  suponga una dilatación es muy beneficioso para los seres vivos del medio acuático. Al expandirse el agua, la capa superior que se congela provoca como un taponamiento de las aguas superficiales impidiendo que el frío se propague hacia el fondo, de manera que la vida puede mantenerse por debajo de la capa de hielo superficial. La congelación, por tanto, empieza en la superficie del agua y continúa hacia abajo, lo que da al agua otra nota peculiar respecto a los demás líquidos.

El agua por su fórmula y comparada con los hidruros de azufre, selenio y telurio, debería ser a temperatura ambiente un gas difícilmente licuable, y, sin embargo, es, en estado puro, un líquido único, incoloro, inodoro e insípido; el ligero sabor que tiene es debido al  $\text{CO}_2$  del aire disuelto en el agua y el color que presenta cuando está en grandes masas se debe a fenómenos ópticos.

Su anómalo comportamiento está explicado a partir del llamado enlace de hidrógeno o puente de hidrógeno en el que un átomo de hidrógeno está unido a dos átomos de otros elementos, en este caso el oxígeno, mediante fuerzas de naturaleza electrostática.

Veamos algunas propiedades químicas.

El agua es el medio imprescindible para que sean posibles los procesos químicos, tanto en los organismos vivos como en el mundo inorgánico, natural e industrial. Incluso la descomposición de la materia orgánica por las bacterias requiere un cierto grado de humedad. Los alimentos desecados tardan mucho tiempo en descomponerse, por lo que la desecación es un buen método para conservarlos.

La corrosión de los metales se debe más al vapor de agua que al oxígeno del aire. Más aún, la mezcla de hidrógeno y oxígeno —mezcla detonante— no estalla si ambos gases están totalmente secos.

Por otra parte, es un compuesto muy estable ya que es fuertemente exotérmico, su calor de formación es de unas 68.320 calorías por mol, por lo que se precisan grandes cantidades de energía para descomponerla. Y un electrolito muy débil: el agua pura apenas conduce la corriente eléctrica porque su disociación produce muy pocos iones  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  que deben ser los encargados de la conducción electrolítica. Las concentraciones iónicas son del orden de  $10^{-7}$  iones por mol, que es una cantidad irrelevante.

La concentración de iones, que se representa como  $[\text{H}^+]$ ,  $[\text{OH}^-]$ , sirve para determinar el carácter ácido o básico de una disolución. Se introduce, por convenio, un número llamado pH que es el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración  $[\text{H}^+]$ . Por ejemplo, según acabamos de decir para el agua es aproximadamente  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ , el pH es 7; si hubiera sido  $[\text{H}^+] = 10^{-12}$ , sería  $\text{pH} = 12$ , ya que  $\text{pH} = -\log 10^{-12} = 12$ .

Teniendo en cuenta que a  $25^{\circ}\text{C}$  se cumple  $[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ , los criterios de acidez y basicidad son:

Disolución básica:  $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ , es decir  $[\text{H}^+] < 10^{-7}$ ,  $\text{pH} > 7$

Disolución neutra:  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ , es decir  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ ,  $\text{pH} = 7$

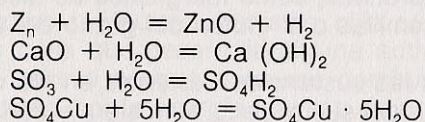
Disolución ácida:  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ , es decir  $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ ,  $\text{pH} < 7$

Recordemos que, por ejemplo, es  $10^{-9} < 10^{-7}$ , luego  $-\log(10^{-9}) = 9$ , es mayor que 7. Así un  $\text{pH} = 2$  correspondería a una disolución muy ácida y un  $\text{pH} = 12$  a otra muy alcalina (básica).



En general, la vida vegetal se desarrolla en suelos que fluctúan alrededor de un  $\text{pH} = 6$  y el promedio de las aguas oceánicas es  $\text{pH} = 8,5$ . Por debajo de un  $\text{pH} = 7,5$  mueren muchos animales marinos destruyéndose los huevos con mucha facilidad.

En cuanto al poder de reacción, el agua se combina con muchos metales oxidándolo y desprendiéndose hidrógeno; con los óxidos, dando ácidos y bases; con las sales, formando hidratos. Por ejemplo:



Por último, destacamos otra importante propiedad del agua: su poder disolvente. A veces el proceso de disolución es simplemente la subdivisión al límite molecular del soluto con la interposición de partículas del disolvente. Otras, es más complicado sobre todo como en el caso del agua que tiene un momento dipolar significativo. Entonces llega a producirse una acción química que origina iones hidratados que no pueden aislarse por los procedimientos usuales (evaporación, filtración, decantación...) de separación de los componentes de una disolución.

El momento dipolar es el producto de la carga eléctrica correspondiente a cada átomo por la distancia entre ellos. En una molécula es la suma vectorial de los momentos dipolares de sus distintos enlaces. El momento dipolar de una molécula es tanto mayor cuanto menos simétrica sea la distribución de los electrones compartidos en cada enlace. El desigual reparto de los electrones provoca que uno de los átomos que integran la molécula gane una cierta carga negativa respecto a los otros átomos se crean polos eléctricos en cierto modo.

Una consecuencia de este poder disolvente es que no exista agua químicamente pura en la Naturaleza; siempre tiene sustancias disueltas que le hacen modificar sus constantes físicas. Por ejemplo, el punto de ebullición se eleva según la cantidad de soluto, hirviendo por encima de los  $100^\circ\text{C}$ ; el de congelación desciende. Por esta razón en invierno se utiliza anticongelante para el circuito de agua de los automóviles, así pueden soportar temperaturas inferiores a  $0^\circ\text{C}$  sin que se congele. Los estudios relativos a estas propiedades se llaman crioscópicos, para la congelación, y ebulloscópicos para la ebullición.

### Actividades

— Realizar las siguientes experiencias:

- Electrolisis del agua. Con una o varias pilas secas, dos electrodos, dos tubos de ensayo, una cubeta y agua acidulada con sal puede conseguirse la descomposición del agua en sus componentes. Se observará que la proporción entre ellos es 1:2.

- Poder disolvente del agua. Completa el siguiente cuadro:

Mezcla	Cómo está cada componente de la mezcla...			
	después de remover		al día siguiente	
	el agua	la sustancia disuelta	el agua	la sustancia disuelta
Agua y sal				
Agua y manganoso				
Agua y aceite				

Repite la experiencia con cantidades distintas de las sustancias para disolver manteniendo fija la cantidad de agua. ¿Qué se observa si cambia la temperatura del agua?

- El agua también disuelve los gases. Los peces respiran gracias al aire que toman del agua; las agallas captan el oxígeno del aire y de ellas pasan a la corriente sanguínea.

Vamos a comprobar que el agua tiene aire disuelto.

Llena un vaso con agua y ponlo cerca de una fuente de calor. ¿Qué son las burbujas que se forman en las proximidades de las paredes del vaso?

- Comentar en clase algún texto relativo a la historia del descubrimiento del oxígeno y del hidrógeno y cómo se comprobó que formaban parte del agua.

Hacer el estudio ecológico de una charca. Anotar la temperatura del agua cuando se recojan especies animales y vegetales. Agruparlos en productores (plantas verdes), consumidores primarios (herbívoros), consumidores secundarios (carnívoros) y organismos transformadores (bacterias, hongos). ¿Obtendríamos las mismas especies a la temperatura de congelación del agua?

- Contruir con arcilla y barras un modelo de la molécula de agua.

— Resolver:

- Se ha tardado 10 minutos en conseguir que 3 litros de agua, inicialmente a  $18^\circ\text{C}$ , se calienten a  $94^\circ\text{C}$ , ¿cuántas calorías por segundo proporciona la fuente de calor utilizada?
- ¿Cuánto se tardaría con la misma fuente en calentar, entre el mismo intervalo de temperaturas, 3 litros de mercurio? Calor específico del mercurio:  $0,033 \text{ cal}/^\circ\text{C}/\text{gramo}$ .
- Calcular la composición centesimal en peso de la molécula de agua.  $\text{O} = 16$ ,  $\text{H} = 1$ .



# El reino vegetal

## Objetivos

- Comprobar la presencia de agua, carbono, nitrógeno y sales minerales (carbonatos, cloruros, sulfatos) en las plantas verdes.
- Diferenciar sustancias orgánicas e inorgánicas.
- Valorar la necesidad del aire, el agua, el suelo y el sol para los vegetales.
- Comprender el mecanismo de absorción y reparto del agua y las sales minerales en un organismo vegetal.
- Estudiar el proceso de la fotosíntesis, el único que proporciona sustancias orgánicas elaboradas en los seres vivos, por lo que los vegetales están siempre presentes en cualquier cadena alimenticia.
- Distinguir tipos de vegetación, según la dotación del agua existente en el medio.

## Desarrollo

Los vegetales como cualquier ser vivo están compuestos por sustancias químicas a las que deben sus colores, sabores, aromas, estructura interna, morfología, etc. El reconocimiento de esas sustancias es una tarea que exige la aplicación de los procedimientos de la ciencia: algunos practicable en los niveles escolares; otros más difíciles y refinados pertenecen al campo de los investigadores de la Botánica.

Veamos algunas sencillas experiencias siguiendo el estudio de André Theron sobre «composición química de las materias vegetales».

- Calentando un trozo de hoja en un tubo de ensayo vemos cómo éste se empaña rápidamente; evidencia de que el vegetal contiene agua.
- Quemando flores o unas cuantas hojas en presencia de óxido de cobre y haciendo llegar los gases a un recipiente con agua de cal, ésta se enturbia; se ha desprendido  $\text{CO}_2$ . Igual ocurre cuando soplamos en un vaso con agua de cal, debido al  $\text{CO}_2$  expulsado en la respiración. Por tanto el vegetal contiene carbono.
- Calentando órganos vegetales en presencia de cal viva, se desprende amoníaco, reconocible por su olor característico. Luego en la planta hay nitrógeno.
- Quemando hasta reducir a cenizas un trozo de vegetal y disolviendo las cenizas en agua caliente, y tras filtrarla se puede obtener:

Con  $\text{HCl}$ , se desprende  $\text{CO}_2$  que indica la existencia de carbonatos.

Con  $\text{AgNO}_3$ , se detectan los cloruros.

Con  $\text{BaCl}_2$ , los sulfatos.

Y así otras muchas sales minerales que constituyen lo que podríamos llamar la parte inorgánica del vegetal, incombustible.

Los elementos C, H, O y N combinados dan lugar a la parte orgánica, consumible por el fuego y de la que son compuestos importantes:

- Los glúcidos o hidratos de carbono, como la glucosa, reconocible mediante el precipitado rojo que origina con el licor de Fehling; la sacarosa y, sobre todo, el almidón y la celulosa. El almidón se azulea con el yodo; así puede reconocerse en la patata, por ejemplo.
- Los lípidos que son las grasas y aceites vegetales, como la oleína y la margarina.
- Los protidos, como los granos de aleurona de las semillas o el gluten del grano del trigo.

Todas las sustancias existentes en los vegetales proceden del suelo, de la atmósfera y de las transformaciones químicas en la fotosíntesis. En cualquier proceso que proporcione a la planta su medio de subsistencia y desarrollo, tiene el agua un papel tan primordial que sin ella no sería posible la vida vegetal.

Pasamos a comentar algunos aspectos relacionados con la nutrición en los vegetales.

El suelo, procede de la descomposición de las rocas, contiene restos minerales y orgánicos, además del agua y el aire en los espacios vacíos entre las partículas. Un factor determinante en la formación y composición del suelo es el agua por su acción geológica externa y por su actividad subterránea que puede enriquecer o aligerar de sales minerales solubles algunas zonas.

Los suelos se clasifican sobre todo atendiendo a su validez para la vegetación y los cultivos. Según la composición predominante, pueden ser: arcillosos, calcáreos, húmicos y arenosos. Una proporción aceptable es:

Humus	10 %
Caliza	10 %
Arcilla	25 %
Arena	55 %

La arcilla y la caliza retienen el agua; la arena le da ligereza y ayuda a la aireación, facilita las labores; el humus es sustancia orgánica que el vegetal necesita.

El agua y las sales minerales disueltas son absorbidas por la planta mediante el fenómeno de la ósmosis, que se produce cuando se ponen en contacto disoluciones de concentraciones diferentes separadas por una membrana semipermeable. En este caso las disoluciones son: la del terreno que rodea a la planta y la contenida en el interior de la misma. El flujo se produce de la disolución hipotónica (menor presión osmótica), la exterior, a la hipertónica (mayor presión osmótica), la interior.

Si se alcanzara la misma concentración en ambas, cesaría el proceso; no ha lugar, ya que por transpiración los vegetales eliminan agua continuamente a través de los estomas que ocupan del 1 al 3 por 100 de la superficie foliar. Así se regula, como si de un acto reflejo se tratara, la absorción de las sustancias nutritivas.

El agua y las sales minerales, una vez en el interior de la planta —la savia bruta— ascienden y

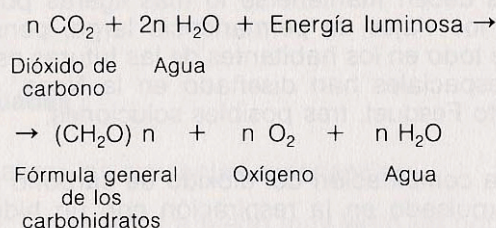


se reparten por los órganos vegetales por difusión y capilaridad.

Del aire toma el vegetal oxígeno, utilizado como oxidante en las complejas reacciones químicas productoras de carbohidratos (hidratos de carbono) y demás sustancias orgánicas. Como en la respiración animal, se desprende  $\text{CO}_2$ .

La fotosíntesis es el proceso mediante el que se forman sustancias alimenticias orgánicas en las plantas verdes, a partir del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{H}_2\text{O}$ , interviniendo un pigmento, la clorofila, elaborado por la propia planta y capaz de captar la energía solar. De esta manera la planta incorpora la energía que precisa como cualquier organismo, más aún, como cualquier cosa que desarrolle alguna actividad; el coche se mueve porque consume combustible, el reloj funciona por la energía elástica de un muelle, el velero navega gracias al viento, etc.

Los seres vivos tienen como fuente de energía los alimentos, de composición complicada y difícilmente sintetizables, es decir, fabricables por el hombre en su totalidad. Uno de los componentes más sencillos de los alimentos es la glucosa — $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ — que las plantas verdes, llamadas autótrofas, son capaces de sintetizar en la fotosíntesis.



El carbohidrato más sencillo es  $(\text{C H}_2\text{O})_6 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

Por esta razón son esenciales para la vida animal y vegetal: las plantas verdes; el aire, de donde se extrae el  $\text{CO}_2$ ; y el agua.

Como se ve en la reacción, la fotosíntesis es un proceso inverso a la oxidación de las sustancias alimenticias, que por acción del oxígeno y tras sucesivas transformaciones acaban desdoblándose en  $\text{CO}_2$ , vapor de agua, energía y productos de desecho. Este mismo proceso ocurre en la combustión de la madera, el carbón, la gasolina, etc. La combustión es, en definitiva, una oxidación acompañada de desprendimiento de calor de una manera más intensa que en la oxidación de los alimentos. También se produce llama.

El resto de los glúcidos (sacarosa, almidón, etc.) se forman a partir de la glucosa. Los lípidos proceden de los glúcidos y los prótidos, de los nitratos y también de los glúcidos. Estos productos, básicos para la nutrición de todos los seres vivos, los toman los animales y el hombre directamente de las plantas o alimentándose con animales herbívoros.

Por otra parte, la cantidad de agua disponible en un lugar así como la concentración de sales determinan el tipo de vegetación silvestre y los cultivos. En medios secos, predominan gramíneas, cactus, pinos; en húmedos, praderas, frutales, maíz; en acuáticos se dan plantas sumergidas totalmente

(sedas de mar), en parte (nenúfares) o sólo la base (carrizos). Los medios salobres, cuando pasan de un 2 a 3 por 100 de sal son nocivos para muchas plantas; las plantas que soportan estas concentraciones salinas se llaman halofitas (almajo, barrilla).

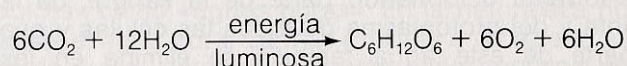
## Actividades

— Realizar las siguientes experiencias:

- Separación de la clorofila. Machacar en un mortero con alcohol unas hojas de espinaca. Filtrar el producto obtenido. Se obtiene una disolución de clorofila en alcohol. Si se echa en un tubo de ensayo que contenga gasolina y agitamos, al poco tiempo la gasolina, quedará sobre el alcohol conteniendo la clorofila.
- Reconocimiento de sustancias orgánicas. Por ejemplo, los azúcares. Calentando en un tubo de ensayo unos  $\text{cm}^3$  de glucosa mezclados con una cantidad igual de licor de Fehling, se consigue un precipitado de color rojo ladrillo que es característico de los azúcares.
- Osmosis. Sobre un papel de celofán colocar unos cristales de permanganato potásico. Situar un embudo sobre los cristales y cerrar el embudo con el celofán. Inyectar agua al interior hasta disolver el  $\text{KMnO}_4$ . Comprobar que no mancha la mano.

Introducir el sistema en un recipiente con agua. ¿Qué se observa?

- Clasificar un conjunto de alimentos (pan, frutas, aceites, carnes, pescados, huevos, leche...) atendiendo a que predominen en ellos los glúcidos, lípidos, prótidos, las sales minerales o las vitaminas.
- Explicar gráficamente el proceso de absorción de agua y sales minerales por las plantas, incluyendo la transpiración y la fotosíntesis, resaltando el papel del agua en la vida de las plantas.
- Hacer un herbario con las especies vegetales existentes en el entorno escolar. Informarse de los nombres con que suele llamarse a las distintas plantas y su utilidad.
- Resolver:
  - Una planta de girasol transpira en un día soleado 1,5 litros de agua. Suponiendo que esta cantidad se repartiera uniformemente a lo largo de las 24 horas, ¿cuántos gramos de agua transpira por segundo?
  - ¿Qué cantidad de humus, caliza, arcilla y arena hay en una Tm de suelo aceptable para el cultivo?
  - ¿Qué cantidad de oxígeno se forma a partir de 100 g de  $\text{CO}_2$  en el proceso de la fotosíntesis según la reacción:





# Necesidades de agua en el cuerpo humano

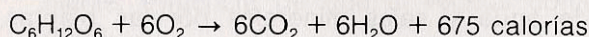
## Objetivos

- Comprender que el agua es un alimento imprescindible.
- Conocer la triple función del agua en el cuerpo humano: transporta otros alimentos, transporta secreciones y es medio vital.
- Analizar el desdoblamiento de un hidrato de carbono en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Comprobar teóricamente las necesidades medias de calorías que deben conseguirse a través de los alimentos.
- Reconocer distintas formas de eliminar el agua por el cuerpo humano.
- Informar de algunos procedimientos previstos para proveer de agua a los tripulantes de viajes espaciales de larga duración.
- Explicar cómo se produce la sensación de sed.

## Desarrollo

En el apartado anterior decíamos que las plantas verdes sintetizaban la materia orgánica, consumida después directa o indirectamente por el hombre. Los procesos desencadenados en el organismo humano con intervención de las enzimas y del  $\text{O}_2$ , desdoblan finalmente aquellas sustancias (glúcidos, lípidos y proteínas) en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , con la consiguiente liberación de energía, energía captada del sol por la clorofila. Así es posible el mantenimiento de la vida. A tales procesos se les llama ciclos metabólicos.

Veamos un cálculo aproximado de la energía obtenible en la oxidación de los alimentos; por ejemplo, la glucosa:



recordando que el volumen ocupado por un mol (peso molecular en gramos) de un gas en condiciones normales ( $0^\circ\text{C}$  y 1 atm) es 22,4 litros el  $\text{O}_2$  consumido es  $22,4 \times 6 = 134,5$  litros. Es decir, que 1 litro de oxígeno libera aproximadamente 5 cal al actuar sobre una molécula de glucosa.

Midiendo el volumen de oxígeno consumido se pueden calcular las calorías que se liberarán. En esta proposición se apoyan los diagnósticos sobre dietas alimenticias a partir del conocimiento del metabolismo basal del individuo. El consumo de calorías para mantener el equilibrio térmico del cuerpo puede oscilar entre 3.000 y 6.000 por día, según la edad, salud y tipo de trabajo.

El agua producida no se incorpora al organismo, es eliminada por los diversos sistemas de excreción: orina, sudor, respiración y heces fecales. Teniendo en cuenta además que el agua es el medio de transporte de todas las sustancias ingeridas o segregadas en el propio cuerpo, ya sea como disolvente o formando parte de la sangre, de la linfa y del protoplasma de todas las células y que parte de este agua también se elimina en las

excreciones, es obvia la necesidad que tenemos de reponerla. Y no basta con tomar alimentos que según vimos en el primer apartado contienen una considerable proporción de agua, hay que beberla directamente o, a lo sumo, mediante bebidas que la contengan en abundancia (caldos, zumos, jugos, leche...). Y esto es así porque el cuerpo humano es, en cierto modo, una máquina química, sincronizada esencialmente por el comportamiento de todas las sustancias en medio acuoso. De lo contrario no sería posible la digestión ni todos los procesos consecutivos que la completan: circulación, respiración y excreción.

En el resto del reino animal ocurre igual, dándose casos como el camello que puede soportar hasta siete días sin beber agua, porque en el estómago tiene como unas celdas donde deposita el agua, que según las necesidades, va vertiendo al estómago.

Dada la incuestionable necesidad del agua para mantener la actividad vital, los técnicos encargados de los viajes espaciales tripulados han tenido que estudiar cómo dotar a los astronautas de la cantidad de agua necesaria por día (2 litros aproximadamente).

El problema planteado es que no se puede transportar en grandes cantidades, ya que las naves deben mantenerse lo más ligeras posibles. Para los viajes de permanencia larga, pensando sobre todo en los habitantes de las futuras estaciones espaciales han diseñado en la Nasa, según Alberto Fesquet, tres posibles soluciones:

- La combinación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), expulsado en la respiración con un hidróxido para obtener carbonato y agua.
- El agua que resulta como efecto secundario de la combinación del hidrógeno con el oxígeno, en las pilas de combustibles que llevan a bordo.
- La recuperación y posterior regeneración automática de toda el agua expulsada por las secreciones y excreciones del organismo humano: transpiración, orina, heces.

De la misma manera que en los vegetales la incorporación del agua y las sales minerales del suelo pasaban a los tejidos mediante ósmosis, así el agua y las sales se incorporan a las células y tejidos humanos.

En un hombre que pese alrededor de 65 kg hay aproximadamente 40 litros de agua, de los que 28 litros forman parte de las células. De los 12 litros de agua extracelular, 2 ó 3 litros están en el plasma sanguíneo; el resto, alrededor de los tejidos superficiales de los vasos sanguíneos. Siendo esta proporción la que el cuerpo ha de mantener, compensando las pérdidas con la ingestión diaria de agua.

La regulación de la cantidad de agua en el organismo va paralela con la del sodio, y en ambas intervienen activamente los riñones. La sensación subjetiva de la sed está provocada por una reducción del volumen líquido extracelular o por el aumento de osmolaridad, es decir, de la presión osmótica debido al aumento de la concentración de sales. Igualmente se produce en los animales y



en el hombre un apetito de sal, habiendo sido este producto objeto de riqueza en otros tiempos e incluso hoy países desarrollados como EE.UU. tienen un consumo promedio de sal de 10 a 15 g/día, cuando las necesidades normales son de unos 0,5 g/día. La contrapartida de lo que puede llamarse el «lujo de la sal» es que tomada en demasía contribuye a trastornos de hipertensión arterial.

En el hipotálamo se encuentran las glándulas que segregan la angiotensina, hormona recientemente descubierta que estimula la sed, cuando se descompensa la proporción normal de sales y agua.

Si hay una excesiva pérdida de agua —diarrea, hemorragias— se pueden producir situaciones incluso mortales, son los casos de deshidratación. Las células necesitan agua para su actividad tomándola si es preciso de la sangre, de la linfa y de los líquidos extracelulares, con el consiguiente aumento en ellos de la concentración de sales. En estos casos el volumen circulatorio disminuye, la sangre se mueve con más dificultad al aumentar su densidad y puede producirse un colapso irreversible. Por esta razón, aunque se tenga sed el agua salada no la calma; al contrario, la acrecienta porque sube la proporción de sal.

### Actividades

— Realizar las siguientes experiencias:

- Calentemos a fuego muy lento un poco de pan en un tubo de ensayo. Observaremos cómo se empaña el tubo; el pan, alimento tomado a diario contiene gran cantidad de agua.
- Echemos unas gotas de ácido acético en un vaso de leche; se coagula separándose el cuajo, sólido, del suero, líquido. Esta contiene una alta proporción de agua y lactosa, que es un azúcar reconocible mediante el licor de Fehling, ¿sabrás cómo hacerlo?
- El agua contiene sales en disolución. Calentando unas gotas de agua sobre una lámina metálica, se observa cómo dejan un residuo al evaporarse. Si la prueba se hace con agua salada el residuo es mayor.

- Explicar en una lámina o modelo anatómico la presencia del agua en los procesos vitales (digestión, respiración, circulación...).
- Informarse entrevistando a un médico especialista en nutrición de algunos tipos de dietas alimenticias diferentes, de las calorías que corresponden a cada una y por qué las dietas son distintas de unos individuos a otros.
- Hacer un mural donde se resuman elementalmente el metabolismo de los glúcidos, de los lípidos y de las proteínas. Destacar el papel de las glándulas en estas transformaciones químicas y la presencia final del  $H_2O$  en todas ellas.

— Resolver:

- Qué porcentaje hay de agua en un kg de pan si su composición química es aproximadamente:

agua	400 g
sales minerales	10 g
glúcidos	500 g
lípidos	10 g
gluten (prótido)	80 g

- Teniendo en cuenta que 1 g de glúcidos aporta al organismo 4 calorías; 1 g de prótidos 4 calorías y 1 g de lípidos 9 calorías, hacer una dieta equilibrada de 2.500 calorías para una persona de 70 kg, teniendo en cuenta que las necesidades de prótidos son de un gramo por kg de peso del individuo y día; y las de lípidos, aproximadamente igual. El resto puede tomarse en glúcidos.
- Calcular la concentración de NaCl, en moles/litro, de una disolución preparada con 500 g de agua y 20 de sal.  $Cl = 35,5$ ,  $Na = 23$ .

## Clases de aguas

### Objetivos

- Clasificar las aguas en dulces y saladas, reconociendo que todas tienen sales en su composición.
- Diferenciar disolución y suspensión.
- Conocer alguna prueba para determinar la existencia de microorganismos en el agua.
- Distinguir los siguientes procedimientos de depuración: decantación, filtración y destilación.
- Enunciar las propiedades del agua potable y algunas medidas para asegurar su potabilidad en caso de dudas.
- Conocer la composición y propiedades del agua del mar.
- Distinguir las formas de vida según las clases de aguas.

### Desarrollo

Desde un punto de vista biológico la clasificación de las aguas en saladas y dulces es la más aceptable, pues los seres vivos que habitan en unas y en otras están claramente diferenciados.

Pueden, por tanto, considerarse como aguas dulces las continentales, subterráneas y superficiales y éstas clasificables, a su vez, en estancadas (charcas, lagos y estanques) y corrientes (ríos, arroyos y torrentes); y como saladas, las de los mares y océanos.

No hay que interpretar la denominación «aguas dulces» como «aguas puras». En la naturaleza no existe el agua pura. La más próxima a tal estado es la de lluvia; pero aún en este caso contiene en



disolución gases existentes en el aire y en la atmósfera y partículas sólidas dispersas en el aire.

Las impurezas contenidas en las aguas dulces pueden estar disueltas o en suspensión, según sean las sustancias que el agua encuentra en su recorrido. Por ejemplo, la cal, la sal común son muy solubles; la arcilla y la arena, no. Según J. A. Babor, el Mississippi descarga anualmente en el Golfo de México 560 billones de litros de agua con unos 150 millones de toneladas de materias en disolución y unos 400 millones de toneladas en suspensión.

Además de las sustancias minerales, las aguas dulces pueden contener otros tipos de impurezas: los residuos orgánicos en descomposición. Lo que indica la existencia de microorganismos que se alimentan de tales residuos, siendo a veces transmisores de enfermedades contagiosas (tifus, cólera...). Las aguas corrientes suelen ser más potables que las estancadas.

Una prueba sencilla para detectar impurezas orgánicas en el agua se consigue a partir de una disolución violácea de permanganato potásico en la proporción de 1 gramo por litro de agua. Vertiendo algunas gotas en el agua a reconocer ocurrirá que si ésta no contiene una significativa proporción de materias orgánicas se teñirá de rosa; si contiene se quedará incolora porque al oxidar dichas materias el permanganato se descompone. Según la cantidad de permanganato que deba añadirse hasta colorear el agua, podrá juzgarse el grado de impureza.

Las sales presentes generalmente en las aguas de los manantiales, aguas dulces, son de sodio, potasio, magnesio, calcio y hierro fundamentalmente; carbonatos, bicarbonatos y sulfatos. Cuando contiene cantidades apreciables de sales de calcio y magnesio, se llaman aguas duras. Las aguas blandas lavan y disuelven mejor.

El conocimiento de las impurezas es necesario y previo a la utilización del agua. Según a lo que se destine serán o no admisibles determinadas proporciones de impurezas. Entre los diversos procedimientos de eliminación de impurezas pueden destacarse los siguientes:

- Decantación, adecuado para separar las materias en suspensión. Se deja el agua reposar cierto tiempo, al cabo del cual las partículas sólidas se quedan en el fondo.
- Filtración, es más rápido que el anterior. Se puede hacer pasando el agua por tamices o por sustancias porosas de manera que queden retenidas las partículas sólidas. Las sustancias porosas más empleadas son: carbón vegetal, esponja, tierra de alfarero, grava muy fina, porcelana sin vidriar, papel de filtro.
- Destilación. Es el procedimiento que proporciona el agua más químicamente pura. Está basado en la vaporización y posterior condensación del vapor de agua. Por su pureza este agua se utiliza en trabajos de laboratorio, en la preparación de medicamentos, en las baterías de los automóviles, etc. En cambio no es apta para beber porque está privada de elementos inorgánicos y orgánicos, así como de aire en disolución que la hacen indigesta.

Ya hemos visto cómo el agua es la bebida por excelencia. Desde los tiempos más remotos cualquier concentración humana ha procurado asentarse allí donde el suministro de agua sea más abundante.

El agua utilizada en el hogar es el agua potable, que debe reunir las siguientes condiciones:

- Transparente, incolora, inodora e insípida. Fresca, aireada y bacteriológicamente pura.
- Cargada ligeramente de sales minerales (1 g/l, como máximo).
- Hacer espuma con el jabón y cocer bien las legumbres.
- No descomponerse conservada en recipientes cerrados.

Para asegurar la potabilidad de un agua se somete a tratamientos físico-químicos antes de ser consumida. Cuando haya dudas conviene hervirla durante unos 15 minutos, tiempo suficiente para eliminar los microorganismos. También es útil la lejía de hipoclorito usada en el blanqueo de la ropa, echando unas gotas de lejía por litro de agua. Si se utiliza un filtro hay que limpiarlo diariamente ya que las bacterias se van acumulando en él y provocarían más contaminación que limpieza.

En el agua de mar el contenido de cuerpos disueltos es del orden de 40 g por kg de agua, de los que aproximadamente 30 g son de cloruro sódico (NaCl). Un agua de estas características se considera «agua salada».

Otras sales contenidas en el agua de mar son: cloruro magnésico, cloruro potásico, bromuro magnésico, sulfato magnésico, sulfato cálcico y carbonato cálcico, además de elementos diversos (iodo, fluor, boro, hierro y manganeso). En cuanto a gases, el agua del mar suele tener disueltos nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno.

El agua salada tiene una densidad superior a la dulce, 1,028 g/cm<sup>3</sup> y un sabor característico. Es ligeramente alcalina, enrojece la fenoltaleína. La temperatura del agua de mar, en su superficie, desciende a 0° cerca de los polos y puede alcanzar hasta 30° en algunas zonas tropicales. En las grandes profundidades, las temperaturas son muy bajas.

El agua de mar absorbe parte de la luz solar, el hombre puede ver dentro de ella hasta profundidades próximas a los 200 metros, a partir de las cuales la oscuridad es total.

Que el agua en la Naturaleza no sea químicamente pura se debe a la propiedad ya comentada de su poder disolvente. Característica relacionada con la distribución asimétrica de sus cargas eléctricas y, sobre todo, por el alto valor de su constante dieléctrica. Según la ley de Coulomb las fuerzas entre cargas se calcula mediante:

$$f = \pm \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q \cdot q'}{d^2}$$

donde  $\epsilon$  representa la constante dieléctrica del medio que rodea a las cargas.

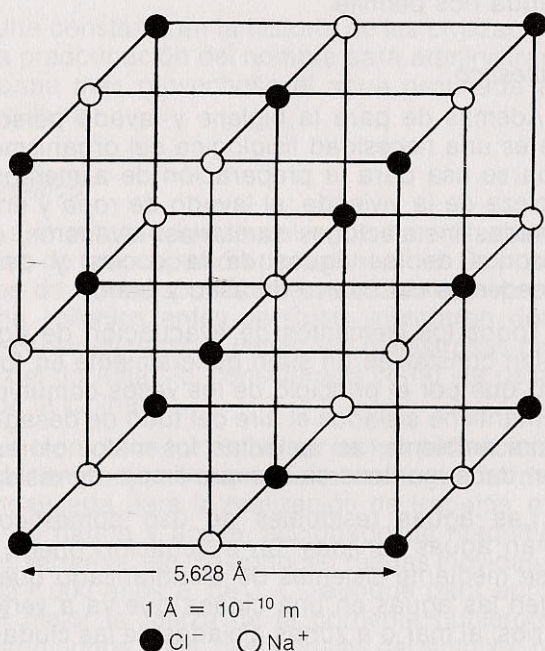


Si los cuerpos cargados están en el agua las fuerzas, atractivas o repulsivas, son ochenta veces menores que en el aire.

Sustancia	Condiciones	Constante dieléctrica
Aire	Gas, 0°C, 1 atm	1,00059
Acido clorhídrico, HCl	Gas, 0°C, 1 atm	1,0046
Agua, H <sub>2</sub> O	Gas, 110°C, 1 atm	1,0126
Agua, H <sub>2</sub> O	Líquido, 20°C	80
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	Líquido, -34°C	22
Cloruro sódico, NaCl	Cristal, 20°C	6,12
Azufre, S	Sólido, 20°C	4,0
Cuarzo, SiO <sub>2</sub>	Cristal, 20°C	4,30
Porcelana	Sólido, 20°C	7
Vidrio Pyrex 7070	Sólido, 20°C	4,00

FUENTE: Beskeley Physics Course. Vol. 2.

El cloruro sódico NaCl tiene una estructura cristalina formada por iones positivos y negativos según se ve en la figura. En agua las fuerzas electrostáticas entre iones disminuyen de tal manera que fácilmente se produce la descomposición de los cristales y consiguiente separación de Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>.



Consideremos, finalmente, cómo según las clases de aguas así son las formas de vida posibles.

#### Aguas dulces estancadas

La vida en las aguas puede diferenciarse en dos categorías: el bentos, formado por animales y vegetales que viven en el fondo, y el plancton por los que viven en la superficie. En ambos casos la distribución de seres vivos está ligada al reparto de vida vegetal. El bentos de la región litoral lacustre es rico en especies vegetales, la fauna es intermedia entre la terrestre y la acuática. Hay cañas, juncos, espadañas, patos, batracios (ranas, tritones), moluscos, gusanos; más alejado del litoral se dan nenúfares y animales exclusivamente acuáticos (peces). En la región profunda, a partir de 15 metros, las condiciones de presión, temperatura, luminosidad y composición del agua hacen que haya menos seres vivos que en la litoral.

Los seres vivos del plancton son microscópicos que nadan o flotan sobre las superficies. Pueden destacarse entre los animales: protozoos, crustáceos, larvas de insecto, gusanos. Entre los vegetales, las diatomeas y las algas verdes. El plancton tiene una considerable importancia para el mantenimiento de la vida animal en charcas, lagos y estanques.

#### Aguas corrientes

Aunque las características del agua son parecidas a las estancadas, el efecto de la corriente y de la temperatura condiciona el tipo de vida. La fauna de estas aguas está determinada por su resistencia a la velocidad de la corriente. A partir de ciertos límites los peces son arrastrados; por ejemplo, la trucha desde 4,5 m/s; el barbo, 0,5 m/s; la carpa, 0,4 m/s.

La temperatura es otro importante factor porque el oxígeno es tanto más soluble en agua cuanto más baja es la temperatura de ésta. Así, la trucha puede vivir en torrentes y ríos de altura, con temperaturas de unos 18°C en verano. Y los ciprínidos (carpa, tenca, lucio), en los ríos de llanura que en verano superan los 20°C.

#### Aguas saladas

En la zona litoral hay algas verdes y plantas fanerógamas que necesitan gran cantidad de luz, la fauna está constituida por crustáceos, cefalópodos, esponjas, peces, etc. Es la zona más favorable para la pesca.

En la zona batial, entre los 200 y 3.000 metros de profundidad la fauna es pobre. Además de peces, se encuentran crustáceos, equinodermos, esponjas, moluscos.

En la zona abisal, que se extiende hasta 6.000 metros, los peces están adaptados a las altas presiones, son frecuentemente ciegos y fosforescentes. La fauna de esta zona se nutre de la materia orgánica depositada en el barro del fondo, formado por los restos de animales y plantas descompuestas después de su muerte.

En la zona pelágica, que constituye la zona superficial de alta mar, se encuentra el plancton, protozoos, celentéreos, gusanos, larvas, huevos y alevines de peces, así como una rica variedad de algas microscópicas.

#### Actividades

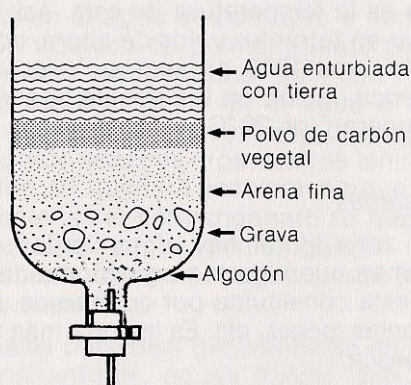
— Realizar las siguientes experiencias:

- Destilación del agua. Mediante un recipiente de vidrio y un tubo largo de vidrio o de goma, puede construirse un sencillo alambique. Probar el sabor del agua antes y después de destilada. Explicar los cambios de estado que se producen.
- Flotación. Sumergir un huevo en un vaso de agua potable. Añadir poco a poco sal y disolverla. Se conseguirá que el huevo flote, ¿por qué?



c) Equilibrio térmico. Calentar agua en un vaso de precipitados hasta que el termómetro marque  $80^{\circ}\text{C}$ . Introducir en el mismo vaso un tubo de ensayo con agua a temperatura ambiente que pueda verse en otro termómetro dentro del tubo de ensayo. Id anotando cada 30 segundos la temperatura leída en ambos termómetros. ¿Qué se observa al cabo de unos minutos? Representar gráficamente el proceso.

- Informarse cómo llega el agua potable a los hogares en vuestra localidad. Hacer un esquema de la red de distribución. Cada alumno señalará su casa en el esquema.
- Dibujar un corte ideal en una zona que tenga una laguna de manera que puedan situarse en tierra y en las distintas profundidades del agua los animales y plantas que en ellas habitan.
- Construir un filtro como el indicado en la figura:



- Resolver:
  - a) Comparar las fuerzas con que se atraen dos cargas eléctricas de  $+5$  y  $-5$  C (coulombios) separadas 10 cm, situadas en el aire y en el agua.
  - b) Teniendo en cuenta los datos sobre materiales que anualmente descarga el río Mississippi en el Golfo de Méjico, calcular la cantidad descargada por litro y día.
  - c) Representar gráficamente (espacio/tiempo) el movimiento de un pez con una velocidad media de 4 m/s durante 1 hora.

## El agua al servicio humano

### Objetivos

- Explicar la necesidad del agua en los siguientes usos: doméstico, agropecuario, energético, industrial y público.
- Conocer procedimientos de evacuación de aguas servidas o utilizadas.

- Destacar que el uso del agua en la agricultura supera en un elevado porcentaje al resto de los usos juntos.
- Conocer algunas medidas para aprovechar el agua en la agricultura: barbechos, embalses, acequias.
- Valorar el papel del agua en las revoluciones industriales de la Humanidad.
- Enumerar aspectos industriales en que el agua interviene como elemento necesario para la producción.
- Explicar el papel del agua pesada en pilas y reactores.
- Explicar qué son las aguas minerales, sus clases e importancia sanitaria.

### Desarrollo

Ya hemos visto cómo el hombre necesita el agua desde un punto de vista orgánico, pasemos a comentar otros aspectos de los múltiples usos que el agua nos permite.

#### Doméstico

Además de para la higiene y lavado personal, que es una necesidad fisiológica del organismo, el agua se usa para la preparación de alimentos, la limpieza de la vivienda, el lavado de ropa y en las llamadas instalaciones sanitarias: lavaderos, evacuadores de las aguas de la cocina y de las procedentes del cuarto de aseo y baño.

Todos los elementos de evacuación de aguas suelen constar de un sifón generalmente en forma de U que por el principio de los vasos comunicantes mantiene aislados el aire del tubo de desagüe y el aire ambiente, así se evitan los malos olores. El sifón debe mantenerse siempre limpio de residuos.

Las aguas residuales de uso doméstico se llaman aguas servidas. Su evacuación puede hacerse mediante sistemas de alcantarillado que recogen las aguas en una cloaca que va a verter a los ríos, al mar o a zonas alejadas de las ciudades, donde ha de procurarse su depuración.

Cuando no hay un sistema cloacal se recurre a los sumideros para las aguas de la cocina y lavado de ropa; y a los pozos negros y pozos sépticos, para las del cuarto de baño.

#### Agropecuaria

Como se ve en el gráfico representado en el cartel a este uso se destina más del 75 por 100 del agua consumida. Esta preeminencia está justificada por la importancia que para la vida tiene el reino vegetal. Respecto al ganado las necesidades de agua son similares a las señaladas en el hombre, incluyendo el agua precisa para mantener en buen estado de salubridad los lugares destinados a ser habitados por las distintas especies animales (cuadras, establos, cochiqueras, gallineros, palomares, etc.).

En cuanto al cultivo de la tierra un sistema utilizado para combatir la sequía de algunos luga-



res es dejar una temporada sin cultivar, en barbecho, de manera que el terreno se reponga de sustancias nutritivas. Donde la lluvia es abundante y regular no es necesaria esta práctica. Otra importante solución es la construcción de embalses y una amplia red de acequias convirtiendo en regadío un terreno seco y, a veces, casi incultivable.

La búsqueda de sistemas de riego es tan antigua como el hallazgo de la agricultura. Algunas técnicas primitivas aún se usan, tal como el cigoñal que ya en el segundo milenio a. de J. C. se usaba para regar los datileros, las viñas, las huertas y los jardines.

Se han encontrado numerosos vestigios de presas construidas en la antigüedad. En Siria, existe un dique de piedra de 2,5 km de longitud fechado aproximadamente el año 1300 a. de J. C.

En la actualidad se practican los cultivos hidropónicos que consiste en suministrar a las plantas las soluciones minerales que precisan preparando adecuadamente el agua para su riego. Es un procedimiento utilizado allí donde apenas hay vida vegetal.

Una constante en la historia de las civilizaciones es la preocupación del hombre para administrar de la forma más provechosa el agua destinada a la agricultura.

### *Energético*

La impetuosa fuerza del agua ha sido siempre motivo de preocupación para el hombre. Se poseen datos de auténticos ingenieros hidráulicos que en China, milenios antes de Cristo intentaron domar, consiguiéndolo a veces, las desastrosas crecidas del río Amarillo, considerado como «la pesadilla de la China».

La técnica de los embalses se fue perfeccionando, al tiempo que se aprovechaba el agua corriente y encauzada para la realización de trabajos: molinos de harina y aceite, accionado de maquinaria textil, serrerías, etc. Se conocen ruedas movidas por agua 4.000 años a. de J. C., aunque para aprovechar mejor la fuerza de la corriente hubieron de pasar muchos años, hasta finales del siglo XIX, para que se idearan mecanismos de transmisión capaces de mejorar los rendimientos.

El invento de la turbina en 1849 fue decisivo. Mejoradas éstas y desarrollados los conocimientos sobre Electromagnetismo que permitieron en 1867 la construcción de la primera dinamo, por von Siemens, el agua vuelve a ser la gran protagonista de una nueva revolución industrial: la derivada de la producción a gran escala de energía eléctrica. Ya había sido el agua, en su forma de vapor, protagonista de la llamada primera revolución industrial: la derivada del invento de la máquina de vapor.

### *Industrial*

La producción de energía eléctrica y su posterior distribución a hogares, industrias, centros comerciales y de recreo, viene contribuyendo a la modificación de las formas de vida. Actualmente sería imposible sobrevivir sin grandes dificultades si nos viéramos privados de la corriente eléctrica. Una

parte de esa electricidad proviene de los saltos hidroeléctricos.

Esta es, por una parte, la aportación del agua a la industria; por otra, se utiliza como medio de limpieza y como refrigerador de la maquinaria. Pero hay más, y es que en casi todos los productos fabricados el agua tiene una intervención directa, forma parte de los elementos indispensables para la producción.

Es necesaria en la industria química, donde se elaboran sustancias para laboratorios de investigación, colorantes sintéticos, fertilizantes, medicamentos; en la metalúrgica, como separador de minerales, por el tratamiento de la fundición; en la alimentación, para lavado de productos a envasar o congelar; en la textil, papelería, cinematográfica, madera, etcétera.

En la industria del automóvil y otros vehículos a motor ha tenido y tiene un importante papel en la propia fabricación, así como en la vulcanización del caucho para ruedas y neumáticos y en la obtención de combustibles. Los procedimientos iniciales en la perforación de yacimientos petrolíferos se realizaban mediante sondeos con tubos huecos de perforación por los que se inyectaban chorros de agua a presión que iban retirando los materiales de desecho del extremo del taladro. Incluso la destilación del petróleo se hizo inicialmente en alambiques calentados con vapor de agua.

También se utiliza el agua en algunos instrumentos de medida: niveles de agua, manómetros. Y en aparatos tan útiles como la prensa hidráulica. Actualmente algunos usos del agua en este sentido son sustituidos por dispositivos con aire comprimido.

Una aplicación más que puede encuadrarse en la industria es la del agua pesada en algunos reactores nucleares productores de electricidad, y en pilas atómicas. El papel del agua pesada es de moderador de neutrones. Recordemos que el agua pesada —D<sub>2</sub>O— tiene en su estructura un isótopo de hidrógeno, el deuterio, en lugar del protio que es del agua normal. El deuterio tiene 1 protón y 1 neutrón, por lo que su masa atómica es doble que el del protio, que sólo tiene en su núcleo 1 protón. El peso molecular del agua pesada es 20.

### *Público*

En este apartado englobamos todos los usos que directamente puede disfrutar la población y que, por lo general, son servicios promovidos desde las instituciones públicas.

Higiénico y Sanitario. Tales como la limpieza de ciudades, riego de parques y jardines, red de saneamientos y desagües. Y en el sentido más estrictamente sanitario las instalaciones públicas para la salud (hospitales, sanatorios). Un uso sanitario, aunque más a nivel individual que público, es el proporcionado por las aguas minerales. Son aguas de manantial procedentes de zonas profundas de la tierra que al atravesar las capas geológicas arrastran materias minerales. Según sean éstas hay: aguas ferruginosas, contienen hierro; sulfurosas, sulfuros; alcalinas, carbonato de sosa. Cada una tiene alguna peculiaridad médica. Así como las



aguas medicinales utilizadas en los balnearios para dolencias reumáticas, artrosis y otros trastornos orgánicos. El agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) también tiene una considerable importancia sanitaria.

Servicios de socorro. Como los bomberos que actúan tanto en caso de incendio como de inundaciones.

Medio de transporte. En la navegación de superficie y submarina. En este segundo caso como recurso de defensa nacional.

Deportivo y recreativo. En ríos, playas, lagos, embalses, piscinas públicas.

Artístico. Es el caso de las fuentes luminosas, que además de favorecer el medio ambiente, manteniendo un nivel de humedad atmosférica adecuado, son, en algunos casos, verdaderas obras de arte e ingeniería. También el agua ha sido motivo ornamental en palacios y monumentos.

### Actividades

- Realizar las siguientes experiencias:
  - a) Acción motriz del vapor de agua. Colocando un corcho que ajuste bien en un tubo de ensayo con un poco de agua, se puede comprobar cómo la acumulación de vapor expulsa el corcho. No apretar el corcho para evitar que estalle el vidrio.
  - b) Principio de Arquímedes. Por su importancia para la navegación marítima es una experiencia interesante. Comprobar cómo la forma influye en la flotación: tomar una cantidad de plastilina, hecha una bola de hundirá; extendida, dándole forma de cuenco, ¿qué observamos?
  - c) Transformación de energía mecánica en eléctrica (generador). Al girar el volante con la mano, el rotor oscila dentro del campo magnético producido por los imanes; se genera corriente eléctrica. Relacionar este hecho con la producción de energía eléctrica en una central hidráulica.
- Elaborar un cuestionario para plantearse a un agricultor sobre el uso que hace del agua en los distintos cultivos y cría de ganado.
- Comentar en clase lecturas alusivas a las revoluciones industriales derivadas de la máquina de vapor y del uso de la energía eléctrica.
- Hacer una maqueta de una central hidráulica, donde se vea el embalse y algunos detalles alusivos y la zona del generador.
- Resolver:
  - a) Calcular la energía cinética con que llega a la base de una presa de 50 m de altura, 1 Tm de agua.
  - b) ¿Cuántos grados se podría calentar si la energía calculada en a) se convirtiera en calor?
  - c) Una prensa hidráulica tiene un émbolo pequeño de sección  $15\text{ cm}^2$  y el grande  $1.000\text{ cm}^2$ . Si se aplica en el primero una fuerza

de 500 Newtons, ¿qué fuerza se obtiene en el segundo?

## Aprovechemos mejor el agua

### Objetivos

- Conocer las consecuencias catastróficas a que puede conducir una falta de previsión en el consumo de agua.
- Reconocer la necesidad de disponer de medidas adecuadas para la conservación del buen estado de las aguas disponibles, según los usos a que se destinen.
- Valorar la conveniencia de explorar nuevos acuíferos.
- Informar de la actividad desarrollada por algunos organismos en relación con el uso del agua.
- Conocer y practicar formas de actuación, individual y colectiva, en el consumo racional del agua.

### Desarrollo

Ya hemos visto la importancia del agua y la diversidad de usos a los que necesariamente se destina. Por esta razón y porque, como veremos seguidamente, el agua no es un bien inagotable es preciso habituarse a usarla evitando el despilfarro.

Son frecuentes las ocasiones en que el agua se desperdicia, sin que seamos conscientes de que está suponiendo una auténtica pérdida de algo valioso. El riego excesivo, a veces inundando los cultivos o jardines; el escape por cañerías o rebosamiento de canales y depósitos, sin darles importancia; el lavado de herramientas, utensilios domésticos, materiales y vehículos con más agua de la necesaria; la utilización de agua de buena calidad para servicios que pueden hacerse con aguas más inferiores..., son ejemplos de la despreocupación e indiferencia con que generalmente se considera el uso del agua. Es frecuente también que cuando se pone remedio al desperdicio del agua no sea por el valor que le reconocemos, injustamente bajo, sino para evitar posibles perjuicios de otra índole (inundaciones, derribos, oxidación...). Veamos por qué tenemos que habituarnos a aprovechar mejor el agua.

La cantidad de agua en nuestro planeta es prácticamente constante, reciclándose cada año unos  $500.000\text{ km}^3$  que vierten  $390.000\text{ km}^3$  sobre los océanos y  $110.000\text{ km}^3$  sobre los continentes.

En cambio, la población aumenta incesantemente: En 1900 había 1.600 millones de habitantes; hoy superamos los 4.000 millones; y para el año 2000 se prevén 7.000 millones.

Obviamente el agua disponible deja de ser abundante en cuanto aumenta el número de consumidores y más si las cifras son del orden que acabamos de citar. Por lo tanto no se puede pretender un mejor nivel de vida si no se procura el



agua de buena calidad imprescindible para la vida, como venimos viendo a lo largo del tema. Conscientes de la gravedad del problema, pues aunque exista agua no siempre reúne las condiciones requeridas para ser usada sin peligro, la ONU decidió durante la conferencia sobre el agua celebrada en Mar del Plata (Argentina) en 1975 que la década 1980-90 fuera proclamada «Década Internacional del agua potable y su saneamiento».

La situación es preocupante. Existen informes científicos, como el de los soviéticos Korzoun y Sokolov, que pronostican hacia el 2015 un agotamiento de los recursos de agua consumible en las regiones habitadas de la tierra. Sin llegar a extremos tan desoladores, sí hay que recordar las catastróficas consecuencias para las producciones agrícolas mundiales de la sequía de 1972. En ese año hubo un déficit de 400 km<sup>3</sup> en la parte correspondiente al agua vertida en los continentes en el ciclo del agua. La recolección de cereales, por ejemplo, disminuyó en 35 millones de Tm. El número de muertos por hambre aumentó de forma importante.

En España aún estamos bajo las secuelas de la sequía de 1981 que ha tenido a muchos pueblos con el agua racionada, y muchas cosechas se vieron perdidas. Como consecuencia de la escasez de algunos productos se encarecen los existentes y, por otra parte, aumenta el gasto público al tener que subvencionar necesariamente las zonas sinistradas.

En el sentido preventivo, conservador y racionalizador del consumo de agua, la Reunión de la Asamblea Consultiva del Consejo de Europa, celebrada el 6 de mayo de 1968 en Estrasburgo, promulgó la Carta Europea del Agua que contiene los siguientes puntos:

- Sin agua no hay vida posible. Es un bien preciado, indispensable a toda actividad humana.
- Los recursos en agua dulce no son inagotables. Es indispensable preservarlos, controlarlos y, si es posible, acrecentarlos.
- Alterar la calidad del agua es perjudicar la vida del hombre y de los otros seres vivos que de ella dependen.
- La calidad del agua debe ser preservada de acuerdo con normas adaptadas a los diversos usos previstos y satisfacer, especialmente, las exigencias sanitarias.
- Cuando las aguas, después de utilizadas, se reintegran a la Naturaleza no deberán comprometer el uso ulterior, público o privado que de ésta se haga.
- El mantenimiento de la cobertura vegetal adecuada, preferentemente forestal, es esencial para los recursos hídricos.
- Los recursos hídricos deben inventariarse.
- Para una adecuada administración del agua es preciso que las autoridades competentes establezcan el correspondiente plan.
- La protección de las aguas implica un importante esfuerzo, tanto en la investigación científica

como en la preparación de especialistas y en la información del público.

- El agua es un patrimonio común, cuyo valor debe ser reconocido por todos. Cada uno tiene el deber de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla.
- La administración de los recursos hidráulicos debería encuadrarse más bien en el marco de las cuencas naturales que en el de las fronteras administrativas y políticas.
- El agua no tiene fronteras. Es un recurso común que necesita de la cooperación internacional.

Aunque las medidas para mantener la utilidad del agua en los distintos servicios a que se destinan han de tomarse a gran escala, dentro de la acción social de los gobiernos e instituciones, es posible contribuir con una aportación personal y colectiva, dentro del entorno escolar, a la mejor utilización del agua.

Con esta finalidad se incluyen en el cartel algunas instrucciones fácilmente realizables, a las que habrán de añadirse aquellas que se consideren oportunas según las características de cada hogar y de cada localidad. De esta manera la escuela estará cumpliendo, una vez más, la misión a que está destinada: formar individuos y ciudadanos responsables.

### Actividades

- Elegir algunas actividades (cultivar la tierra, fabricar un coche, leer un libro...), averiguar las dificultades que se plantearían si escaseara el agua.
- Que cada alumno compruebe leyendo el contador de agua o el recibo de consumo, la cantidad de agua por persona y día consumida en su casa. Hacer una gráfica con el resultado y calcular el consumo en cada casa al cabo de un año.
- Elaborar una lista de posibles acciones tendientes a reducir el consumo de agua en el hogar. Poner en práctica las normas establecidas.
- Realizar las actividades anteriores tomando como objetivo el agua consumida en la escuela.
- Hacer un mural con todos los usos públicos del agua en la localidad.
- Elaborar una encuesta para investigar el uso del agua en la localidad, la que se consume ahora y hace cinco años, por ejemplo. Comparar y estudiar si podría reducirse el consumo sin rebajar la calidad de vida de los vecinos.
- Hacer un coloquio en clase con el tema: «El agua, fuente de vida que puede agotarse».
- Invitar a clase a alguna persona vinculada con la distribución de aguas en la localidad para que hable sobre las existencias de agua; cómo se reparte; si ha habido épocas de escasez; agua destinada a la agricultura, su procedencia y reservas; impresiones sobre el futuro de los acuíferos que sirven a la localidad.



- Comentar cada uno de los puntos de la «carta del agua».
- Hacer una relación de actos que celebraríais con motivo del «Día Mundial del Agua».

## Bibliografía consultada y recomendada

- ALBERTO E. J. FESQUET, El agua. Buenos Aires, Kapelusz, 1976.
- B. DOMÍNGUEZ, El agua fuente de vida. Buenos Aires, Kapelusz, 1973.
- E. N. EDMUNDS, J. B. HOBLYN, Historia de los cinco elementos. Madrid, D. Jorin, 1918.
- Colección «M.S.» de Ciencias Naturales. Barcelona, Montaner y Simón, 1977.

I. V. PETRIANOV, La sustancia más extraordinaria del mundo. Moscú, Mir, 1980.

LINCOLN BARNETT, El Mar, México, Moraro, 1969.

Nuevo manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires, Edhasa, 1979.

J. A. BABOR y JOSÉ IBARZ, Química general moderna. Barcelona, Marín, 1963.

M. CHINERY, Biología. Buenos Aires, Kapelusz, 1973.

Ciencias de la Naturaleza (I). Guía para el desarrollo de actividades y experiencias. Madrid, Dirección General de Educación Básica, 1981.

Mundo científico, «Desalinización del agua de mar», n.º 3. Barcelona, 1981.

M. DRIEUX y otros, Ciencias aplicadas. Buenos Aires, Kapelusz, 1963.

Asociación Nacional de Ingenieros de Minas, Las aguas subterráneas en España, presente y futuro. Madrid, 1978.



## **2. AGUA Y NATURALEZA**

***2.1. Balance del agua en la naturaleza***

***2.2. El ciclo hidrológico***

***2.3. Aguas continentales***

***2.4. Las aguas se pueden almacenar***

***2.5. La administración del agua en las cuencas hidrográficas***

***2.6. España es un país de lluvias irregulares***



## 2. Agua y Naturaleza

### *Introducción*

#### *Balance del agua en la Naturaleza*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *El ciclo hidrológico*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *Aguas continentales*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *Las aguas se pueden almacenar*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *La administración del agua en las cuencas hidrográficas*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *España es un país de lluvias irregulares*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

#### *Bibliografía consultada y recomendada*

### Introducción

Este capítulo de «agua y naturaleza», comienza con la presentación del balance hidrológico de la Tierra.

El seguimiento del ciclo del agua destacando los volúmenes que corresponden a cada una de sus residencias, nos permitirá señalar la importancia tanto de las aguas saladas como dulces.

Centrados en las aguas continentales presentaremos las distintas formas de almacenamiento de las aguas superficiales y subterráneas.

La regulación del agua en las Cuencas Hidrográficas Superficiales y Subterráneas nos permitirá indicar la posible intervención del hombre en el ciclo hidrológico.

Concluiremos valorando la presencia del agua en la Naturaleza para el desarrollo del hombre, recordando lo que decía Pierre Rondiére en su libro «La muerte del agua»:

«Presente, el agua es ignorada: bien común que se nos da con la existencia. Ausente o desaparecida, es más preciosa que el oro: en el desierto, un vaso de agua significa vida. Abundante, es riqueza, o bien catástrofe. Preciosa o peligrosa, indispensable y mortal, visible y misteriosa, está en todas partes y se escapa.»

### Balance del agua en la Naturaleza

#### Objetivos

- Conocer el balance total del agua en la Tierra.
- Hacer ver que la mayor parte del agua es salada.
- Identificar las principales reservas de agua dulce presente en la Naturaleza.
- Subrayar la importancia del volumen de las aguas subterráneas.
- Valorar la necesidad del aprovechamiento de los acuíferos subterráneos.
- Señalar que los volúmenes relativos se mantienen constantes.

#### Desarrollo

El agua cubre aproximadamente el 75 por 100 de la superficie de la Tierra, formando océanos y mares, hielos polares y glaciares, aguas subterrá-



neas, aguas superficiales (ríos, lagos...) y vapor atmosférico. Su volumen total se acerca a los 1.500 millones de kilómetros cúbicos. De esta cantidad aproximadamente un 97 por 100 es de agua salada que ocupa los océanos y mares y sólo el 3 por 100 es agua dulce. Pero estas reservas superan la demanda de cualquier necesidad imaginable de la población humana. Su volumen alcanza casi los 37 millones de km<sup>3</sup>, equivalente a diez veces el volumen del mar Mediterráneo.

#### RESERVAS TOTALES DE AGUA

Lugar	Volumen de agua en km <sup>3</sup>	Tanto por ciento
<i>Agua salada</i> en los océanos y mares	1.450.000.000	97,2
Lagos	100.000	0,008
<i>Agua dulce</i> en los casquetes polares y glaciares	29.000.000	2,2
Acuíferos profundos (a más de 1.000 m)	4.000.000	0,3
Acuíferos a menos de 800 m	4.500.000	0,31
Humedad del suelo	70.000	0,005
Lagos	130.000	0,009
Ríos	1.200	0,0001

Es verdad que más de las tres cuartas partes del agua dulce se encuentra retenida en forma de hielo en los casquetes polares y glaciares, pero su utilización por el hombre es muy remota y está muy lejos de sus posibilidades técnicas actuales. El espesor de un casquete glaciar puede ser de hasta 2.000 metros. Si hubiera un cambio climático brusco aumentaría el nivel medio de los océanos un centenar de metros, quedando sumergidas extensas zonas costeras.

Más de 8 millones de kilómetros cúbicos se encuentran en el subsuelo formando la principal reserva de agua dulce. Esta calificación de «principal reserva» no es un sencillo eufemismo, sino que se ajusta a la importancia de su volumen, a su calidad y sobre todo a su distribución, próxima al hombre, por el subsuelo terrestre. Sin embargo, todavía los acuíferos subterráneos no se aprovechan suficientemente, a pesar de las demandas crecientes de la agricultura y la industria, y de la exigente calidad del consumo humano.

En la actualidad, y con excepción de algunas zonas de Pakistán, EE.UU., Israel y otros países, las fuentes principales de agua dulce para cualquier aplicación lo constituyen las aguas superficiales (ríos, lagos...), que en su totalidad no alcanzan ni el 1 por 100 de las existencias totales de agua dulce. Todo esto nos lleva a subrayar y valorar la justa importancia de los embalses subterráneos o mantos acuíferos a la hora de solucionar el grave problema de algunas regiones debido a la escasez de agua.

Es hora de que se preste una atención especial a la identificación, detección de las características y explotación racional de los acuíferos subterráneos.

#### Actividades

- Coloquio sobre la distribución de los principales emplazamientos naturales del agua en el territorio español: mares, lagos, ríos, embalses..., vapor atmosférico, lluvias, nieve...
- Ejercicios de vocabulario construyendo frases con las palabras: ciclo hidrológico, precipitación, acuífero, casquetes polares, glaciares, vapor atmosférico...
- Ejercicios de conversión de las medidas de volumen: m<sup>3</sup>, Dm<sup>3</sup>, hm<sup>3</sup>, km<sup>3</sup>, relacionándolas con el litro.
- Calcular cuánto subiría el nivel de las aguas si se deshelaran los casquetes polares.

## El ciclo hidrológico

#### Objetivos

- Comprender el ciclo hidrológico del agua y su intermitencia.
- Valorar el proceso continuo de evaporación del agua debido a la radiación solar.
- Subrayar la importante aportación de agua dulce transferida por los océanos a los continentes.
- Indicar la necesidad de mantener y, en ocasiones, de intervenir el ciclo hidrológico.

#### Desarrollo

Los hombres de la Antigüedad se preguntaban: ¿de dónde procede el agua?, ¿por dónde circula?, ¿dónde se encuentra su manantial?, ¿y su almacén? El romano Vitrubio fue el primero en intuir hacia el año 90, que la evaporación, las nubes y las lluvias formaban ese camino que hoy llamamos ciclo hidrológico.

Hace unos 300 años, los franceses Perrault y Mariotte, después de medir las lluvias sobre la cuenca del Sena y el caudal del mismo en su desembocadura, llegaron a la conclusión de que ambas cifras guardaban cierta proporción. Edmund Halley demostró estadísticamente que las evaporaciones del mar Mediterráneo equivalían al conjunto de precipitaciones que tenían lugar en su área de influencia. Según esto, Halley llegó a la conclusión de que el volumen de agua que circulaba por un sitio era siempre el mismo y que, en consecuencia, la cantidad total de agua era siempre la misma.

Este ciclo de la gota de agua que abandona la Tierra para volver sobre ella de nuevo, deslizarse por su superficie o infiltrarse, adentrarse en las plantas y animales, recorrer ríos, llenar lagos y océanos para volver a las nubes y descender en forma de lluvia, nieve o granizo, es continuo, no tiene fin.



El motor energético que mantiene este proceso es el Sol. Según M. Mary y A. Janod, cada hora se evaporan un promedio de  $49 \text{ km}^3$  de agua. De éstos, solamente  $8 \text{ km}^3$  proceden de los continentes y lo demás de los océanos. Cada doce días se renueva el agua de la atmósfera, repitiéndose esta operación unas 30 veces al año. Cada hora, las precipitaciones sobre los continentes son de  $12 \text{ km}^3$  y el resto sobre los mismos océanos. Esto nos lleva a una conclusión fácil:  $4 \text{ km}^3$  regresan a los océanos después de tocar la corteza sólida de la Tierra y de recorrerla superficial o subterráneamente, alimentando fuentes y manantiales, acuíferos y mantos freáticos.

Pero aunque decimos que el flujo del agua en la Naturaleza es constante considerando su equilibrio global, existen fluctuaciones locales tanto en la evaporación como en las precipitaciones. La latitud, la altitud, los vientos, la temperatura, la composición de los suelos y la presencia de vegetación modulan y determinan la cadencia intermitente y aleatoria del ciclo del agua, dentro del equilibrio hidrológico terrestre.

Examinando en su conjunto el ciclo hidrológico anual, se obtienen los siguientes volúmenes.

La evaporación es de unos 500.000 kilómetros cúbicos por año: 430.000 desde los océanos y 70.000 desde los continentes. La precipitación alcanza 110.000 kilómetros cúbicos sobre los continentes y 390.000 kilómetros cúbicos sobre los océanos. Expresado de otra forma, los océanos suministran 430.000 kilómetros cúbicos por evaporación y reciben 390.000 por precipitación; por su parte, los continentes pierden 70.000 por evaporación y reciben 110.000 por precipitación. Por lo tanto, cada año se trasladan 40.000 kilómetros cúbicos de agua dulce desde los océanos a los continentes. De acuerdo con el principio de la conservación del agua dentro del ciclo hidrológico, cada año vuelven a los océanos 40.000 kilómetros cúbicos en forma de escorrentía superficial y subterránea.

Este es el volumen máximo de agua que se puede regular en teoría, y por tanto, aprovechable por la humanidad.

Desgraciadamente, gran parte de esta agua resulta inaccesible: se encuentra en avenidas, agua retenida en el suelo, escorrentías en lugares inhabitados, etc. Según Robert P. Ambroggi la humanidad puede aspirar a utilizar, como cota máxima, unos 14.000 kilómetros cúbicos, que es el «flujo de base», o «estable». El flujo de base está regulado principalmente por las descargas desde embalses subterráneos (11.000 kilómetros cúbicos), desde embalses construidos por el hombre ( $1.840 \text{ km}^3$ ) y desde lagos ( $260 \text{ km}^3$ ).

Tampoco el total de los 14.000 kilómetros cúbicos está completamente al alcance de la mano, a menos que los transportes del agua se hagan a una escala enorme, ya que gran parte del total se halla en zonas inhabitables. Hacia 1972, la cantidad de agua bajo control humano era aproximadamente de 3.000 kilómetros cúbicos por año. Teniendo en cuenta que unos 5.000 kilómetros cúbicos de la escorrentía fluvial estable se produce en regiones inhospitalarias, subsisten unos 6.000 kilómetros cúbicos

que, bien administrados, el hombre podría emplear para su provecho en el futuro. Por eso el balance final útil para el aprovechamiento del hombre es de unos  $9.000 \text{ km}^3$ .

Robert P. Ambroggi llega a la conclusión, teniendo en cuenta la demanda total por persona, que esos  $9.000 \text{ km}^3$  anuales podrían abastecer a una población mundial comprendida entre 20.000 y 25.000 millones de habitantes. Esta conclusión no tiene en cuenta que el agua no se distribuye de forma paralela a la población humana. Así, mientras en la República de Madagascar cada persona sobrevive con menos de  $2 \text{ m}^3$  al año, pagando 20 dólares (2.000 pts) de promedio, en EE.UU. y demás países desarrollados se consume  $180 \text{ m}^3$  por persona y año pagando aproximadamente 0,2 dólares (20 pesetas).

El viaje de la gota de agua asegura además importantes intercambios de calor entre las distintas zonas de la Tierra: al cambiar de estado absorbe o desprende calor, regulando las temperaturas diferenciales entre los trópicos y las zonas polares.

Para terminar este apartado subrayemos la importancia del estudio de la evolución del ciclo del agua en la atmósfera y su previsión.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), organismo dependiente de la ONU con sede en Ginebra, cuenta con una tupida red de puntos de toma de datos: estaciones meteorológicas, observatorios, boyas, barcos, satélites, globos sondas, aviones comerciales y militares, que le proporcionan cientos de miles de datos.

Su procesamiento por medio de ordenadores permite realizar previsiones que si bien no cubren todavía toda la superficie de la Tierra alcanzan una precisión absoluta en más de un 80 por 100 con una antelación de varios días. En breve se espera que los modelos meteorológicos nacidos de la estadística alcancen una previsión mensual o estacional con gran fiabilidad.

Todo esto permitirá no sólo evitar catástrofes debido a las condiciones atmosféricas, y lograr mayor seguridad en las comunicaciones y transportes, sino también determinar las épocas apropiadas para el cultivo del campo, los periodos de sequía e incluso la previsión de una semana de sol para un viaje de turismo.

Con todo, el aprovechamiento del agua dulce aportada por el ciclo hidrológico, depende de los mecanismos de que se disponga para su regulación. El hombre puede intervenir en el ciclo del agua recogiendo, embalsándola y distribuyéndola en atención a su máximo rendimiento. Es lo que ha hecho desde la antigüedad mediante los embalses regulando los cursos de los ríos, al mismo tiempo que aprovechaba la energía hidráulica.

Pero la financiación de la construcción de grandes presas está alcanzando niveles poco rentables. El coste para embalsar un kilómetro cúbico supera los 120 millones de dólares. Además los nuevos emplazamientos de presas exigen cada día una tecnología más costosa, sobre todo en los países más desarrollados donde se ha llegado a la regulación de una alta proporción de sus cursos



fluviales. Por eso las aguas subterráneas brindan actualmente la posibilidad de una nueva forma de regulación del ciclo hidrológico, explotando con orden los acuíferos o embalses subterráneos.

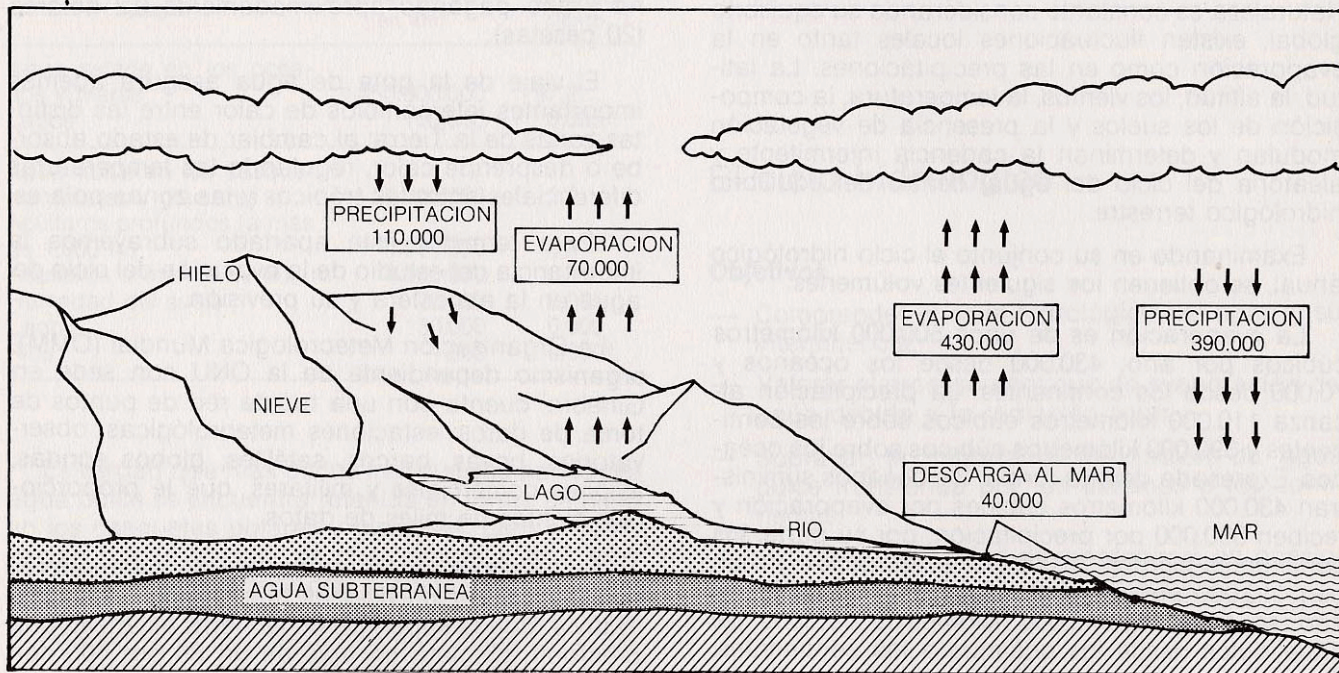
### Actividades

- Redactar un cuento sobre la historia de una gota de agua que formando parte de una nube, cae en forma de lluvia, nieve o granizo, se desplaza por la superficie de la tierra hasta llegar a un torrente, río, lago..., se infiltra en el

suelo, siendo absorbida por una planta, pasando al organismo de un animal, volviendo de nuevo a la atmósfera...

- Reproducir el ciclo hidrológico mediante dibujos o fotografías de periódicos o revistas alusivas a los distintos pasos.
- Experimentar los distintos cambios de estado que tienen lugar en el ciclo del agua: evaporación, condensación, solidificación y fusión.
- Describir las formas posibles de variar el ciclo hidrológico en una zona determinada.

**El ciclo hidrológico** (Volúmenes en Km<sup>3</sup>/año)



## Aguas continentales

### Objetivos

- Conocer los diversos emplazamientos de las aguas continentales.
- Identificar las distintas corrientes y formaciones de las aguas superficiales.
- Reconocer la existencia de las aguas subterráneas y sus afloramientos.
- Conocer la morfología de los mantos acuíferos subterráneos.
- Señalar cómo el agua se almacena en las rocas permeables embebiéndolas.
- Mostrar las funciones que pueden desempeñar los acuíferos.

### Desarrollo

#### 1. Aguas superficiales

El agua de la lluvia que cae sobre los continentes se reúne en pequeños hilos que siguiendo las pendientes máximas, sin cauces fijos, forman las

aguas de arroyada o salvajes. Su régimen hidrográfico es muy variable, clasificándose en permanentes y estacionales; según su carácter y régimen de precipitaciones de que se alimentan pueden ser:

- «alpinos» o «nivales», con crecida en la época del deshielo;
- «pirenaicos» o «niveo-pluviales», con dos «avenidas» una pluvial y otra por deshielo, habiendo riesgo de catástrofes cuando coinciden;
- «ecuatoriales» o pluviales, con avenida pluvial.

#### • Los ríos

Son corrientes de agua estabilizadas, de circulación más constante que los torrentes en los que se realizan las mismas acciones de erosión, transporte y sedimentación, aunque de forma más regular.

Se reconocen varios tipos de ríos:

- continental: como el Amazonas
- nacional: como el Ebro
- comarcal: como el Deva
- local: como el Manzanares.



### ● Los lagos

Son depresiones continentales ocupadas por el agua de forma permanente: muchas veces son simples episodios en el cauce de un río, cuyas aguas han quedado retenidas por algún accidente geológico que forma una barrera.

Según su origen los lagos pueden ser:

- tectónicos: formados por hundimientos corticales (Mar Muerto);
- de barrera, por taponamiento de un valle mediante una morrena glaciar, colada volcánica, aludes...
- de erosión: como los «ibones» de los Pirineos;
- volcánicos: en la caldera de un volcán.

Los lagos son estructuras inestables que tienden a desaparecer con el paso del tiempo. Los aportes de agua proceden de las precipitaciones atmosféricas, de los afluentes y en algunos casos de manantiales subacuáticos; la pérdida de agua se debe principalmente al río «emisario», que parte del lago, a la evaporación y a los posibles infiltramientos subterráneos. Si el agua aportada al lago es igual a la pérdida sufrida, el lago está en equilibrio, pero en general las pérdidas superan los aportes, y el lago tiende a desaparecer.

### ● Los embalses

Los embalses son simplemente lagos artificiales, en los que el agua queda retenida mediante una presa. Un embalse es un depósito regulador del régimen fluvial en el que se almacenan grandes cantidades de agua en los momentos de lluvias o crecidas y se distribuyen en las épocas de estiaje.

Se aprovechan para el regadío y la obtención de energía eléctrica, el abastecimiento urbano, los deportes acuáticos, la pesca... Un embalse a lo largo de los años va perdiendo eficacia por el relleno del vaso debido a los sedimentos aportados por el río. La vida de un embalse está comprendida

entre los 300 y 500 años, aunque en algunos casos por las especiales circunstancias, mucho menor (decenas de años).

### ● El hielo

En los lugares de la superficie terrestre donde las precipitaciones dominantes son sólidas, la nieve se acumula en grandes cantidades transformándose en hielo. La superficie ocupada constantemente por nieve y hielo es de unos 15.000.000 km<sup>2</sup>, la mayor parte en las zonas polares de los dos hemisferios, y medio millón de kilómetros cuadrados en las zonas de altas montañas.

### ● La nieve

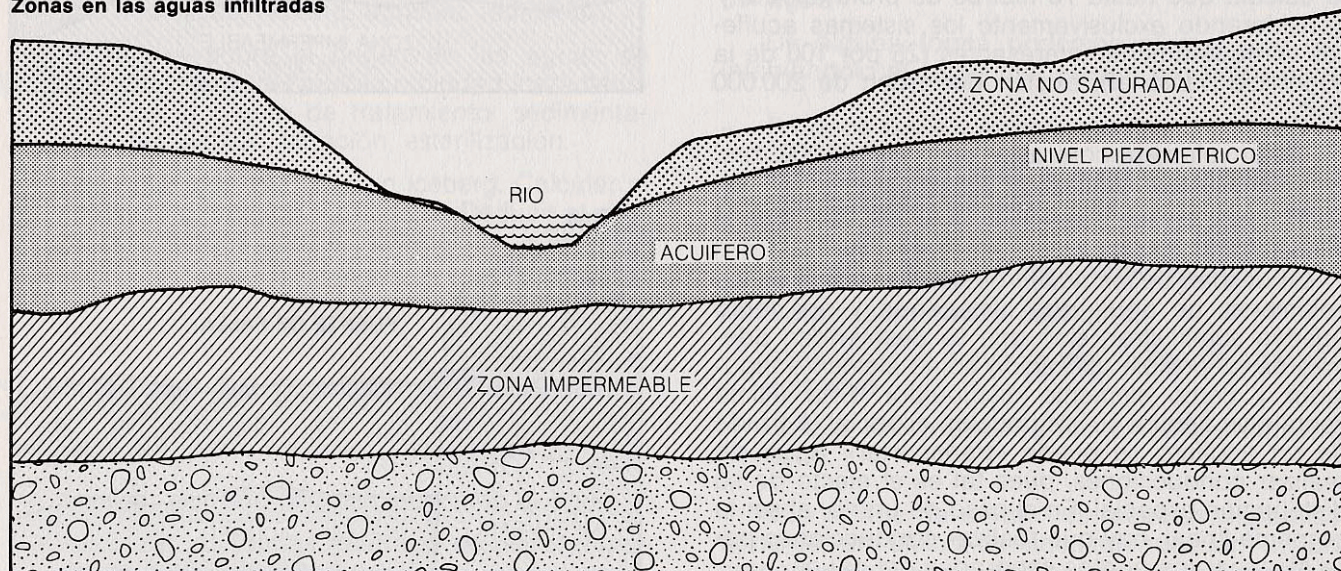
La nieve está constituida por cristales de hielo formando una masa esponjosa de aproximadamente 0,1 de densidad. Por el peso, por fusión parcial, rehielo o sublimación, la nieve se transforma en neviza (0,4-0,6). Por compactación y expulsión del aire intersticial en hielo blanco (0,9) y después en hielo glaciar de color azulado (0,92).

Los principales tipos de acumulación son: el inlandsis o casquete glaciar y el glaciar de circo y valle. La fragmentación de las masas de hielo, que se deslizan hasta el mar dan origen a los icebergs, algunos de los cuales alcanzan volúmenes superiores a varios kilómetros cúbicos.

## 2. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas proceden de las lluvias que se infiltran por gravedad y a veces también de los ríos, una parte de cuyo caudal puede asimismo infiltrarse. Estas aguas atraviesan terrenos permeables, quedando almacenadas en ellos cuando hay terrenos impermeables que las impiden el paso. Se forman así unos recipientes o vasos, «acuíferos», que se llenan desde tiempos remotos, rebosando por las fuentes o pasando a otros acuíferos o vertiendo al mar. También pueden ceder el agua a ríos de forma subterránea. Esos movimientos de las aguas subterráneas a través de terrenos permeables constituyen las corrientes subterráneas.

Zonas en las aguas infiltradas





La existencia de aguas subterráneas por tanto, puede manifestarse a través de fuentes y manantiales; a través de pozos construidos artificialmente; o a través del incremento o disminución del caudal de un río entre dos puntos de su cauce. A este respecto es interesante el caso del río Guadiana: en su parte alta se infiltra engrosando el acuífero de la llanura manchega. Luego este acuífero rebosa en los llamados «Ojos del Guadiana».

Un ejemplo muy ilustrativo, por lo conocido, de la forma en que el agua queda almacenada subterráneamente es la ejecución de un hoyo en la playa. A partir de cierta profundidad el agua, salada en este caso, aparece embebiendo la arena. Tras extraerla volverá a recuperar ese nivel con mayor o menor rapidez.

El agua se puede almacenar en los terrenos impermeables gracias a la textura de éstos: grietas o poros intercomunicados en el caso de rocas, o huecos intergranulares en el caso de arenas y otras rocas disgregadas.

Surgen entonces los conceptos de porosidad y permeabilidad, que caracterizan a los acuíferos. La porosidad relaciona el volumen de agua almacenable en un volumen de terreno. La permeabilidad define la facilidad con la que el agua puede discurrir a través de un terreno. Se ve pues la relación de dichos parámetros con las posibilidades de extraer agua de un acuífero: volúmenes y caudales. Así, un acuífero «pobre» es el que puede suministrar hasta 10 l/s y un acuífero «excelente», hasta 100 l/s. Existen captaciones subterráneas que suministran hasta 1 m<sup>3</sup>/s. En general, los caudales puntuales suministrables por las corrientes superficiales son de mayor magnitud que los de las aguas subterráneas.

El proceso natural de los acuíferos no es llenarse y vaciarse, sino fluctuar sobre los niveles en que rebosan. Su llenado hasta ese nivel se produjo en las épocas de formación geológica y configuración de la correspondiente «cubeta» o recipiente. De forma artificial, si se puede hacer descender el nivel por debajo de esa cota.

Las reservas de aguas subterráneas en los continentes son muy superiores a las que existen superficialmente en un momento dado. En España se calcula que hasta 70 metros de profundidad, y considerando exclusivamente los sistemas acuíferos verdaderamente interesantes (25 por 100 de la superficie nacional), existen del orden de 200.000 hm<sup>3</sup>.

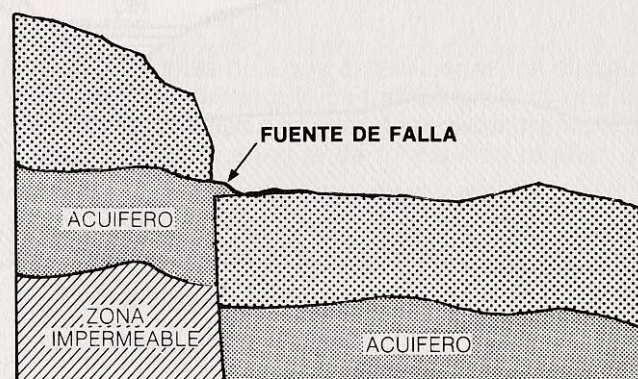
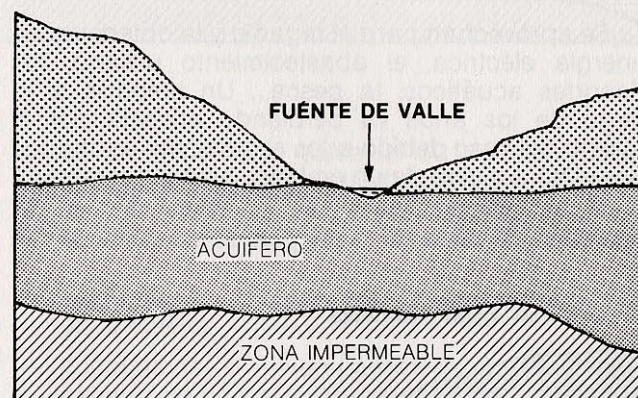
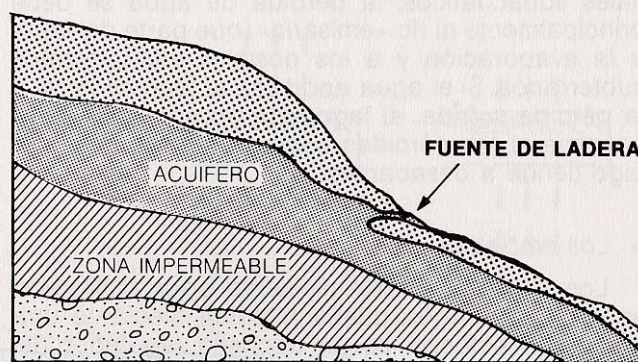
Este volumen contrasta con los 40.000 hm<sup>3</sup> almacenables en embalses superficiales y por supuesto con el volumen existente en los ríos, que es muy inferior.

La utilidad de los acuíferos no sólo reside en los volúmenes de agua que almacenan y por tanto pueden suministrar, sino que se desprenden además de su posible utilización como elemento regulador y como elemento distribuidor. Esta última ventaja se debe a su distribución espacial. A través de un acuífero se puede «transportar» agua sin realizar conducciones, pues tal es el efecto de su distribución espacial. En el caso de un río, al ser la corriente lineal, hay que realizar conducciones para alcanzar los puntos separados del cauce.

## • Las fuentes o manantiales

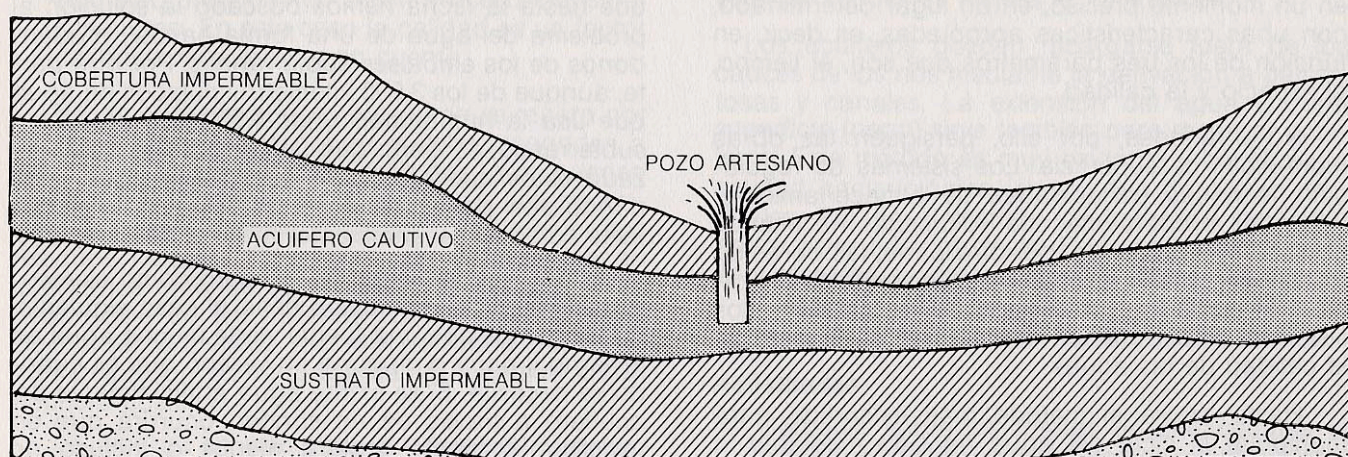
Las fuentes o manantiales son afloramientos en superficie del nivel piezométrico local. Puede obedecer a causas diversas:

- Fuentes de ladera: cuando un estrato impermeable subyace a una serie de rocas permeables donde se ha acumulado el agua subterránea, aflora en una ladera; también se llaman manantiales de vertedero.
- Fuentes de valle: aparecen en el fondo de un valle donde la superficie piezométrica corta o queda tangente a la superficie topográfica; también se llaman de emergencia.
- Fuentes de falla: debido a este accidente tectónico. A veces las aguas emergen de zonas profundas con temperatura superior a la ambiental y con frecuencia llevando sustancias minerales y gases en disolución.





## Pozo artesiano



### ● Pozos artesianos

Cuando un paquete de estratos permeables está limitado superior e inferiormente por estratos impermeables y el nivel piezométrico se encuentra por encima del techo del acuífero, se origina un acuífero cautivo. Esta estructura se presenta frecuentemente sometida a elevada presión hidrostática. Si alcanzamos el acuífero mediante un pozo, surge un pozo artesiano. En él, el agua brota debido a su presión y sin necesidad de utilizar medios artificiales de aspiración o impulsión. (Este nombre proviene del nombre latino, Artesia, de la ciudad francesa de Artois, lugar donde se identificó el primer pozo artesiano.)

### Actividades

- Localizar y nombrar en el mapa de España los ríos mayores con sus afluentes, indicando el lugar del nacimiento, las provincias y ciudades que atraviesan, el lugar donde desemboca, el caudal y longitud de su curso...
- Observar un pozo, cómo está construido, qué profundidad tiene, qué utilidad presenta: para uso doméstico, urbano, agrícola, industrial...
- Informarse sobre el origen de las aguas de abastecimiento del pueblo o ciudad, características de la planta de tratamiento: sedimentación, floculación, filtración, esterilización.
- Comentar por qué flota un iceberg. Calcular el volumen sumergido y el visible. Deducir el riesgo que supone para la navegación.

## Las aguas se pueden almacenar

### Objetivos

- Explicar por qué debe almacenarse el agua.
- Recordar las formas naturales de almacenarse el agua en la Naturaleza.

- Señalar cómo se almacena el agua superficial mediante presas y embalses.
- Valorar la función de almacén de los acuíferos subterráneos y su recarga.
- Señalar la necesidad de regular conjuntamente los acuíferos superficiales y subterráneos.

### Desarrollo

La intermitencia del ciclo hidrológico es un inconveniente para que el hombre disponga de forma continua en el tiempo del agua que le ofrece la Naturaleza. A veces hay agua en exceso cuando no se necesita (invierno) y no hay cuando todo se halla seco (verano). Todos conocemos las situaciones calamitosas producidas por la escasez de agua más o menos prolongada: restricciones de agua potable, pérdida de las cosechas, encarecimiento de los alimentos tanto de origen animal como vegetal, aumento de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Ante esta situación, ¿qué puede hacer el hombre?, ¿es capaz de manipular el ciclo hidrológico del agua?

De alguna forma podemos afirmar que está intentándolo al saber que existen proyectos para:

- Producir lluvia y nubes artificiales.
- Transportar icebergs de varios kilómetros cúbicos a larga distancia.
- Trasvasar agua de unas cuencas hidrográficas a otras o, más aún, de un continente a otro.
- Desalinizar el agua del mar.
- Almacenar el agua fluvial mediante presas y embalses.
- Utilizar racionalmente los embalses subterráneos.

Todo el arte de utilizar los recursos hidráulicos consiste, en último término, en adecuar, de una manera satisfactoria, óptima, dichos recursos a las



demandas de agua que al hombre se le presentan, en un momento preciso, en un lugar determinado, con unas características apropiadas, es decir, en función de los tres parámetros que son, el tiempo, el espacio y la calidad.

No otra cosa, por ello, persiguen las obras hidráulicas de superficie. Los sistemas de regulación, con sus capacidades de almacenamiento, tratan de proporcionar los volúmenes necesarios en el tiempo requerido; por otra parte, las obras de transporte llevan los recursos a las zonas de utilización. El cuidado y protección de los cauces y los sistemas de depuración contemplan el aspecto de la calidad de las aguas.

Hasta ahora el método más extendido para manipular el ciclo del agua ha sido mediante la construcción de presas y embalses que regulan el flujo de los ríos. Hay unos 1.840 kilómetros cúbicos de agua dulce almacenados artificialmente que están distribuidos de la siguiente forma: 560 en Asia, 490 en Norteamérica, 400 en África, 200 en Europa, 160 en Sudamérica y 30 en Australia. Muchos de los países desarrollados están alcanzando el límite práctico de sus posibilidades, además de ser un método muy costoso.

Por otra parte, es importante subrayar que por medio de este método, la residencia del agua almacenada raramente excede de un año; con lo cual difícilmente resolveremos los problemas de las sequías cuya duración sea superior a este tiempo. Recordemos que residencia es el período de tiempo que una cierta cantidad de agua tarda en pasar a la siguiente estancia del ciclo. ¿Qué papel, con esta óptica, pueden y deben jugar en el futuro las aguas subterráneas? Muy grande y podría afirmarse que decisivo.

Efectivamente, en relación con el parámetro tiempo, las aguas subterráneas, consideradas como verdaderos embalses subterráneos que son, suministran agua ya almacenada por la Naturaleza, sin necesidad de la acción del hombre para conseguir dicho almacenamiento.

Al mismo tiempo los trabajos hidráulicos de superficie más fáciles y menos costosos, han sido ya realizados en nuestro país y también en la generalidad de los otros países.

Los costes de almacenamiento, regularización y aprovechamiento de los recursos superficiales restantes, por los medios clásicos, son cada vez más elevados.

Con respecto al parámetro espacio, las aguas subterráneas ya se ha dicho que se extienden en superficie. Con respecto a la calidad las aguas subterráneas presentan unas características más constantes y están generalmente mejor protegidas contra los riesgos de la contaminación; por otra parte, la capacidad de filtración de los acuíferos subterráneos pueden facilitar la mejora de la calidad de las aguas superficiales.

Si tenemos en cuenta que la Naturaleza recicla anualmente unos 12.000 kilómetros cúbicos de agua a través de los embalses subterráneos determinando el flujo estable de los ríos, mientras que por medio de embalses y presas el hombre sólo

regula 2.000 kilómetros cúbicos, es fácil concluir que hasta la fecha hemos buscado la solución al problema del agua de una forma parcial, olvidándonos de los embalses subterráneos. Por otra parte, aunque de los 3.500 kilómetros cúbicos de agua que usa la humanidad unos 1.500 son de origen subterráneo, es cierto que únicamente se han utilizado estos acuíferos para suministrar agua, olvidando casi por completo otras posibles funciones tales como almacenamiento, mezcla, conducción...

El aprovechamiento del acuífero como elemento individual de regulación sería el caso siguiente. Supongamos que una fuente vierte mucha agua en invierno y poca o ninguna en verano que es cuando se necesita. Si se extrae agua artificialmente del acuífero a través de un sondeo ocurrirá que en invierno la fuente brotará menos o incluso no brotará, pues en verano el nivel del acuífero ha descendido a causa de las extracciones que han dejado satisfechas las necesidades existentes en esa época seca. Si estas extracciones son inferiores a la recarga natural anual por lluvias, en invierno se repondrá el nivel.

Pero quizá donde la aplicación de los acuíferos en las labores de regulación es más interesante es cuando ésta se lleva a cabo conjuntamente con las corrientes superficiales. Un ejemplo ilustrará esta afirmación.

Un acuífero posee unas reservas de 250 hm<sup>3</sup> y una recarga anual (recursos anuales) de 11 de hm<sup>3</sup>. En sus proximidades existe un río que lleva un caudal de más de 2 m<sup>3</sup>/segundo durante 10 meses y va seco el resto del año (2 meses). La regulación del río es nula, pues no garantiza un caudal mínimo a lo largo del año. Si se bombea desde el acuífero al río 2 m<sup>3</sup>/s durante los dos meses en que va seco, habremos conseguido mantener ese caudal durante todo el año. Esas extracciones representan en los dos meses (60 días):

$$2 \times 3.600 \times 24 \times 60 \times 10^{-6} = 10,4 \text{ hm}^3$$

que vemos es inferior a la recarga natural. Hemos conseguido con esos 10 hm<sup>3</sup>, regular 60 hm<sup>3</sup> que será el caudal mínimo distribuido uniformemente a lo largo del año.

Los acuíferos pueden, además de recargarse de forma natural, almacenar aguas de forma artificial. Es la recarga o realimentación artificial y consiste en la introducción forzada de agua en un acuífero. Para ello interviene el hombre mediante las operaciones de recarga. Esta puede efectuarse bien por percolación desde la superficie, bien haciendo uso de pozos de inyección.

El agua que suele utilizarse para la recarga, atiende fundamentalmente a tres tipos.

- Escorrentía superficial. Que es el agua de los ríos en régimen más o menos normal.
- Agua de avenidas. Que se recarga, solamente, cuando se producen grandes avenidas consecuencia de pluviometrías muy intensas. Se aprovechan así unos excedentes, mediante almacenamiento en el acuífero, que de otro modo se desperdiciarían por no poder ser utilizados en tan corto espacio de tiempo.



— Aguas residuales. Se recarga con aguas que ya han sido utilizadas en algún proceso industrial o humano. En este caso la calidad es un factor limitativo muy a tener en cuenta.

Resulta evidente que la recarga no se realiza por capricho, sino que responde, o debe responder, a unos fines perfectamente definidos que pueden atender a una mejora de la gestión, a una necesidad, o incluso a verse liberados de determinados residuos molestos. Este último caso deberá tener en cuenta los criterios de calidad y la capacidad de depuración de los terrenos. La recarga artificial, puede ser un eficaz método de lucha contra la contaminación por intrusión de agua de mar en un acuífero costero.

La recarga en este caso puede efectuarse con dos objetivos; o bien aumentando el flujo de agua dulce al mar, que frene la entrada de éste, o bien, mediante barreras de pozos de inyección que creen potenciales de agua dulce elevados, e impidan pasar el agua de mar de la vertical de la barrera.

Los métodos de recarga son diversos. Entre los de filtración desde superficie se encuentran la creación de serpenteos en un río que de por sí filtra aguas a un acuífero. Dichos serpenteos pueden realizarse mediante la construcción de barreras que aumentan el recorrido de las aguas en el cauce y con ello la cantidad filtrada. También puede conseguirse con la construcción de pequeñas presas. Se aumenta el tiempo y la superficie de contacto agua/cauce y con ello la filtración. Tam-

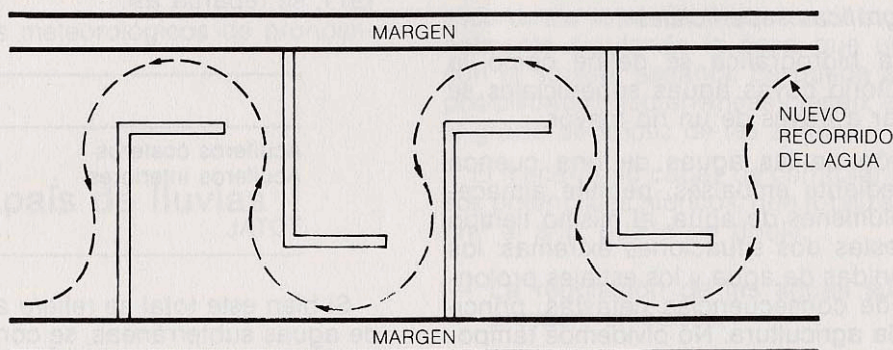
bién se «escarifica» el lecho del río, con lo que al eliminar «finos» se mejora la infiltración.

Los acuíferos pueden recargarse fuera de los cauces de los ríos mediante la derivación a balsas, fosas y canales. La extensión del agua en una superficie (riego) sirve también para recargar acuíferos. Este método es muy oxidante y beneficia la calidad bacteriológica, en el caso de aguas residuales. Por fin el método de inyección mediante pozos contruidos al efecto. Es complicado y costoso y se reserva para situaciones especiales.

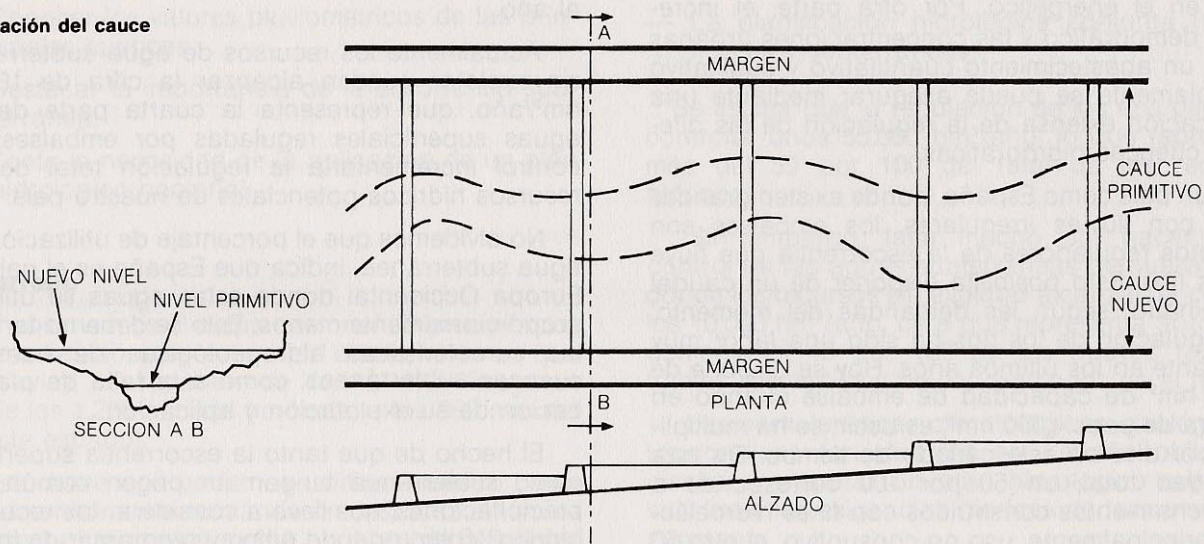
### Actividades

- Coloquio sobre las formas de almacenarse el agua superficial y subterránea en la Naturaleza, a partir de alguna lectura.
- Ejercicios de vocabulario construyendo frases con las palabras: lago, acuífero, aflorar, fuente, manantial, pozo, sondeo.
- Visitar un embalse: determinar la procedencia del agua situando en un mapa el río sobre el que se asiente y sus afluentes. Informarse sobre la capacidad del vaso y las características de su presa. Dibujar un croquis de la misma.
- Hacer las siguientes comparaciones:  
embalse = acuífero  
aliviadero = fuente o manantial  
compuerta = sondeo de captación

### Formación de Serpenteos



### Inundación del cauce





# La administración del agua en las cuencas hidrográficas

## Objetivos

- Valorar la importancia de la administración racional del agua en las cuencas hidrográficas.
- Reconocer el control de las aguas superficiales de una cuenca superficial efectuado mediante presas y embalses.
- Valorar, igualmente, la posible regulación de las aguas pertenecientes a las cuencas subterráneas.
- Señalar que los recursos hídricos están constituidos por las aguas superficiales y subterráneas reguladas.

## Desarrollo

Antes de entrar en el tema conviene recordar los siguientes conceptos:

- Escorrentía superficial: es la parte de la lluvia que circula por los ríos.
- Escorrentía subterránea: es la parte de las precipitaciones que se infiltra y circula por los acuíferos subterráneos.
- Recurso hídrico: es la parte de la escorrentía que el hombre dispone en un lugar y momento concretos mediante la regulación de la misma.

### Cuencas hidrográficas superficiales

Una cuenca hidrográfica se define como la porción de territorio cuyas aguas superficiales se vierten en el mar a través de un río mayor.

La regulación de las aguas de una cuenca hidrográfica mediante embalses, permite almacenar grandes volúmenes de agua, al mismo tiempo que se evitan estas dos situaciones extremas: los aluviones o avenidas de agua y los estiajes prolongados, ambos de consecuencias nefastas, principalmente para la agricultura. No olvidemos tampoco la demanda permanente de las actividades industriales, tanto en el consumo directo de agua como en el energético. Por otra parte, el incremento demográfico y las concentraciones urbanas exigen un abastecimiento cuantitativo y cualitativo que solamente se puede asegurar mediante una planificación extensa de la regulación de las diferentes cuencas hidrográficas.

En un país como España, donde existen grandes zonas con lluvias irregulares, los embalses son elementos reguladores de la escorrentía que fluye por los ríos. Esto posibilita disponer de un caudal determinado, según las demandas del momento. «La regulación de los ríos ha sido una labor muy importante en los últimos años. Hoy se dispone de 40.000 hm<sup>3</sup> de capacidad de embalse cuando en 1940 era de unos 4.000 hm<sup>3</sup>; es decir, se ha multiplicado por diez en este período de tiempo. De esta capacidad total, un 50 por 100 corresponde a aprovechamientos construidos con fines hidroeléctricos principalmente, uso no consuntivo, el otro 50

por 100 corresponde a usos consuntivos.» (Informe de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas, Madrid, 1978.)

Si no hubiera ningún embalse en nuestro país, de los más de 100.000 hm<sup>3</sup>/año que alcanza la escorrentía total media del año solamente tendríamos de forma controlada de 9.200 hm<sup>3</sup>/año. Sin embargo, actualmente se dispone del 38 por 100 de los recursos potenciales, esto es, de unos 40.000 hm<sup>3</sup>/año.

El alcance de la regulación por los embalses superficiales en España se puede considerar muy aceptable, pues actualmente regula normalmente casi un metro cúbico de agua por cada metro cúbico de capacidad de embalse.

### Cuencas hidrográficas subterráneas

Las cuencas hidrográficas subterráneas quedan conformadas por la estructura del subsuelo y por la disposición de los estratos impermeables y accidentes tectónicos. A grandes rasgos, puede haber una sensible o aceptable coincidencia entre las cuencas superficiales y las subterráneas.

El nivel piezométrico local se acomoda al relieve topográfico y varía según las épocas de lluvias o períodos de sequía, elevándose o descendiendo. La acumulación de agua en el subsuelo depende de la presencia de rocas permeables y de los accidentes topográficos o geológicos del subsuelo: su tectónica, fallas, estratos... que condicionan la disposición y profundidad del basamento impermeable.

Según el IGME la escorrentía subterránea, en 1971, se repartía así:

	hm <sup>3</sup> /año
Acuíferos costeros	4.265
Acuíferos interiores	16.155
TOTAL	20.420

Si bien este total se refiere a los recursos brutos de aguas subterráneas, se considera que el 80 por 100 es susceptible de captarse por pozos o sondeos, lo que equivale a un volumen de 16.000 hm<sup>3</sup> al año.

Actualmente los recursos de agua subterránea sin explotar pueden alcanzar la cifra de 10.000 hm<sup>3</sup>/año, que representa la cuarta parte de las aguas superficiales reguladas por embalses. Su control incrementaría la regulación total de los recursos hídricos potenciales de nuestro país.

No olvidemos que el porcentaje de utilización de agua subterránea, indica que España es el país de Europa Occidental donde estas aguas se utilizan proporcionalmente menos. Esto se debe no tanto a las características hidrogeológicas de nuestras cuencas subterráneas, como a la falta de planificación de su explotación y aplicación.

El hecho de que tanto la escorrentía superficial como subterránea tengan un origen común, las precipitaciones, nos lleva a considerar los recursos hídricos como un todo único y programar de forma



## REGULACION ACTUAL Y FUTURA DE LOS RIOS ESPAÑOLES

Cuenca	Regulación natural				Situación actual			Situación futura		
	Aportación hm³/año	Capacid. embalse hm³	Volumen regulado hm³/año		Capacid. embalse hm³	Volumen regulado hm³/año		Capacid. embalse hm³	Volumen regulado hm³/año	
			Régimen uniforme	Régimen variable		Régimen uniforme	Régimen variable		Régimen uniforme	Régimen variable
Norte	37.210	—	2.550	940	3.951	9.754	5.326	9.108	15.461	10.379
Duero	15.860	—	840	350	7.065	8.369	6.336	11.550	10.383	8.704
Tajo	10.185	—	360	125	9.837	7.079	6.262	15.345	8.420	7.679
Guadiana	5.048	—	10	5	3.129	1.437	1.319	8.233	2.729	2.584
Guadalquivir	9.172	—	920	405	4.700	3.643	2.965	7.925	4.902	4.313
Sur	2.236	—	50	20	612	402	354	1.615	1.082	982
Segura	955	—	130	60	883	629	551	1.153	758	721
Júcar	3.784	—	710	320	2.702	2.273	1.855	4.058	2.635	2.404
Ebro	18.842	—	3.460	2.145	5.877	12.209	9.007	9.435	13.734	11.137
Pirineo Oriental	2.531	—	160	75	509*	689	607	1.315	1.150	1.087
<b>TOTALES</b>	<b>105.823</b>	<b>—</b>	<b>9.190</b>	<b>4.445</b>	<b>39.265</b>	<b>46.484</b>	<b>34.582</b>	<b>69.737</b>	<b>61.254</b>	<b>49.990</b>

FUENTE: Centro de Estudios Hidrográficos (Mendiluce, 1975).

coordinada la regulación de las aguas superficiales y subterráneas. Esto permitirá solucionar más eficazmente el problema de la sequía de una región en un momento determinado.

### Actividades

- Dibujar en el mapa de las provincias de España las líneas divisorias de las cuencas hidrográficas principales.
- Construir en arcilla, barro o plastilina, la maqueta de una cuenca hidrográfica.
- Interpretar mapas meteorológicos de pronóstico.

## España es un país de lluvias irregulares

### Objetivos

- Reconocer que España es un país en su mayor parte de clima semiárido y de lluvias irregulares.
- Conocer los valores pluviométricos de las principales cuencas.
- Destacar la importancia de la escorrentía subterránea.
- Sentir la necesidad de la aplicación de un plan hidrológico nacional.

### Desarrollo

Si observamos el mapa nacional de precipitaciones medias anuales en mm de altura, veremos que las lluvias se reparten de forma muy irregular: desde los 1.280 mm del noroeste, a los 360 mm del sureste español.

Esto hace que podamos calificar nuestro clima fundamentalmente semiárido en casi todo el territorio, cuya pluviometría media anual es de 610 litros/

m²/año, muy inferior a la media europea, y concluir que nuestro futuro desarrollo exigirá un gran esfuerzo para regular las aguas, si queremos satisfacer las demandas demográficas, agrícolas e industriales.

El Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) hizo durante el año 1971 una evaluación de los recursos hídricos globales cuyas cifras más significativas se destacan en el cuadro adjunto.

A la vista del mismo, se concluye que la escorrentía subterránea representa como media para todo el territorio alrededor del 20 por 100 de la escorrentía total. Su importancia crece proporcionalmente siguiendo la línea que une el noroeste con el sureste español. Se puede afirmar que las posibilidades subterráneas crecen, en España, con el grado de aridez de las zonas.

El mecanismo capaz de controlar nuestros recursos potenciales hídricos, que totalizan unos 100.000 hm³ al año, puede ser doble:

- La regulación de las aguas superficiales con presas y embalses.
- La utilización racional de las aguas subterráneas.
- La planificación hidrológica conjunta (superficiales y subterráneas).

Se estima que la regulación de los ríos permitirá controlar unos 55.000 hm³/año, lo que representa más del 50 por 100 del total de los recursos hídricos.

Sin embargo, falta mucho por hacer en el control de las aguas subterráneas de nuestro país donde los recursos sin explotar alcanzan la cifra de los 10.000 hm³/año, cifra que representa aproximadamente el 40 por 100 de los nuevos recursos totales susceptibles de ser regulados en el futuro.

Las características climatológicas, geológicas y topográficas tan diversas en España obligan a diseñar y ejecutar un plan hidrológico capaz de satisfacer las exigencias hídricas de forma eficaz y constante.



### REPARTO DE AGUA SEGUN SU PROCEDENCIA

Países	Abastecimiento público		Industria		Agricultura		Total	
	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea
Estados Unidos:								
1960	68,5	31,5	92,0	8,0	51,0	39,0	81,0	19,0
1980	—	—	—	—	—	—	72,0	28,0
2000	—	—	—	—	—	—	50,0	50,0
Francia:								
1965	55,0	45,0	—	—	—	—	—	—
Italia:								
1966	9,1	90,9	—	—	71,7	28,3	71,3	28,7
2000	27,1	72,9	—	—	—	—	—	—
España:								
1967	66,0	34,0	—	—	78,1	21,9	76,9	23,1
Bélgica:								
1965	12,0	88,0	0	100,0	—	—	68,0	32,0
Suráfrica:								
1960	—	—	—	—	—	—	87,0	13,0

FUENTE: Plan Nacional de Minería (P.N.M.).

### BALANCE HIDRICO NACIONAL

Cuenca	Superficie (km²)	Precipitación media anual (hm³)	Evapotranspiración media anual (hm³)	Escorrentía total media anual		Escorrentía superficial		Escorrentía subterránea	
				hm³	%	hm³	%	hm³	%
Norte	58.800	75.100	32.350	42.750	57	37.270	87	5.480	13
Duero	78.970	48.650	34.700	13.950	29	12.520	90	1.430	10
Tajo	55.270	36.650	26.350	10.300	28	8.140	79	2.160	21
Guadiana	59.870	33.150	27.300	5.850	18	5.140	88	710	12
Guadalquivir	63.080	37.300	28.600	8.700	23	6.440	74	2.260	26
Sur	18.390	9.950	6.850	3.100	31	2.200	71	900	29
Segura	18.630	6.650	5.750	900	14	390	43	510	57
Júcar	42.900	22.100	18.200	3.900	18	1.440	37	2.460	63
Ebro	85.550	51.700	34.000	17.700	34	14.580	82	3.120	18
Pirineo Oriental	16.490	12.300	10.200	2.100	17	1.160	55	940	45
Baleares (Mallorca)	3.620	2.170	1.570	600	28	150	25	450	75
TOTALES	497.070	335.720	225.870	109.850	33	89.430	81	20.420	19

FUENTE: Plan Nacional de Aguas Subterráneas (IGME).

El Instituto Geológico y Minero de España, consciente de esta necesidad, está realizando una serie de investigaciones sistematizadas para inventariar nuestros acuíferos, estudiar sus características y controlar su utilización más óptima.

En la legislación española las aguas superficiales poseen carácter público. Las subterráneas son privadas y por tanto de exclusiva competencia del particular, siempre y cuando no afecten a pozos o fuentes vecinas.

La administración conjunta de las aguas, superficiales y subterráneas, es una tarea compleja. En la actualidad el Plan Hidrológico Nacional coordina a los diversos organismos competentes: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Ministerio de Industria y Energía, Ministerio de Agricultura, Instituto Geológico y Minero de España, Servicio Meteorológico Nacional, etc.

El objetivo de este plan es mejorar la administración de las aguas. Será una valiosa herramienta en la ordenación, distribución y, por tanto, mejor aprovechamiento del potencial hídrico nacional.

#### Actividades

- Construir un pluviómetro con una probeta graduada, un embudo y un recipiente de cristal o plástico.
- Interpretar mapas meteorológicos con datos pluviométricos de la región.

Ejercicios de vocabulario construyendo frases con las palabras: precipitación, escorrentía, infiltración, pluviométrico, meteorológico, recarga, recursos, aportaciones, demanda, etc.



## Bibliografía consultada y recomendada

MELÉNDEZ, BERMUDO y FUSTER, JOSÉ MARÍA, «Geología». Paraninfo, Madrid, 1978.

CUADERNOS DEL CIFCA, «Aguas subterráneas» 7, 13 y 14. Madrid, 1978-79.

«Las aguas subterráneas en España, presente y futuro». Asociación Nacional de Ingenieros de Minas. Madrid, 1978.

ROBERT P. AMBROGGI, «Agua». Investigación y Ciencias, noviembre 1980.

«Embalses subterráneos para el control del ciclo del agua». Investigación y ciencia, julio 1977.

SEVILLA VEGA, ALONSO, «Actividades para explorar la contaminación». Editorial Adara, La Coruña, 1975.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA, «Educación y Medio Ambiente». Madrid, 1981.

PEAC, «La Enseñanza por el Entorno Ambiental». Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1981.

## Introducción

Según el geólogo ruso Vladimir I. I. «Agua» es la forma del planeta Tierra donde la vida se desarrolla y se reproduce.

No se ha podido comprender hasta el momento la existencia de sistemas subterráneos, y que de alguna manera nos obliga a considerar la Tierra como un sistema único en el Universo conocido. El hombre forma parte de ese sistema, y su vida depende de los recursos que la Tierra le ofrece. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir.

El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir.

Las aguas subterráneas son el agua que se encuentra debajo de la superficie del terreno. El agua subterránea es el agua que se encuentra debajo de la superficie del terreno. El agua subterránea es el agua que se encuentra debajo de la superficie del terreno.

Hoy día, hecho este breve resumen del ciclo del agua, podemos decir que el agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir.

El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir.

El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir. El agua es el elemento más importante de la vida, y es el que nos permite vivir.

## Desarrollo y contaminación

### Objetivos

— Conocer la existencia del desarrollo en la contaminación del agua.



### **3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

**3.1. Desarrollo y Contaminación**

**3.2. La polución de aguas superficiales**

**3.3. La autodepuración en aguas superficiales**

**3.4. La polución de aguas subterráneas**

**3.5. Diferencias entre contaminación superficial y subterránea**

**3.6. La protección de las aguas subterráneas**

**3.7. Prevenir es mejor que curar**



# 3. Contaminación del agua

## Introducción

### Desarrollo y contaminación

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### La polución de aguas superficiales

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### La autodepuración en aguas superficiales

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### La polución de aguas subterráneas

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### Diferencias entre contaminación superficial y subterránea

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### La protección de las aguas subterráneas

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### Prevenir es mejor que curar

- Objetivos
- Desarrollo
- Actividades

### Bibliografía consultada y recomendada

## Introducción

Según el geólogo ruso Verdadski: «BIOSFERA es la zona del planeta Tierra donde se desarrolla el fenómeno denominado VIDA».

No se ha podido confirmar hasta el momento la existencia de biosferas extraterrestres, lo que de alguna manera nos obliga a considerar la Biosfera terrestre como un fenómeno único en el Universo conocido. El hombre forma parte de ese sistema constituido por los seres vivos de nuestro planeta, cuyo hábitat está formado por el aire, el agua y el suelo.

Los procesos biológicos de la Biomasa encuentran en la radiación solar su fuente de energía vital. A partir de la radiación solar las plantas verdes realizan la función fotosintética, transformando materia inorgánica, vehiculizada por el agua, en orgánica, al mismo tiempo que libera oxígeno. Así, el oxígeno del aire, no sólo sale de la vida sino que mantiene la vida mediante la respiración.

Las plantas verdes pasan a ser alimento de los animales herbívoros, y éstos, a su vez son presa de los animales carnívoros, formando multitud de cadenas tróficas o alimenticias. Los restos de los animales y plantas son descompuestos por las bacterias, regenerando los elementos y sustancias minerales que volverán a las plantas verdes, cerrándose así el ciclo biológico.

Hemos hecho este breve apunte del ciclo vital para destacar los tres elementos internos de la Biosfera: el suelo, el agua y el aire, que forman el conjunto biótico que sustenta la vida sobre la Tierra gracias al factor externo: la radiación solar.

El único elemento de la Biosfera capaz de modificar las condiciones del medio ambiente, a corto plazo, es el hombre, y en especial el hombre a partir de la creación de la sociedad industrial, urbana y agrícola.

Nosotros únicamente vamos a fijarnos en la alteración que el desarrollo humano no integral, origina en uno de los tres elementos vitales de la Biosfera: la contaminación del agua.

## Desarrollo y contaminación

### Objetivos

- Conocer la incidencia del desarrollo en la contaminación del agua.



- Destacar la influencia del crecimiento demográfico y de la concentración urbana.
- Señalar el peso contaminante de las actividades agrícolas e industriales del mundo moderno.
- Sensibilizar y provocar en los alumnos un cambio de actitud frente a todos los agentes contaminantes que nos rodean.

## Desarrollo

De entrada señalemos algo muy común y que es contradictorio con su propio contenido: «el grado de contaminación de la Naturaleza aumenta con el grado de desarrollo de la Humanidad». Y en esa contaminación progresiva que amenaza a la Tierra, la polución del agua tiene un peso importantísimo por ser el elemento vehiculizador de la vida.

Antes de considerar la incidencia de un desarrollo no integral en la contaminación de las aguas, fijémonos en la definición de contaminación del agua: «es la alteración de su calidad natural por la acción humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para la aplicación útil a que se destina».

Las características que determinan la calidad natural del agua se refieren a sus aspectos físicos, químicos, bacteriológicos, radiactivos... Según estas determinaciones, la calidad del agua de un acuífero puede permitir una aplicación concreta, a la vez que está degradada para otras prestaciones. Por ejemplo, el agua de un embalse puede ser útil para producir energía eléctrica o para el regadío, y sin embargo estar contaminada para el abastecimiento doméstico. Así, pues, cada una de las aplicaciones útiles del agua requieren un grado de calidad natural, cuyos límites los determinan las normas legales de los distintos países y organismos internacionales.

¿Cuántas veces hemos visto señales inequívocas de contaminación del agua tanto en los grandes centros de población como en el campo? Ríos con masas flotantes de aceite, desechos urbanos e industriales, playas y embalses cuyos colores y olores mortecinos nos denuncian la ausencia de vida, señales tales como «prohibido bañarse», «no potable»... que nos confirman la realidad que nunca debiera suceder: el agua está contaminada.

La contaminación es una de las consecuencias del crecimiento demográfico y de la concentración urbana. Cuando la densidad de población era pequeña las depuraciones naturales garantizaban la integridad del agua. Ahora el incremento de población y del nivel de vida, demandan mayor cantidad de alimentos, energía y servicios. Todo ello contribuye a contaminar el agua, si no se aplican métodos subsidiarios de depuración, sobre todo en las zonas de mayor concentración urbana, donde los mecanismos de recuperación propios de la Naturaleza están al borde del colapso.

Las explotaciones agrícolas potenciadas sin control mediante la utilización masiva de fertilizantes y pesticidas han originado la contaminación de extensas zonas, produciendo en muchos casos

desequilibrios ecológicos irreversibles. Los pesticidas organoclorados sintéticos fueron una de las grandes aportaciones de la ciencia de los años cuarenta al desarrollo agrícola. Sin embargo, la degradación de las aguas ha aumentado a partir de 1945 debido a la polución originada por los mismos. No olvidemos que unos miligramos de DDT por tonelada de aguas oceánicas reducen en un 50 por 100 su capacidad fotosintética.

Ciertas actividades se han desarrollado en muchos casos con un comportamiento totalmente desaprensivo frente al problema de la contaminación, teniendo como único objetivo su rendimiento económico más inmediato. Así, en el mundo industrializado, numerosas fábricas vierten sus desechos a ríos y otras corrientes, sin tomar ninguna medida de tratamiento para reducir la cantidad de agua contaminada vertida, ni para reducir su poder contaminante. Ciertas fábricas de productos químicos, colorantes, papeleras y lavaderos de minerales son exponente de estos atentados. Lo mismo ocurre en el mar con los buques cisterna que de forma desaprensiva lavan sus bodegas contaminando las aguas próximas a la costa. O con ciertas centrales eléctricas que no adoptan dispositivos para reducir la cantidad y la temperatura del agua vertida tras ser utilizada en la refrigeración, calentando el agua del curso en sus proximidades y afectando a los ecosistemas.

Ante la dualidad «desarrollo-contaminación» es necesario subrayar que no se trata de un enunciado «causa-efecto», sino de una realidad que desgraciadamente se origina con cierta frecuencia, cuando el desarrollo nace de un planteamiento incompleto, estrecho y con intereses crematísticos inmediatos. Solamente el progreso integral del hombre en el sentido ecológico más amplio de la palabra, garantizará la calidad de vida sobre la Tierra, frontalmente encontrada con la contaminación del agua.

Vamos a pasar a estudiar con cierto detalle la contaminación de las aguas superficiales, convencidos de que sólo tenemos un mundo para contaminar, la Tierra, nuestro «Planeta azul», y si lo arruinamos, no hay otro para sustituirlo.

## Actividades

- Coloquio en clase sobre la contaminación del entorno ambiental; actividades y agentes contaminadores.
- Estudiar experimentalmente la pureza del agua de un río a partir de tres muestras, tomadas en puntos distintos: antes de atravesar el pueblo o ciudad, inmediatamente después de pasar y a varios kilómetros río abajo.
  - Señalar en cada caso: color, olor y turbidez.
  - Filtrar cada una de las muestras separadamente y comparar los residuos obtenidos.
- A partir de la prensa diaria confeccionar un mural de noticias sobre la contaminación de las aguas.



- Visitar el nacimiento de un río, y ponderar la pureza de sus aguas cristalinas comparada con el aspecto mortecino de las aguas contaminadas.

## La polución de aguas superficiales

### Objetivos

- Identificar el origen de los distintos focos contaminantes de las aguas superficiales.
- Reconocer la acción específica de degradación de cada uno de ellos.
- Significar su incidencia volumétrica en la polución de las aguas superficiales.

### Desarrollo

Las aguas superficiales son las primeras en sentir la agresión constante de todos los agentes contaminantes, cualesquiera que sea su procedencia. Vamos a considerar a continuación la contaminación producida por los principales elementos originados en una sociedad desarrollada que presta atención a las exigencias ecológicas del entorno.

#### *Las aguas residuales y las basuras domésticas*

El concepto de contaminación de carácter colectivo se aplica para significar el efecto multiplicador de la contaminación debida a la densidad de población humana. En el mundo desarrollado, el consumo urbano diario de agua alcanza la cifra de 400 litros por persona, que originan un gran volumen de aguas residuales domésticas. Estas aguas contienen gran cantidad de sales disueltas, materias orgánicas, partículas y sólidos en suspensión y microorganismos contaminantes. Los vertidos de estas aguas de muchos pueblos y ciudades no son sometidos a un tratamiento adecuado en plantas depuradoras, ni son recogidos correctamente en pozos negros o fosas sépticas. De esta forma, las aguas de muchos ríos y del litoral son alcanzadas por las aguas fecales originando su degradación progresiva.

Las basuras domésticas constituyen un volumen de elementos contaminantes difícilmente digeribles por la Naturaleza. Los casi 3 kg de desechos de un ciudadano norteamericano y los dos de un europeo, necesitan ser tratados si no se quiere perturbar seriamente el equilibrio ecológico. De otra forma, las aguas superficiales se verían contaminadas y quizás de forma irreversible.

Recordemos los siguientes datos: un depósito de basura de 1.200 metros cúbicos, puede ceder al subsuelo durante un año 3,3 toneladas de bicarbonato, 1,5 de sodio y potasio, 1 tonelada de calcio y magnesio, 0,31 toneladas de cloruro y 0,23 toneladas de sulfato, además de otros elementos y compuestos nocivos.

#### *Los residuos industriales*

La polución del agua mediante las actividades industriales puede alcanzar valores importantes, si no se toman medidas de reciclado apropiadas.

Cada tipo de industria tiene una acción específica. La industria siderúrgica utiliza grandes cantidades de agua: para obtener una tonelada de acero se necesitan unas 150 toneladas de agua que se emplea sobre todo en los sistemas de refrigeración. Esto hace que su vertido pueda alterar la flora y fauna del agua del entorno al variar su temperatura. El agua utilizada en el lavado de gases arrastra polvo además de concentraciones de amoníaco, fenoles, cianuro y otros compuestos alcalinos que exigen un tratamiento previo antes de arrojarla a la alcantarilla. De igual forma en los procesos de laminación y decapado, el agua alcanza altos niveles de concentración de aceites y ácidos respectivamente, que requieren un reciclado específico si se quiere evitar la polución en masa de las aguas del medio ambiente.

La industria química con sus innumerables productos manipulados en sus procesos de fabricación debe aplicar un tratamiento específico de cada uno de los casos, sobre todo ante los vertidos de ciertas sustancias venenosas.

La industria alimenticia es una gran consumidora de agua de gran calidad que degrada con sus residuos orgánicos, aumentando la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de la misma.

#### *El petróleo y sus derivados*

El petróleo y sus derivados: gasolinas, naftas, aceites, alquitrán, gas-oil, fueloil, aumentan cada día más su presencia contaminante en extensión e intensidad.

Además de los accidentes fortuitos que saltan a las páginas de los periódicos, de todos es conocido el vertido diario y sistematizado que los grandes petroleros realizan al limpiar sus cisternas en la mar. Por otra parte, los complejos petroquímicos que hasta ahora contaminaban localmente el entorno marino de su emplazamiento, se han instalado en puntos del interior donde la contaminación puede alcanzar cotas más trágicas al invadir con sus desechos no controlados, o vertidos accidentales, aguas superficiales que al infiltrarse invaden acuíferos subterráneos con consecuencias imprevisibles.

Consideramos las siguientes cifras:

- Un litro de gasolina puede degradar entre mil y cinco mil metros cúbicos de agua.
- Veinte litros de gasolina o de productos afines pueden contaminar el consumo diario de una ciudad de 200.000 habitantes.
- Un camión cisterna de quince mil litros puede contaminar una cantidad de agua equivalente al consumo de la misma ciudad durante dos años.

En Alemania se ha calculado que 250 metros cúbicos de gasolina o nafta penetran en sus yacimientos subterráneos, contaminando 250 millones



de metros cúbicos de agua, esto es, el 5 por 100 de la que necesita dicho país.

### *Los detergentes sintéticos*

Desde hace tres décadas existe un nuevo factor contaminante: el conjunto de detergentes sintéticos. Su presencia en el aseo, lavado de ropa y limpieza del hogar, así como en los múltiples usos fabriles y en las industrias metalúrgicas y químicas, ha multiplicado el riesgo de contaminación de las aguas superficiales.

Existen varios tipos de detergentes que nosotros vamos a agrupar en dos:

- *Los detergentes no degradables* cuya utilización ha sido prohibida progresivamente en los países desarrollados. Una de sus características contaminantes era la formación de grandes masas de espuma que además de constituir en ocasiones un peligro para la navegación, impedían sobre todo la acción positiva germicida de la radiación solar en el proceso de depuración de las aguas.
- *Los detergentes biodegradables*, cuya aplicación abarca todos los medios debido a la fácil destrucción por la acción de microorganismos.

La presencia de detergente en el agua disminuye la acción biológica de las bacterias presentes en su proceso de depuración. Su acción nociva no sólo se canaliza por el agua, sino que su presencia en envases y alimentos, hace que ciertas sustancias más o menos tóxicas asimiladas por el hombre, tengan una acción que según algunos puede ser cancerígena.

### *Los abonos químicos y los pesticidas*

La utilización masiva en las últimas décadas de abonos químicos y pesticidas en agricultura, ha incrementado considerablemente la contaminación del medio ambiente.

La acción de los abonos químicos se desarrolla de dos formas principalmente.

#### *Contaminación indirecta:*

La solubilidad de los compuestos de fósforo y nitrógeno hace que las aguas tanto superficiales como subterráneas poco profundas, adquieran exceso de sales nutritivas que favorecen el desarrollo de diatomeas, algas y otros microorganismos, que empobrecen el agua en oxígeno, originando la muerte de la fauna piscícola.

#### *Contaminación directa:*

Provocando la llamada enfermedad azul en los bebés por la ingestión de alimentos con elevada concentración de iones  $\text{NO}_3^-$ . En Japón se prohibió el uso de fertilizantes en los arrozales.

Junto a los abonos químicos nacen los pesticidas en su múltiple frente de insecticidas, herbicidas, fungicidas, fumigantes, raticidas, alguicidas...

En la década de los 60 se extendieron en terrenos de cultivos más de 2.000.000 de toneladas

de DDT y otros compuestos organoclorados (compuestos sintéticos con un mínimo de tres átomos de cloro).

Pierre Rondière afirma que todas las aguas del mundo se hallan hoy contaminadas por los residuos de pesticidas organoclorados como el DDT, ya que en diez años sólo se degrada en un 50 por 100 su masa inicial. La invasión del DDT ha llegado hasta el Antártico, donde se han encontrado focas cuya grasa contenía ese compuesto.

Su aplicación indiscriminada ha afectado no sólo a las aguas superficiales y a los seres vivos sino a las aguas subterráneas. Esto no es de extrañar, si tenemos en cuenta que casi un 50 por 100 de los organoclorados se volatilizan en la atmósfera, son arrastrados por los vientos y puestos en contacto con el agua de las nubes que los devuelven a la tierra contaminando todas las aguas.

La historia de la exterminación del mosquito *Chaoborus astictopus* del lago Clear Lake, a 150 kilómetros de San Francisco, EE.UU., por medio del DDD es un ejemplo triste de cómo los métodos indiscriminados y contaminantes son agresivos a la naturaleza. Además de múltiples secuelas nocivas para el entorno se detectaron secuelas inverosímiles como la esterilidad de los somormujos.

### *Los residuos radiactivos*

Muchos hospitales, industrias y laboratorios químicos-farmacéuticos utilizan radioelementos artificiales que pueden contribuir a la contaminación radiactiva del agua.

Por otra parte, los productos de fisión de las centrales nucleares si bien son tratados, embalados y almacenados cuidadosamente siguiendo normas con amplios márgenes de seguridad, son una amenaza constante, y en particular para las aguas subterráneas, si se tiene en cuenta que para el año 2000 se prevén más de 10 millones de toneladas de residuos radiactivos en todo el mundo.

Las graves consecuencias de la radiactividad deben mantener en alerta a todos los países exigiendo el cumplimiento de las más estrictas medidas de seguridad.

### *El incremento del nivel térmico del agua*

El agua se utiliza como un buen refrigerador poco costoso, de los motores, en las fábricas, en las centrales nucleares. Su calentamiento, aunque no se clasifica dentro de ningún tipo de contaminación, hace disminuir su contenido de oxígeno, afectando a la vida de su fauna y flora. Cuando la temperatura del agua pasa de 13°C a 20°C, la concentración del oxígeno en su seno disminuye en un 13 por 100. Además la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas aumenta, originando un mayor consumo de oxígeno, puesto que se trata de reacciones de oxidación. Esto provoca una acumulación de residuos en el agua, al mismo tiempo que su evaporación aumenta al tener más temperatura.



No se conocen bien los efectos del aumento de temperatura del agua, pero ya se han registrado impactos ecológicos íntimamente ligados al incremento del nivel térmico, como la desaparición de las ostras de Chesapeake Bay en Maryland. Unos científicos norteamericanos han hecho estudios sobre algunos ríos de EE.UU. y han llegado a predecir que si no se toman medidas adecuadas en algunos de ellos, especialmente solicitados como asentamiento de centrales nucleares, dentro de unos años su temperatura habrá aumentado varias decenas de grados.

Esta rápida descripción macroscópica de las diversas fuentes de contaminación debe sensibilizar a los alumnos en el grave problema de la polución de las aguas superficiales.

### Actividades

- Comprobar los efectos de la contaminación del agua en las plantas y los animales acuáticos.
- Preparar cinco tarros con agua de charca o río conteniendo pequeños animales y plantas, además de arena y fango del fondo. Dejar el primero de testigo y echar en cada uno de los demás: detergente, fertilizante, agua residual y lejía. ¿Qué cambios se observan? Anotar las observaciones.
- Visitar si es posible, una fábrica de cemento, una refinería, una fábrica de papel, de plástico, una fábrica de abonos químicos, una siderurgia, e informarse ¿qué tipos de residuos vierten?, ¿qué sistemas de tratamiento utilizan?, ¿cómo contaminan su entorno?
- Hacer la prueba de la espuma: agitar un recipiente con agua de desagüe y otro con agua limpia. ¿En cuál se forma más espuma? ¿A qué se debe?

### GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN ESPAÑA (Informe General Presidencia del Gobierno - 1977)

	t/año
2 ciudades con más de 1 millón de habitantes a 0,9 kg/hab/día	2.040.000
36 núcleos entre 1.000.000 y 100.000 habitantes a 0,75 kg/hab/día	2.075.000
168 núcleos entre 100.000 y 20.000 habitantes a 0,65 kg/hab/día	1.505.000
Núcleos con menos de 20.000 habitantes a 0,55 kg/hab/día	2.960.000
<b>TOTAL</b>	<b>8.580.000</b>

## La autodepuración en aguas superficiales

### Objetivos

- Reconocer los procesos depuradores de las aguas superficiales.
- Valorar la importancia de la presencia de oxígeno procedente del aire y de las plantas acuáticas en la autodepuración de las aguas superficiales.

- Subrayar la importancia de la radiación solar.
- Destacar que el proceso autodepurador se realiza más fácilmente en las aguas de los ríos y arroyos que en las de lagos y embalses.

### Desarrollo

Las aguas superficiales de la Naturaleza son capaces de autodepurarse siempre que la concentración de materias orgánicas e inorgánicas no rebasen ciertos límites y que la oxigenación natural del agua se realice de forma continua.

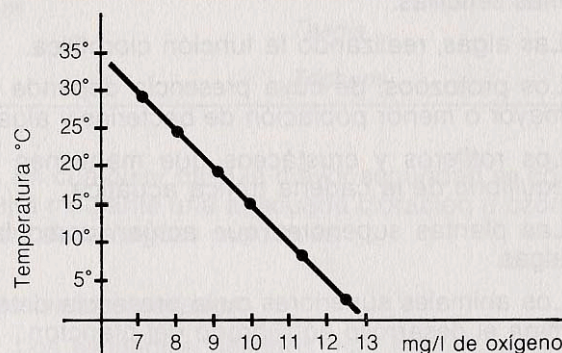
Vamos a estudiar este proceso primeramente en las aguas de los ríos y después en los embalses y lagos.

#### La autodepuración en los ríos

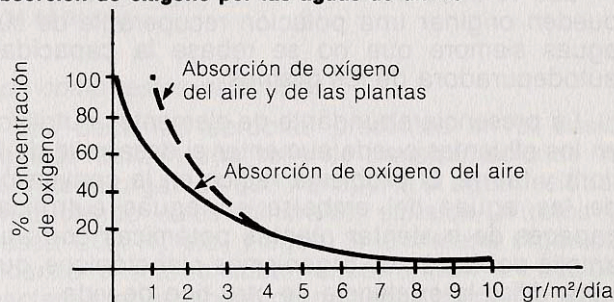
La corriente de un río modifica físicamente las sustancias orgánicas en disolución, disminuyendo su tamaño y aumentando la superficie de contacto. El oxígeno del agua facilita la acción destructora de los microorganismos aerobios provocando la decantación de gran parte de los productos transformados.

La temperatura del agua determina la proporción mediada de oxígeno en el agua de los ríos y arroyos. La recuperación del oxígeno del agua depende principalmente de las plantas verdes que contenga y sobre todo de la aireación de su superficie. Observemos en la gráfica de Imhoff la absorción de oxígeno de un curso de agua en relación con su concentración de oxígeno. El poder autodepurador del agua de un río depende, por tanto, de la relación que exista entre el consumo de oxígeno por la transformación aerobia de sustancias orgánicas y la absorción de oxígeno procedente del aire y de las plantas acuáticas.

#### Contenido de oxígeno en función de la temperatura



#### Absorción de oxígeno por las aguas de un río





Mientras existe oxígeno en el agua la materia orgánica se metaboliza nitrificándose u oxidándose, siendo más rápido el proceso depurador cuanto mayor sea la dilución o repartición de las materias disueltas. De ahí que sea importante conocer la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en mg/l de oxígeno disuelto, en una muestra de agua mediante el llamado Método de dilución:

- Se prepara una dilución del agua problema con agua destilada que se deja reposar a 20°C y en un contacto con la atmósfera a través de un filtro de algodón durante varios días. Después, se mide el oxígeno disuelto en una parte alícuota.

Se toma una cierta cantidad de la dilución mediante sifonado y se deja reposar a 20°C durante 20 días en la oscuridad. Al cabo de ese tiempo, se determina el oxígeno disuelto. La diferencia en mg entre las dos medidas, referidas a un litro de dilución, indica la cantidad de oxígeno por litro necesaria para la autodepuración, esto es la DBO.

Existen además otros procesos que influyen en la autodepuración, como son la reducción hidrolizante de la materia orgánica y la radiación solar. Mediante la primera las sustancias orgánicas se transforman por vía química o biológica en líquidos de fácil oxidación y gases que pasan a la atmósfera.

La acción esterilizante de la radiación solar sobre algunas bacterias origina la decoloración de los cursos de agua. Por otra parte, asegura el proceso fotosintético de las plantas acuáticas enriqueciendo el contenido en oxígeno del agua.

Para terminar señalemos los elementos biológicos que intervienen en este proceso autodepurador del agua de los ríos:

- Las bacterias, transformando, como ya hemos indicado, las sustancias orgánicas en otras más sencillas.
- Las algas, realizando la función clorofílica.
- Los protozoos, de cuya presencia depende la mayor o menor población de bacterias y algas.
- Los rotíferos y crustáceos que mantienen el equilibrio de la cadena trófica acuática.
- Las plantas superiores que actúan como las algas.
- Los animales superiores cuya presencia determina el desarrollo equilibrado del plancton.

#### *La autodepuración en los embalses y lagos*

Los vertidos de efluentes en lagos y embalses pueden originar una polución recuperable de sus aguas siempre que no se rebase la capacidad autodepuradora de los mismos.

La presencia abundante de elementos nutritivos en los efluentes puede aumentar el desarrollo de la flora y fauna. El problema radica en la conversión de las aguas del embalse en aguas eutróficas capaces de sustentar plantas potámicas con una amplia población de organismos planctónicos, que hace difícil la existencia de otro tipo de vida.

Esta degradación hace imposible la utilización de sus aguas para el abastecimiento urbano, los deportes acuáticos, la pesca...

Aunque puede corregirse este tipo de contaminación, controlando o suspendiendo los vertidos, combatiendo con herbicidas la excesiva vegetación, hay quien afirma que cuando un embalse o lago «llega a la eutrofiación completa, no recupera nunca su primitivo estado aunque se suspenda la aportación de aguas negras».

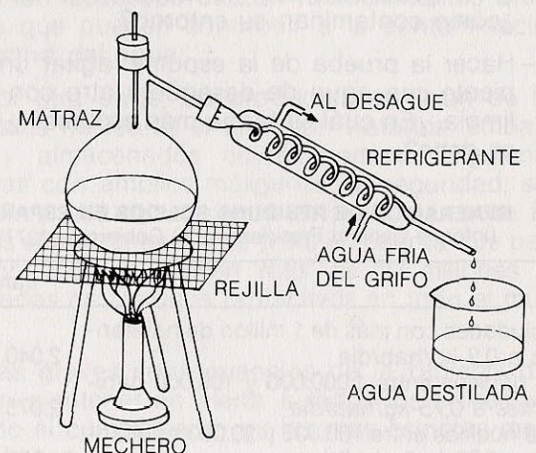
Sin llegar a este extremo, el principal mecanismo de depuración de los embalses se basa en la dilución de las materias orgánicas originadas por las corrientes superficiales producidas por los vientos. Por otra parte, la diferencia de temperatura de las capas superficiales y profundas origina corrientes verticales y turbulencias que facilitan la mezcla completa contribuyendo a la autodepuración.

Por otra parte, al igual que en los ríos, interviene la aireación de las aguas y la radiación solar que al actuar sobre una superficie proporcionalmente menor en relación al volumen total de agua, determinan que la velocidad de autodepuración de los embalses y lagos sea relativamente pequeña.

### **Actividades**

- Realizar la destilación del agua, comparando los distintos pasos con sus equivalentes del ciclo hidrológico.

#### **Destilación del agua**



- Coloquio en clase, a partir de algunas lecturas, sobre los mecanismos de recuperación de las aguas superficiales: ríos y lagos.

Explicar por qué los olores desagradables nacen más fácilmente en las aguas estancadas que en las que están en movimiento.

- Construir un filtro con una botella de plástico, grava, arena, lodo y carbón vegetal; realizar experiencias con aguas contaminadas.

## **La polución de aguas subterráneas**

### **Objetivos**

- Señalar el origen de los principales contaminantes de las aguas subterráneas.



- Reconocer la acción contaminadora de los mismos.
- Subrayar la irreversibilidad de la polución de las aguas subterráneas.
- Destacar la agresiva degradación de los acuíferos costeros por la intrusión salina.

## Desarrollo

La polución de las aguas subterráneas puede originarse principalmente, por alguno de los siguientes contaminantes:

- Las aguas residuales urbanas (domésticas, comerciales, de servicios e industriales urbanas).
- Los residuos industriales (sólidos, líquidos y gases).
- Los fertilizantes y pesticidas agrícolas.
- La intrusión salina.

### Las aguas residuales urbanas

La contaminación de las aguas subterráneas debida a las aguas residuales urbanas o de sus efluentes (vertidos que salen de las plantas de tratamiento) se produce por la incorporación al flujo subterráneo de diversos agentes nocivos.

- sales disueltas
- nitrógeno (en forma de nitrato) y fósforo (de fosfatos)
- microorganismos
- metales pesados
- compuestos orgánicos.

### Las sales disueltas

Las aguas residuales que no son retenidas por el suelo o consumidas por las plantas, percolan hacia el acuífero donde se concentran las sales en disolución que contienen. Esto origina una degradación paulatina del manto sobre todo en las regiones áridas o semiáridas, donde se vuelve a bombear el agua, alcanzando el concentrado de sales valores significativos.

### El nitrógeno y el fósforo

El nitrógeno se encuentra en el efluente en forma orgánica, amoniacal y oxidada. En el suelo se transforma en nitratos mediante procesos bioquímicos. Las plantas absorben parte del nitrógeno y el resto de los iones  $\text{NO}_3$  son arrastrados por el agua en disolución. Poco a poco las aguas subterráneas se van cargando de iones  $\text{NO}_3$  superando los 10 mg/l que contienen en condiciones naturales. Cualquier cantidad mayor indica contaminación, siendo el límite para aguas potables un máximo de 30 mg/l, según el Código Alimentario Español. Un exceso de  $\text{NO}_3$  en el agua bebida puede producir en los recién nacidos, como ya hemos indicado anteriormente, una metahemoglobinemia, esto es, la hemoglobina de la sangre se transforma en metahemoglobina que realiza con deficiencia el

transporte de oxígeno y la piel de los niños adquiere un tono azulado.

En el regadío con efluentes urbanos, el nitrógeno y sus compuestos pueden ser eliminados por las plantas consiguiéndose su reciclado al mismo tiempo que alcanza una mayor fertilización. Por otra parte cuando se infiltran grandes cantidades de agua cargadas de nitrógeno, es necesario favorecer la desnitrificación mediante bacterias anaerobias que encuentren alimento de carbono orgánico.

En cuanto al fósforo y sus compuestos, los problemas de contaminación son mucho menos importantes debido a que los fosfatos son absorbidos y fijados en el suelo con gran facilidad. Además precipitan en medio alcalino y en presencia de calcio.

### Los microorganismos

Los numerosos microorganismos existentes en las aguas residuales urbanas pueden llegar al acuífero si el suelo vegetal es de muy poco espesor. En este sentido es muy importante situar la salida de vertidos distantes de los sondeos de abastecimiento urbano respecto a la zona de infiltración y tener en cuenta la dirección del flujo subterráneo, ya que las bacterias y virus se mueven en su dirección.

### PRINCIPALES ORGANISMOS PATOGENOS EN LAS AGUAS RESIDUALES

1. Bacterias	2. Protozoos	3. Parásitos helmintoides	4. Virus
<i>Salmonella</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Ascaris</i>	<i>Poliovirus</i>
<i>Shigella</i>		<i>Ancylostoma</i>	<i>Cosackie</i>
<i>Mycobacterium</i>	<i>Naegleria</i>	<i>Necator</i>	<i>Reovirus</i>
		<i>Taenia</i>	
		<i>Trichuris</i>	

En cualquier caso la mayor seguridad se conseguirá mediante una adecuada cloración u ozonización de las aguas residuales.

### Los metales pesados

Los elementos pesados más frecuentes en las aguas residuales son: zinc, cobre, plomo, cromo, níquel, hierro. No se conocen bien los cambios que sufren los iones de estos metales pesados, aunque parece ser que son absorbidos en su mayor parte por el suelo.

### Los compuestos orgánicos

Las bacterias aerobias presentes en el suelo vegetal realizan una serie de transformaciones de la materia orgánica que transporta el agua residual produciendo sales minerales: sulfatos, nitratos y gases:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etc., y agua. Si la materia orgánica alcanza el manto subterráneo, entran en acción bacterias anaerobias produciendo también sales



minerales y gases:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SH}_2$ . Pero estos procesos son más lentos que los anteriores pudiendo alcanzar niveles altos la presencia de materia orgánica.

El problema de las sustancias biodegradables es menos importante a largo plazo que el de aquellas sustancias resistentes a la acción microbiana y cuyos efectos sobre el metabolismo del hombre y de los animales, aunque no son bien conocidos, parecen potenciar la toxicidad de otras sustancias. Un ejemplo típico es el de los antiguos detergentes, como ya lo indicábamos anteriormente.

#### *Los residuos industriales*

Las actividades industriales son una fuente de contaminación real y potencial para los acuíferos. Los mecanismos de contaminación son diversos, y no siempre están a la vista del hombre. Las aguas residuales, los desechos sólidos vertidos o almacenados y, en ocasiones, los humos son los elementos industriales más contaminantes, sin olvidar la incidencia de los almacenamientos de materias primas, el transporte y los posibles accidentes y fugas que se pueden originar.

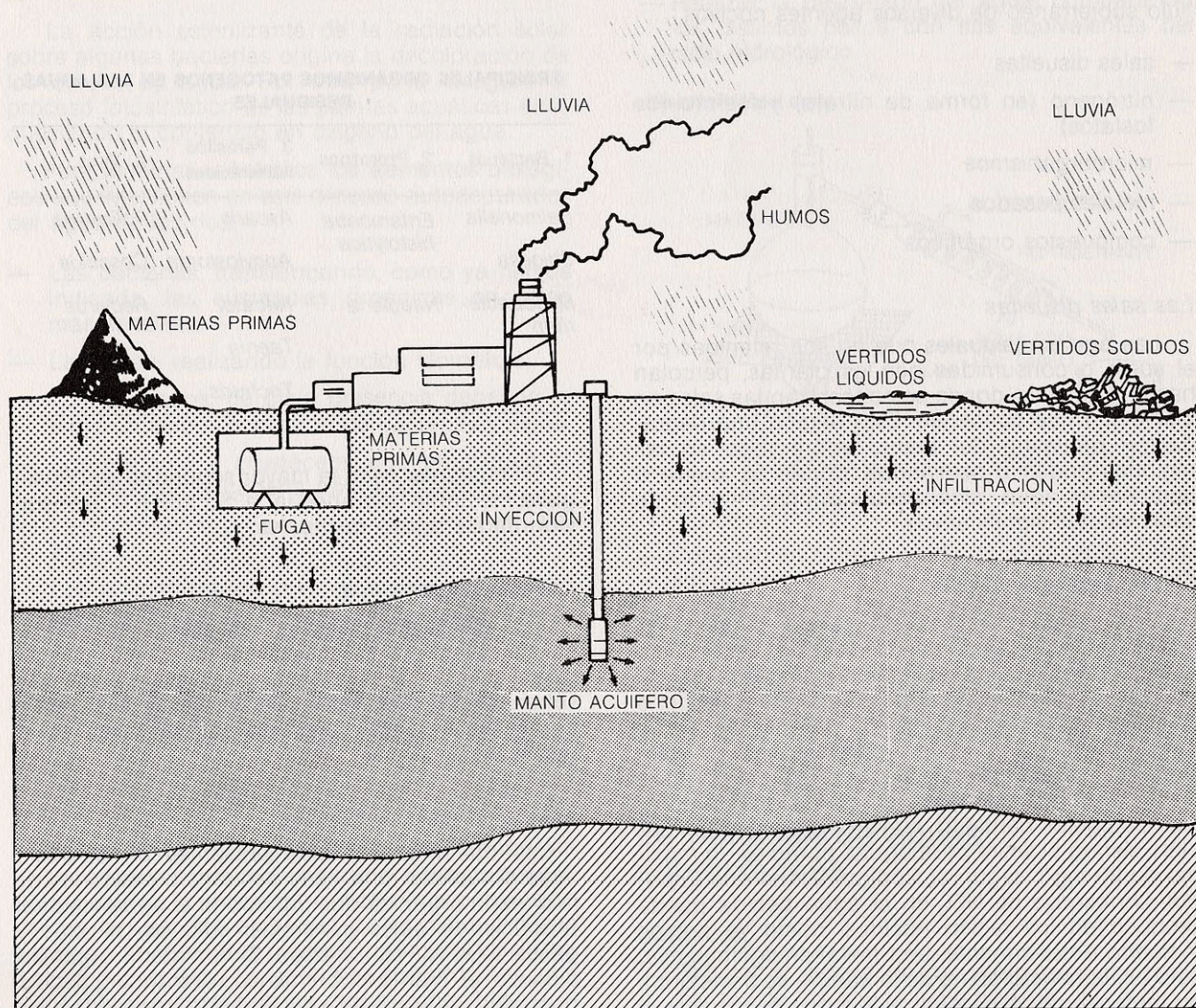
El vertido de las aguas residuales se realiza de distintas formas: a un cauce superficial (río, lago), a una superficie de terreno más o menos puntual (laguna, zanja, foso...) o bien introduciéndolas directamente en un manto acuífero mediante un sondeo de inyección.

En los dos primeros casos la infiltración progresiva hasta el manto subterráneo permite el reciclado parcial de los residuos, si bien poco a poco pueden llegar a contaminar las aguas subterráneas.

La eliminación de las aguas residuales mediante pozos de inyección profunda en estratos permeables y que se practica sobre todo con residuos muy contaminantes huyendo de las severas leyes de protección de las aguas superficiales, es una seria amenaza para las aguas subterráneas, que puede llegar a tener dimensiones nocivas incalculables.

Las aplicaciones de aguas residuales industriales para el riego multiplican los peligros de contaminación, al asimilar las plantas sustancias tóxicas (metales pesados) que después son ingeridas por el hombre.

#### **Incidencia de los residuos industriales sobre un manto acuífero**





Las fugas incontroladas tanto de los depósitos de residuos sólidos como de los almacenamientos de materias primas, líquidas o sólidas, son factores importantes de la contaminación de las aguas subterráneas, sobre todo cuando permanecen inadvertidas durante mucho tiempo.

Los accidentes en carretera o ferrocarril pueden originar importantes focos de contaminación subterránea si ocurren en una zona vulnerable y sobre todo si se trata del transporte de grandes volúmenes de sustancias tóxicas, productos petrolíferos, etcétera.

También los humos contaminan los mantos acuíferos, al ser arrastrados por las precipitaciones atmosféricas, con la particularidad de que esta contaminación puede alcanzar extensas zonas lejanas.

«Los efectos de la contaminación son imprevisibles a veces. Los bosques de los países escandinavos han crecido más lentamente en los últimos años. Los científicos noruegos y suecos creen poder afirmar que se debe a la contaminación del aire procedente de las grandes zonas industriales de Inglaterra y Alemania. Los vientos transportan la suciedad a través de grandes distancias y cae después, arrastrada por la lluvia, sobre los bosques.» (Alonso Sevilla Vega.)

#### *Los fertilizantes y pesticidas agrícolas*

##### ● *Los fertilizantes*

Los abonos nitrogenados extendidos en el campo español se multiplicaron por ocho entre los años 1960 (100.000 toneladas de nitrógeno) y 1975 (800.000 toneladas de nitrógeno).

Los compuestos nitrogenados orgánicos actúan lentamente, dado que el nitrógeno tiene que ser primero mineralizado y luego nitrificado. Sin embargo, los compuestos inorgánicos actúan inmediatamente, si bien algunos como el sulfato amónico liberan su nitrógeno lentamente, porque tienen que ser nitrificados. En consecuencia los compuestos orgánicos de nitrógeno no crean grandes problemas de contaminación, por lo que nos vamos a centrar en la lixiviación de compuestos nitrogenados inorgánicos en forma de nitratos  $\text{NO}_3^-$ ; amonio  $\text{NH}_4^+$  y nitritos  $\text{NO}_2^-$ . Estudios de investigación indican que el amonio y los nitritos representan solamente proporciones insignificantes, menores de un 1 por 100 del nitrógeno lixiviado hacia las aguas subterráneas.

Los nitratos  $\text{NO}_3^-$ , que resultan de un proceso de degradación, y constituyen casi todo el nitrógeno presente en estas aguas pueden considerarse completamente móviles, como trazadores, en suelos y aguas subterráneas. Su comportamiento varía según la estructura del medio poroso. Así en la zona no saturada o zona de aireación, su movimiento depende de fuerzas químicas y gravitatorias, dominando en su desplazamiento la dirección vertical. En la zona saturada el movimiento predominante coincide con el gradiente de la superficie piezométrica, cuya componente principal es la horizontal.

Los compuestos de fósforo se presentan en el suelo en forma orgánica e inorgánica, tales como los fosfatos de hierro y aluminio en suelos ácidos, y

fosfatos de calcio en suelos alcalinos. El fósforo en forma orgánica corresponde a los fosfatos de inositol, y a los ácidos nucleicos y fosfolípidos.

De cualquier forma la fijación en el suelo de todos estos compuestos está facilitado por su pequeña movilidad. La mayoría de los problemas relacionados con el fósforo y la calidad de las aguas se presentan en las aguas superficiales y se refieren a la erosión del suelo que arrastra compuestos de fósforo. Su presencia en las aguas subterráneas solamente se da cuando el suelo ha sido sobrecargado rebasando su capacidad de fijación.

##### ● *Los pesticidas*

Con esta palabra nos referimos a todos los compuestos utilizados en agricultura en la lucha por la desaparición de plantas y animales perjudiciales.

En general todos ellos son tóxicos para los seres vivos, incluyendo el hombre, si bien su acción letal depende sobre todo de las dosis de aplicación. De ahí que aunque la contaminación de las aguas subterráneas se verifica por la fácil absorción del suelo, sin embargo lentamente pueden alcanzar niveles de peligrosidad por la acción persistente de los mismos, sobre todo de los organoclorados, cuyo principal representante es el DDT. Sin embargo, los compuestos organofosforados y carbonatos se degradan con relativa facilidad, teniendo por tanto poca actividad residual.

Veamos a continuación el cuadro de persistencia de pesticidas en suelos, tomado de «Cuadernos del CIFCA, 13», Madrid, 1978.

Pesticidas	Vida media en el suelo
DDT	3-10 años
Aldrin	1-4 años
Dieldrin	1-7 años
Isodrin-Endrin	4-8 años
Heptacloro	7-12 años
Clordano	2-4 años
Toxafeno	10 años
BHC	2 años
Etil Paration	180 días
Metil Paration	45 días
Thimet	2 días
Clorhion	36 días
DDVP	17 días
Dipterex	140 días
Disiston	290 días
Metil Demeton S	54 días
Dirsban	19-1.930 días
Clorfenvinphos	14-161 días
Dimetoato	122 días

#### *La intrusión salina*

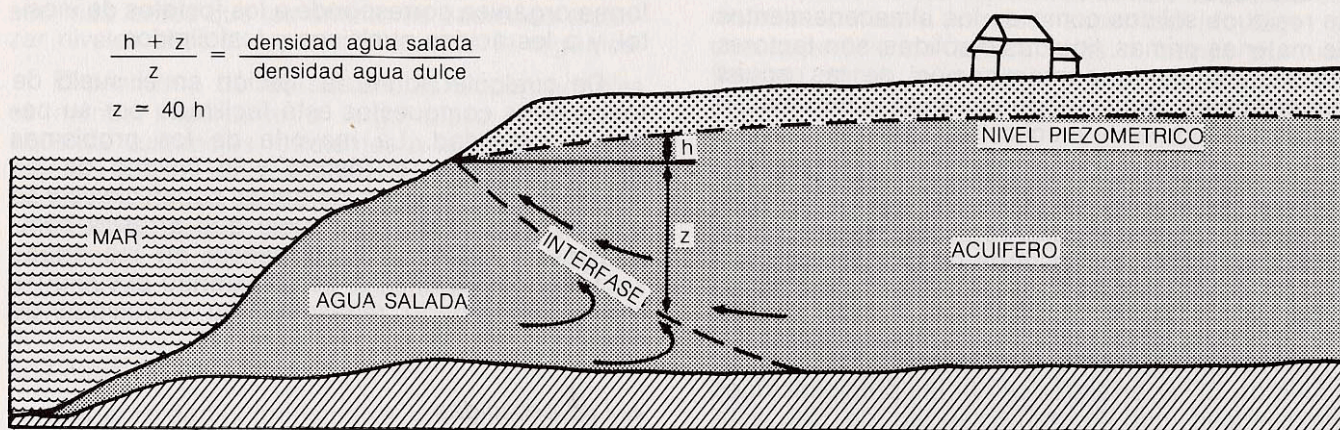
Los acuíferos costeros pueden ser contaminados por la infiltración de las aguas saladas del mar. Este proceso llamado «intrusión salina» o «invación marina» es provocado generalmente por la explotación inadecuada del acuífero, o bien por el descenso natural de su nivel piezométrico debido a una sequía prolongada en la región costera.



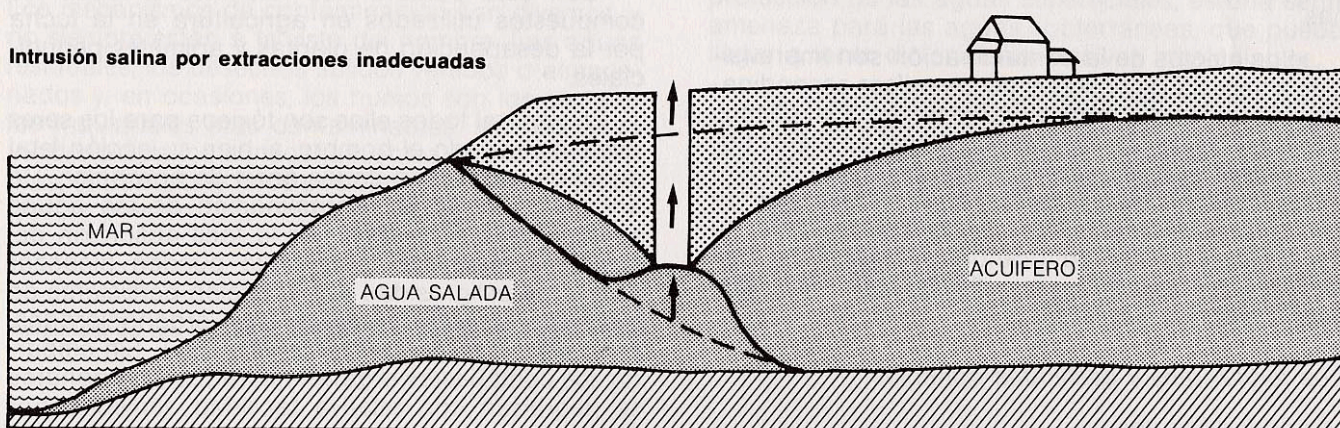
## Condiciones naturales del equilibrio agua dulce/agua salada

$$\frac{h+z}{z} = \frac{\text{densidad agua salada}}{\text{densidad agua dulce}}$$

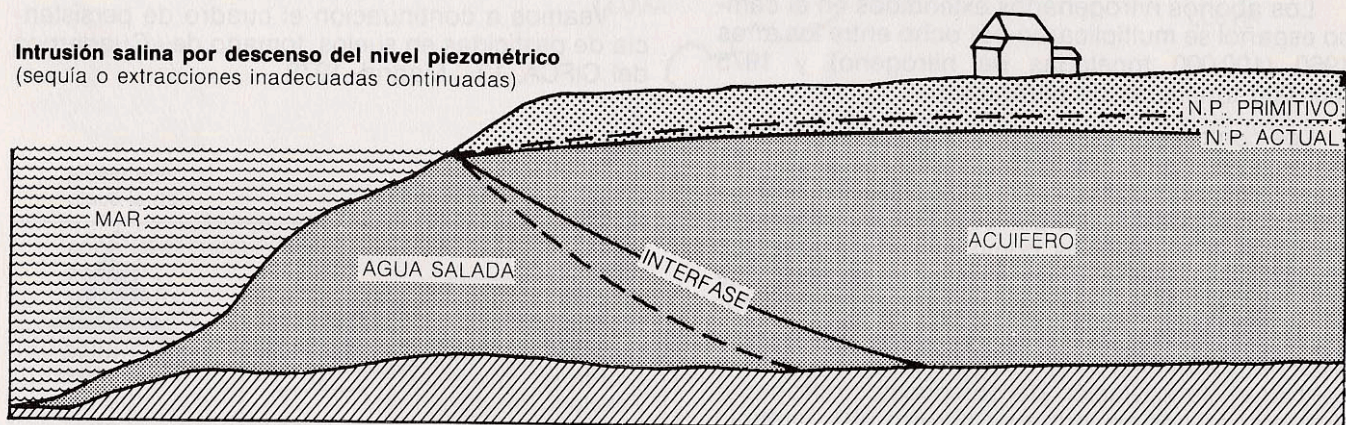
$$z = 40 h$$



## Intrusión salina por extracciones inadecuadas



## Intrusión salina por descenso del nivel piezométrico (sequía o extracciones inadecuadas continuadas)



En el primer caso la infiltración salina se ve favorecida por la modificación del cono de depresión cuyas líneas alcanzan las corrientes del flujo salino.

En el segundo caso se origina una inversión del gradiente freático, en una zona al desplazarse la interfase, y con ella el flujo del agua marina hacia el interior del manto.

Esta degradación de las aguas freáticas costeras originan la descalificación de las mismas no sólo para el uso doméstico, sino también para el regadío, significando una pérdida importante al coincidir muchas veces con zonas pobres en reservas hídricas.

Un acuífero que ha sufrido la intrusión salina, puede quedar degradado para muchos años. Su recuperación es difícil y lenta.

## Actividades

- Abrir un coloquio sobre cómo las aguas subterráneas pueden ser el blanco receptor de todas las actividades contaminadoras del hombre si no se toman las medidas necesarias.
- Formar tres grupos de trabajo que presenten a partir de la lectura, gráficos, fotografías de periódicos y revistas, los efectos polucionantes de las aguas residuales urbanas, de los residuos industriales y de los fertilizantes y pesticidas agrícolas.

Realizar dibujos de cortes de terreno indicando el camino recorrido por los contaminantes infiltrados.



## Diferencias entre contaminación superficial y subterránea

### Objetivos

- Reconocer que las aguas subterráneas están mejor protegidas contra la contaminación que las superficiales.
- Señalar que es más difícil detectar la contaminación del agua superficial y sus orígenes que la del agua subterránea.
- Subrayar la capacidad de autodepuración de las aguas superficiales frente a la de las aguas subterráneas.
- Indicar la dificultad de recuperar las aguas freáticas contaminadas.

### Desarrollo

Teniendo presente que el volumen de las reservas hídricas constituido por las aguas subterráneas alcanza 8.400.000 kilómetros cúbicos, de los cuales la mitad se encuentran a menos de 800 metros de profundidad formando una gran despensa de agua dulce de calidad, es importante destacar las diferencias entre la contaminación superficial y subterránea. Para ello vamos a contraponer a continuación las principales características de ambas:

#### Riesgo de contaminación

*Superficial.* Las aguas superficiales son susceptibles de contaminarse más fácilmente por los vertidos directos de residuos domésticos, industriales y agrícolas.

*Subterránea.* Las aguas subterráneas están mejor protegidas contra los riesgos de contaminación debido a los mecanismos depuradores ejercidos por el subsuelo: filtración, absorción, adsorción, precipitación, reacciones químicas y bioquímicas... del agua infiltrada antes de engrosar el acuífero. Las aguas superficiales normalmente no pueden experimentar contaminación salina. La intrusión salina es una amenaza constante para los mantos costeros.

#### Detección de la contaminación

*Superficial.* Muchas veces una simple observación de las aguas superficiales nos pone en alerta sobre su posible contaminación. La calificación de la misma se realizará mediante análisis físicos, químicos y bacteriológicos.

*Subterránea.* La detección de la polución de las aguas subterráneas no es tan fácil e inmediata como la de las aguas superficiales, sobre todo tratándose de acuíferos de larga residencia. Esto hace que un manto freático pueda estar degradándose durante mucho tiempo sin darnos cuenta, bajo la acción progresiva y solapada de un contaminante. De ahí, la importancia de los controles periódicos de las características de nuestros acuíferos.

#### Origen de la contaminación

*Superficial.* La identificación de los focos contaminantes de las aguas superficiales se consigue sin gran trabajo y no requiere técnicas especiales ni grandes inversiones.

*Subterránea.* En cuanto a la determinación de los orígenes de la contaminación de las aguas subterráneas, así como el seguimiento de su evolución por medio de pozos y sondeos o la inyección de trazadores en el flujo freático, es una tarea difícil y laboriosa. Su coste y rendimiento no siempre guardan proporción.

#### Autodepuración de las aguas

*Superficiales.* La Naturaleza cuenta con el proceso autodepurador de las aguas superficiales siempre que el hombre no lo bloquee. El oxígeno del aire y la radiación solar son los principales factores multiplicadores del mismo.

*Subterráneas.* Si bien es verdad que es más difícil contaminar las aguas freáticas que las superficiales, también es cierto que los mecanismos naturales de autodepuración de las primeras son muy lentos debido a la falta de oxigenación y luz solar, verificándose entonces procesos anaerobios, además de la paulatina dilución de los contaminantes.

#### Protección de las aguas

*Superficiales.* Se deben proteger las aguas superficiales evitando los vertidos o en cualquier caso controlando su acción contaminante de forma que nunca se llegue a colapsar su capacidad autodepuradora.

*Subterráneas.* La mejor manera, y en muchos casos la única, de proteger las aguas subterráneas es evitando su contaminación. La dificultad para detectar precozmente este tipo de contaminación y sus orígenes, así como su lento proceso de recuperación, nos llevan a valorar todo tipo de medidas protectoras de las aguas subterráneas.

### Actividades

- Coloquio, después de alguna lectura apropiada, sobre las características de la contaminación superficial y subterránea. Destacar la irreversibilidad, en muchos casos, de la contaminación freática.
- Realizar un mural destacando en viñetas las diferencias entre ambos tipos de contaminación.



# La protección de las aguas subterráneas

## Objetivos

- Conocer las medidas necesarias para proteger las aguas subterráneas de:
  - las aguas residuales urbanas
  - los residuos industriales
  - los fertilizantes y pesticidas.
- Indicar los métodos utilizados para recortar el alcance de la contaminación subterránea.

## Desarrollo

Algunos estudios señalan que la rehabilitación de un acuífero contaminado no es rentable, pues su costo superaría a los beneficios que se derivarían de la utilización de sus aguas. De ahí, que la protección de las aguas subterráneas va a depender de la lucha que presentemos frente a los 4 principales focos de contaminación antes señalados.

### 1. De las aguas residuales urbanas

Se pueden someter a diversos grados de tratamiento. El más sencillo, que llamamos primario, consiste en un desgaste de los sólidos más gruesos y una sedimentación primaria, mediante lo cual se eliminan hasta un 90 por 100 de los sólidos decantables y un 50 por 100 de los sólidos en suspensión. La cantidad de materia orgánica expresada en

DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), puede reducirse en un 35 por 100. Sin embargo, el nitrógeno, el fósforo y demás sales inorgánicas disueltas no sufren modificaciones.

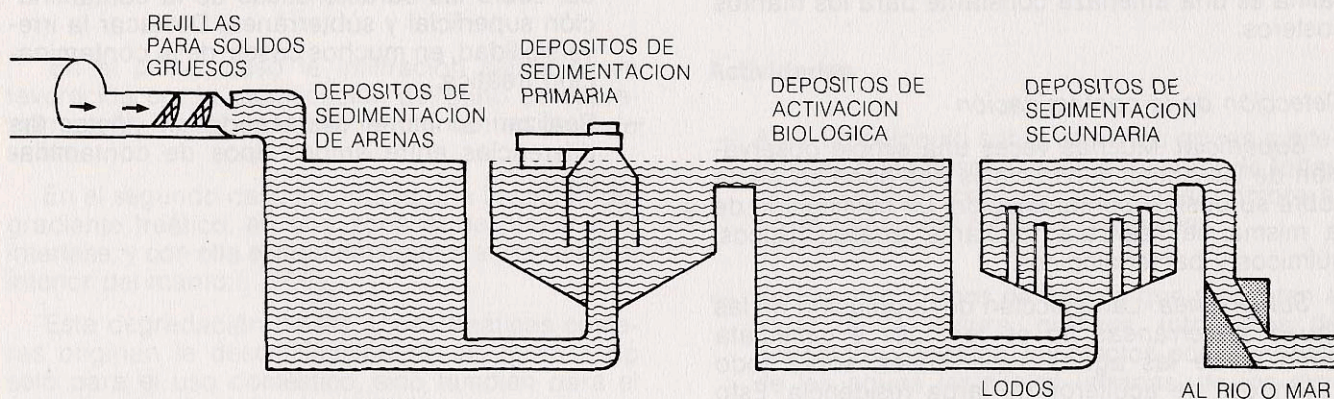
El tratamiento secundario consiste fundamentalmente en una purificación biológica, en la que los agentes de tratamiento son microorganismos, en régimen aerobio, que consumen materia orgánica. Dos de los métodos utilizados son:

- el de *los lodos activados*, en el que se insufla aire mediante difusores que crean movimientos circulatorios en el líquido y facilitan el contacto;
- el de *lechos filtrantes*, en que se hace pasar el agua residual a través de capas de gravas donde se realiza la descomposición aeróbica.

Estos tratamientos pueden eliminar hasta el 90 por 100 de la DBO y el 85 por 100 de los sólidos en suspensión. Aunque se elimina algo de N, no ocurre lo mismo con el P y las sales solubles inorgánicas.

Todo esto hace que las aguas efluentes de las plantas depuradoras presenten menos riesgo de contaminación, teniendo en cuenta que se suelen completar estos procesos con una operación de desinfección que en la mayor parte de los casos consiste en la adición de gas cloro,  $Cl_2$ , disuelto en agua, cloraminas, ácido hipocloroso, hipoclorito sódico o peróxido de cloro. La eficacia germicida del gas cloro libre es muy notable, sobre todo frente a microorganismos patógenos denominados *coli-forme fecal*.

Esquema planta depuradora





La última fase de recuperación de las aguas fecales corre a cuenta de la acción del sol y el oxígeno del aire, al ser vertidas a corrientes superficiales, así como a la acción filtrante del suelo, antes de que percolen hasta el manto acuífero.

## 2. De los residuos industriales

La lucha contra la contaminación de las aguas subterráneas por actividades industriales debe centrarse en el origen de esa contaminación, desarrollando una serie de actividades encaminadas a controlar y eliminar a corto, a medio y a largo plazo los focos de contaminación.

### A corto plazo

Es importante evitar la presencia de vertidos nocivos en puntos próximos a flujos de aguas tanto superficiales como subterráneas. Más aún, es necesario neutralizar su toxicidad, mediante tratamientos parciales y secuenciales de las aguas residuales del complejo industrial.

En ocasiones la sabia elección de un terreno apropiado servirá para aprovechar sus propiedades a lo largo de la percolación, evitando colmatación, malos olores... En todo caso siempre se ha de estudiar la naturaleza del terreno y más si se trata de la instalación de un pozo de inyección.

En el control de fugas y pérdidas en el transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas, se utilizan controles de presión, detectores de fuga, medidas anticorrosión, pruebas periódicas, válvulas de cierre automático...

En los accidentes se debe evitar inmediatamente la dispersión de los compuestos contaminantes, así como su rápida neutralización.

### A medio plazo

Se debe sistematizar la experimentación e investigación para mejorar el tratamiento de los residuos industriales, buscando formas nuevas de reutilización de los desechos.

Al mismo tiempo se estudiará la posible mejora de los procesos de protección industrial con el fin de disminuir los residuos contaminantes. Una actividad de lucha contra la contaminación es la información técnica sobre el tema que sensibilice a todas las personas implicadas en el problema de forma que el frente de lucha se amplíe y potencie.

### A largo plazo

Investigar todo el proceso industrial contemplándolo en su totalidad para no verse en la necesidad de recurrir a soluciones costosas o extremas.

La divulgación continua y exacta que completará los estudios técnicos integrados en el grado elemental, medio y superior, mejoraría el mantenimiento del equilibrio ecológico, uno de cuyos factores más importantes es el agua.

## 3. De los fertilizantes y pesticidas

La lucha contra la contaminación provocada por los fertilizantes y pesticidas debe comenzar por el uso racional de los mismos, teniendo en cuenta:

- la determinación de la cantidad estrictamente necesaria;
- la fijación del tiempo y lugar adecuados de su aplicación;
- la aplicación específica y el método apropiado al tratamiento del cultivo;
- la mejora en las prácticas de cultivos de forma que se reduzcan al mínimo tanto la utilización de fertilizantes artificiales como los pesticidas químicos.

## 4. De la intrusión salina

El control piezométrico para proceder a la suspensión de los bombeos, es prácticamente la única vía de proteger a los acuíferos subterráneos costeros de este riesgo.

Y ¿qué se puede hacer cuando la contaminación ha invadido un acuífero subterráneo?

Son varios los métodos de recuperación preconizados para esta eventualidad todos ellos muy costosos y algunos de dudosa efectividad.

1. Cambiar los puntos de bombeo existentes, de forma que además de reducir el caudal bombeado del lugar contaminado se modifique el cono de depresión y con éste la velocidad del flujo del agua. Este método se aplica sobre todo en los casos de intrusión marina en acuíferos costeros.
2. Crear una barrera de presión, mediante una serie de pozos o sondeos por donde se inyecta agua que eleva el nivel piezométrico creando una barrera de presión que impide el flujo del agua contaminada hacia la zona explotada del manto.
3. A la inversa, creando una barrera de depresión mediante la extracción de agua contaminada por una serie de pozos o sondeos que interrumpen el flujo contaminado hacia la zona del manto utilizable.

Estos dos métodos difícilmente serán rentables si tenemos en cuenta que precisan energía adicional: en el primero se necesita además agua abundante para la inyección, y en el segundo, hay que contabilizar los gastos de extracción y tratamiento del agua contaminada extraída.

4. Extraer el agua contaminada interceptando previamente el flujo de la misma mediante sondeos o pozos. Este método se ha utilizado en algunas ocasiones de contaminación por fugas de hidrocarburos.

El IGME controla las características de sus aguas mediante análisis químicos y bacteriológicos sistematizados, así como sus niveles piezométricos.

La detección precoz de cualquier tipo de contaminación es una forma ineludible de proteger las aguas subterráneas.



## Actividades

- Visitar una planta depuradora de aguas residuales, preparando la visita mediante explicaciones sobre el esquema de la misma que faciliten la comprensión del proceso.
- Realizar un pequeño informe sobre las instalaciones visitadas, completando el cuestionario:
  - ¿de dónde proceden las aguas contaminantes?
  - ¿qué volumen de agua se depura al día?
  - ¿qué zonas se benefician con este tratamiento?
  - ¿a dónde se vierten los efluentes?
  - ¿qué se hace con los residuos?
  - ¿cuál es el coste por metro cúbico?
- Coloquio sobre diversas reutilizaciones rentables de los desechos.

## Prevenir es mejor que curar

### Objetivos

- Conocer algunas medidas preventivas contra la contaminación.
- Especificar las acciones preventivas según los orígenes de los contaminantes.
- Subrayar que la prevención es la solución más rentable en la lucha contra la contaminación.

### Desarrollo

Aunque parezca un tópico nuestro encabezamiento, no por eso deja de ser una realidad aplicado al problema de la contaminación en general y en especial cuando nos referimos a las aguas subterráneas.

Consideramos las siguientes medidas preventivas en la lucha contra este tipo de contaminación:

1. Evitar la proximidad de los vertidos contaminantes a los acuíferos, cualesquiera que sea su procedencia. De ahí la importancia de disponer de mapas de orientación para vertidos, como los que realiza el IGME.
2. Impedir la filtración de las sustancias nocivas mediante acciones de impermeabilidad del terreno en aquellos casos en que sea imposible el traslado de la actividad contaminadora. Esto es de aplicación en casos puntuales: almacenamiento de sustancias potencialmente contaminadoras.
3. Disminuir al máximo los desechos polucionantes mediante procesos adecuados de recuperación. En muchos casos las aplicaciones de los productos del reciclado autofinancia su coste.

4. Reducir la toxicidad mediante tratamientos específicos, de las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas peligrosas.

Junto a estas medidas generales cabe apuntar tres acciones específicas, según el origen de los posibles contaminantes:

1. Las aguas domésticas deben reunirse en alcantarillas que las conduzcan a estaciones depuradoras para convertirlas en aguas biológicamente satisfactorias que pudieran ser utilizadas para el regadío. Pensemos que el efluente producido por 100 personas sería suficiente para regar una hectárea de terreno. Aunque en la mayor parte de los países desarrollados está legislado el vertido de las aguas residuales, no siempre se cumple. Por ejemplo, en EE.UU. una cuarta parte del agua sucia va directamente al suelo sin ningún tipo de tratamiento; en Francia, la mitad de la población hace lo mismo, y en otros países menos desarrollados se rebasa ese tanto por ciento.
2. La localización puntual de los polígonos industriales permite el estudio previo de las características hidrogeológicas de los terrenos sobre los que se asientan y el diseño de sistemas de recuperación, tratamiento, vertido y almacenaje de los residuos peligrosos, de forma que nunca alcancen las superficies piezométricas.
3. La utilización de métodos apropiados de regadío, drenajes, vegetación..., así como el control de todo el territorio. El IGME además de realizar el Inventario de Acuíferos del suelo español, que ocupan el 25 por 100 de su superficie, ha realizado «Mapas de orientación para vertidos» que suponen una gran ayuda para evitar los focos de posible contaminación.

## Actividades

- Coloquio sobre la necesidad de prevenir la contaminación de las aguas, en especial de las aguas subterráneas.
- Manejar «mapas de orientación para vertidos» explicando los factores geológicos tenidos en cuenta para su trazado.
- Exponer ejemplos de cómo el reciclado de residuos no sólo previene la contaminación de la Naturaleza, sino que además es una fuente de energía y de productos reutilizables por el hombre.
- Explicar el funcionamiento de la torre de refrigeración de una central térmica destacando estos dos aspectos: recuperación de parte del agua del condensador para ser reutilizada y disminución de la contaminación térmica producida por el agua vertida.
- Hacer un comentario por escrito de la viñeta ecológica del mural.



## Bibliografía consultada y recomendada

RONDIERE, PIERRE, «La muerte del agua». Editorial Noguer, S. A., Barcelona, Madrid, 1972.

CUADERNOS DEL CIFCA, «Aguas subterráneas: 7, 13 y 14». Madrid, 1978-1979.

SETIEN ROLDAN, JUAN F. y GARRIDO MARTÍNEZ, MANUEL, «Organización de la lucha contra la contaminación del Medio Ambiente en España y en el Extranjero». Colegio Oficial y Agrupación Regional de Ingenieros Industriales. Santander, Burgos y Palencia.

SEVILLA VEGA, ALONSO, «Actividades para explorar la contaminación». Editorial Adara, La Coruña, 1975.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA, «Educación y Medio Ambiente». Madrid, 1981.

PEAC, «La Enseñanza por el Entorno Ambiental». Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1981.

## Aguas subterráneas y Geología

### Contenido

- Definición de aguas subterráneas.
- Relación de aguas subterráneas con otros tipos de aguas.
- Clasificación de aguas subterráneas en función de su origen y de su comportamiento en el terreno.
- Tipos de aguas subterráneas: aguas de infiltración y aguas de almacenamiento.
- Características físicas y químicas de las aguas subterráneas.

### Definición

Definición de una masa de agua que se encuentra en el subsuelo y que puede ser utilizada para fines de uso público. Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran en el subsuelo y que están en contacto con el terreno. Las aguas subterráneas pueden ser de infiltración o de almacenamiento. Las aguas de infiltración son aquellas que se infiltran en el terreno desde la superficie. Las aguas de almacenamiento son aquellas que se encuentran en el terreno y que están en contacto con el terreno.

Las aguas subterráneas pueden ser de infiltración o de almacenamiento. Las aguas de infiltración son aquellas que se infiltran en el terreno desde la superficie. Las aguas de almacenamiento son aquellas que se encuentran en el terreno y que están en contacto con el terreno.

Las aguas subterráneas pueden ser de infiltración o de almacenamiento. Las aguas de infiltración son aquellas que se infiltran en el terreno desde la superficie. Las aguas de almacenamiento son aquellas que se encuentran en el terreno y que están en contacto con el terreno.

Las aguas subterráneas pueden ser de infiltración o de almacenamiento. Las aguas de infiltración son aquellas que se infiltran en el terreno desde la superficie. Las aguas de almacenamiento son aquellas que se encuentran en el terreno y que están en contacto con el terreno.



#### **4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

**4.1. Aguas subterráneas y geología**

**4.2. ¿Qué se investiga en las aguas subterráneas?**

**4.3. Los ensayos de bombeo**

**4.4. Obras de captación: pozos y sondeos**

**4.5. Cómo es una bomba de agua**



## 4. Investigación y captación de aguas subterráneas

### *Aguas subterráneas y Geología*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *¿Qué se investiga en las aguas subterráneas?*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Los ensayos de bombeo*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Obras de captación: pozos y sondeos*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Cómo es una bomba de agua*

Objetivos  
Desarrollo  
Actividades

### *Bibliografía consultada y recomendada*

## Aguas subterráneas y Geología

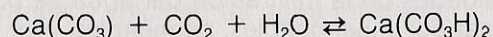
### Objetivos

- Explicar la formación de acuíferos.
- Relacionar los acuíferos con las características de los terrenos.
- Clasificar los acuíferos por su origen y forma de manifestarse en los ensayos de bombeo.
- Conocer algunas peculiaridades de los terrenos respecto a la infiltración de aguas.
- Explicar acciones geológicas de las aguas subterráneas.

### Desarrollo

«Después de una nueva serie de corredores y salas de formas y extensiones diversas, se llega a la gruta de las Hadas, donde por todas partes estalactitas formando inmensas columnatas y elegantes arcos, constituyen un conjunto verdaderamente mágico. Por todas partes resuda agua; por todas partes se oye el ruido de gotas que caen retumbando en aquellos sorprendentes parajes. Por todas partes se ve el trabajo del agua. El agujero abierto en la peña, lo ha hecho la gota de agua que está cayendo desde hace siglos. Las fantásticas grutas, brillantes por sus estalactitas, construidas están también por la gota de agua. Trabajando paciente y silenciosa, como el pólipo del coral, deposita suave y constantemente su partícula de piedra sobre el edificio en construcción.»

Así describe J. Pizzeta en su «Viaje de una gota de agua» las estancias descubiertas en la llamada Gruta del Mammoth, en Kentucky (EE.UU.). Descripción válida para todas aquellas formaciones, como las cuevas del Drach (Mallorca) o Nerja (Málaga), donde el agua cargada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disuelve al carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) de las rocas calcáreas, transformándolo en bicarbonato cálcico [ $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ ], según la reacción



Las gotas de agua que arrastran el bicarbonato cálcico quedan pendientes del techo de la gruta y caen perdiendo parte del  $\text{CO}_2$ , dejando depositada una pequeña cantidad de  $\text{CaCO}_3$ . Al cabo de cientos de años estas cantidades originan las estalactitas y estalagmitas.

Estos fenómenos son los más espectaculares de los muchos producidos por el agua infiltrada, que debido a su poder disolvente y a que va cargada de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  produce la meteorización química de



las rocas. Hay que destacar en este sentido la meteorización provocada en los silicatos a la que se debe el aspecto tan peculiar del llamado paisaje granítico.

Sin embargo, no hay que olvidar que la gran generalidad es que el agua subterránea no rellena cavernas sino que empapa terrenos.

Cualquier estudio de aguas subterráneas precisa del conocimiento de la geología de los terrenos. A partir de él se podrán obtener los primeros datos sobre la geometría, la estructura, la textura y la composición interna de los acuíferos.

En los terrenos calizos la infiltración del agua ocurre a través de las ranuras o lapiaz y de las depresiones o dolinas en las que queda un resto arcilloso apto para la vegetación y los cultivos. Es característico de los macizos calcáreos semidesérticos la existencia de pequeños núcleos de vegetación, surgidos en las dolinas.

También es característico de los terrenos calcáreos la desaparición de los ríos, así como las llamadas resurgencias o fuentes vaclusianas, apariciones intermitentes de agua en cantidad variable, según las épocas del año.

En ocasiones el agua infiltrada puede producir deslizamientos de tierras peligrosos. Esto se produce cuando la parte superficial del subsuelo presenta zonas impermeables que el agua atraviesa y otras impermeables donde se detiene pero que impregnadas poco a poco acaban siendo deslizantes. Si estas capas tienen inclinación suficiente se produce el deslizamiento. Es propio de terrenos arcillosos.

En las regiones volcánicas suele producirse que un manto de basalto cubra con un espesor que puede rebasar los 100 m, el lecho de algún curso de agua que no desaparece y continúa fluyendo bajo el manto de lava, del que sale de formas diversas (fuentes, manantiales, géysers...). Suelen ser aguas bastante puras debido a la retención de gérmenes microbianos en las cenizas volcánicas.

Igualmente, los terrenos graníticos suelen tener manantiales de agua potable, debido a que el agua infiltrada pasa a través de la arena granítica, mezcla de arena y grava que es permeable y permite el paso del agua de lluvia y de la fusión de la nieve hasta la roca granítica sana, es decir, no descompuesta en arena y por tanto impermeable. El agua discurre sobre esa superficie impermeable, saliendo por las fisuras de la roca alterada a lo largo de un valle.

Los terrenos sedimentarios atendiendo a las posibilidades de la infiltración del agua se pueden clasificar en: impermeables, permeables «por porosidad» y permeables «por fisuración».

Los impermeables están formados por arcillas principalmente.

Los permeables «por porosidad», por arenas, gravas y areniscas.

Los permeables «por fisuración», por calizas y dolomías.

El agua infiltrada se acumula llenando los espacios intergranulares de las arenas, de las areniscas

y las fisuras de las calizas. Así se forman los acuíferos, estimándose unos 45.000 km<sup>3</sup> de agua contenida en todos los existentes en nuestro planeta, en una profundidad de 30 metros aproximadamente.

Según las características del terreno pueden establecerse los siguientes tipos de acuífero:

- a) Aquéllos cuya permeabilidad se debe a grietas y fisuras, de origen mecánico o por disolución. Son los llamados cársticos y fisurados. Se encuentran entre ellos las calizas, dolomitas, granitos y basaltos.
- b) Los que su permeabilidad es debida a su porosidad intergranular. Se les denomina acuíferos porosos. Entre ellos están las gravas, arenas, etc.; en general todos los materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo.
- c) Y los acuíferos cuya permeabilidad es producto de las dos causas anteriores. Son los cársticos y porosos. Típicas, las calcarenitas.

Aun dentro de la heterogeneidad que tienen todos los acuíferos, los porosos son los más homogéneos. Son capaces de almacenar mucha agua por unidad de volumen del acuífero y por tanto son lentos de reaccionar a los bombeos.

Los cársticos son menos homogéneos y más dispares en los resultados de los ensayos. Tienen menor capacidad para almacenar agua y pueden considerarse acuíferos rápidos.

Unos y otros, según sus circunstancias hidráulicas y estructurales pueden trabajar de forma diversa:

- a) Acuíferos libres. En los que el nivel del agua se encuentra por debajo del acuífero. El agua que ceden es la almacenada en sus poros.
- b) Acuíferos cautivos o confinados. Los que están absolutamente aislados en el subsuelo; rodeados, por tanto, de materiales impermeables. El nivel de agua está por encima del techo del material acuífero. Están a presión o en carga, debido a los materiales superiores. El agua que ceden procede del desaplastamiento de las capas superiores, cuando se produce un descenso en el acuífero.
- c) Acuíferos semiconfinados. Los materiales que los rodean no son todos impermeables. La velocidad de reacción ante un bombeo es más moderada que en los cautivos, que suelen ser muy rápidos debido a su baja capacidad para almacenar agua.
- d) Del conocimiento del terreno y de las características de los acuíferos deducidas de los ensayos de bombeo, puede conseguirse una idea aproximada de las dimensiones del embalse subterráneo. Aunque en la mayoría de los casos hay que conformarse, y ya es muy indicativo y apreciable, con determinar el orden de magnitud de los parámetros que identifican el acuífero.



La investigación y aprovechamiento de las aguas subterráneas viene haciéndose desde tiempos remotos. Ya se decía en el cartel de los zahoríes. Veamos una interesante curiosidad, sacada de «Historia de la Ciencia Española» de J. Vernet.

El cultivo del algodón fue introducido en España por los árabes, así como el de las espinacas, berenjenas, azafrán, arroz, etc., que exigen gran cantidad de agua. En aquellos lugares, como la Meseta, donde no había facilidad para el regadío, introdujeron un sistema de aprovechamiento de aguas subterráneas originario de Persia, conocido allí en el siglo VII a. de J.C.; lo establecieron en las inmediaciones de lo que hoy es Madrid, existiendo la teoría de que el nombre de la capital de España, procede de aquel sistema de riego y de abastecimiento de aguas todavía hoy practicado en ciudades del Próximo Oriente llamado Mayrá, por lo que a la ciudad en árabe se le llamó Mayrit; y en romance, Madrid. La etimología de esta palabra es: lugar en que abundan los túneles subterráneos de captación de aguas.

### Actividades

- Comentar el texto de J. Pizzeta con que se inicia este capítulo.
- Resumir en el cuaderno el proceso químico de formación de estalactitas y estalagmitas.
- Consultar en libros de texto, enciclopedias o libros de divulgación qué es el paisaje granítico.
- Diferenciar los terrenos arcillosos y calcáreos respecto a la posibilidad de infiltración de aguas, ¿qué ventajas e inconvenientes tienen para la agricultura?
- Reproducir con plastilina y otros materiales un corte geológico que represente la infiltración de agua en un terreno calcáreo. Incluir grutas, dolinas, resurgencias, ranuras...
- Explicar cómo se puede producir un desprendimiento de tierras.
- ¿Qué diferencia hay entre permeabilidad «por porosidad» y «por fisuración»?
- Representar acuíferos libres, confinados y semi-confinados.
- Investigar cómo se hacen en la localidad las averiguaciones previas a los sondeos acuíferos.
- Preparar una relación de actividades necesarias para aprovechar un acuífero imaginario, existente en el entorno escolar, dedicado a abastecer de agua los hogares, algunas huertas y el propio colegio.

## ¿Qué se investiga en las aguas subterráneas?

### Objetivos

- Valorar la importancia del estudio previo de las características generales y específicas de un acuífero.

- Identificar los principales parámetros hidrogeológicos de un manto freático.
- Señalar cómo se puede llegar a conocer la estructura y rendimiento de un acuífero antes de su explotación.

### Desarrollo

Antes de comenzar las obras de explotación, captación, perforación... e incluso del reconocimiento mecánico, es indispensable realizar una investigación hidrogeológica lo más completa posible, con el fin de evitar las sorpresas y el fracaso de la operación.

Los estudios hidrogeológicos de una región tienen un doble objetivo: conocer las características generales de la zona, esto es, las condiciones climáticas (régimen pluviométrico, escorrentía superficial, evapotranspiración, escorrentía subterránea...) y señalar las características específicas de las rocas del subsuelo, en particular las referentes a la transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

#### Características generales

Recordemos que el agua procedente de las precipitaciones atmosféricas, P, se reparte de la siguiente forma:

- Escorrentía superficial, E': que discurre sobre la superficie de la tierra formando los torrentes y ríos, además de constituir en estado sólido, los glaciares que hubiera en la zona.
- Evaporación, E: incluida la evapotranspiración que se reintegra a la atmósfera mediante la acción de las radiaciones solares.
- Escorrentía subterránea, E'': que es la parte que penetra en el subsuelo engrosando las aguas subterráneas.

En una región determinada, siempre se cumplirá:

$$P = E + E' + E''$$

Así pues, en primer lugar es necesario conocer los resultados de las medidas de las precipitaciones sobre la zona en estudio, es decir, su pluviometría. Los caudales de los cursos de agua nos darán la escorrentía superficial, E. El cálculo delicado de la evaporación, incluida la evapotranspiración, mediante la evaluación de la humedad del aire, permitirá determinar el término E'.

De esta forma podremos calcular la escorrentía subterránea o volumen de agua infiltrada:

$$E'' = P - (E + E')$$

Pero no basta con hacer ese cálculo, es necesario verificar in situ, el comportamiento de las infiltraciones mediante la medición y el estudio de las variaciones de nivel y de presión de los mantos freáticos, en función de las precipitaciones.

#### Características específicas

El estudio de las características específicas de un acuífero nos permitirán determinar: su localiza-



ción, dimensiones, estructura, alimentación, variaciones de su nivel y presión, así como las posibles comunicaciones con otros acuíferos.

Sin embargo, en muchos casos no es necesario comenzar desde el principio; existen estudios de base realizados por el IGME que están a disposición de los interesados, a partir de los cuales se pueden completar las investigaciones oportunas para determinar los parámetros hidrogeológicos que definen el acuífero problema.

Aquí nos vamos a fijar únicamente en estos tres parámetros fundamentales:

- la transmisividad  $T$
- la permeabilidad  $K$ , y
- el coeficiente de almacenamiento  $S$ .

**La transmisividad  $T$ :** La transmisividad se define como el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga (presión) de un metro. Representa la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua. Generalmente se expresa en  $m^2/día$ , o bien en  $m^2/hora$  o  $m^2/segundo$ .

**La permeabilidad  $K$ :** Este parámetro se define como la relación existente entre la transmisividad  $T$  y el espesor del acuífero  $b$ .

Es decir:  $K = t/b$ .

De su ecuación de dimensiones se deduce que se expresa en  $m/día$ . Aunque la permeabilidad nos habla de la estructura de un acuífero, no indica como la transmisividad, la capacidad de ceder agua. Por ejemplo, un manto freático muy permeable pero de espesor pequeño, puede ser poco transmisivo, y en consecuencia los pozos o sondeos perforados en el mismo no serán muy caudalosos.

Los acuíferos semiconfinados tienen una permeabilidad  $K$  comprendida entre  $10^{-4}$  y  $10^{-2}$   $m/día$ , siendo  $10^{-3}$   $m/día$ , un valor medio representativo que se usa con frecuencia. Los terrenos impermeables tienen valores de  $K$  inferiores a  $10^{-4}$   $m/día$ .

**El coeficiente de almacenamiento  $S$ :** Se define como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria, cuando se le deprime la unidad. En el caso de que el acuífero trabaje como libre, el coeficiente de almacenamiento representa el volumen de agua que puede ceder un volumen unitario del mismo. O en términos más sencillos, volumen de agua que se puede extraer partido por volumen del terreno que la contiene.

Dado que la ecuación de dimensiones de  $S$  es la unidad, se expresa en tanto por ciento y coincide con la porosidad eficaz, en acuíferos libres.

La técnica moderna cuenta con la ayuda de los ordenadores para procesar los innumerables datos definidores de las características de un acuífero y trazar su mapa piezométrico. El trazado de las curvas isopiezas permite conocer los límites del yacimiento, señalar el sentido de su movilidad y las líneas de drenaje de sus diferentes capas.

## Actividades

- A partir de la lectura de los parámetros de algún acuífero próximo al lugar, abrir un coloquio sobre el significado de cada uno de ellos.
- Agujerear por igual varios botes de hojalata. Echar en ellos en distintas proporciones arcilla, limo, arena... y después agua. Observar cómo se infiltra el agua de forma distinta.
- Ejercicios de vocabulario construyendo frases con las palabras: parámetros hidrogeológicos, permeabilidad, transmisividad, evapotranspiración...
- Qué volumen de agua hay contenido en un acuífero cuyo volumen es de 100 millones de  $m^3$  y cuyo coeficiente de almacenamiento es de  $10^{-4}$ .

En ese acuífero se ha realizado un sondeo por el que extraemos como máximo 100  $m^3$  diarios. Si el coeficiente de permeabilidad de ese acuífero fuera el doble (doblemente permeable), ¿se podría extraer más caudal? ¿Aproximadamente cuánto?

## Los ensayos de bombeo

### Objetivos

- Valorar la importancia de los ensayos de bombeo para determinar de forma práctica las características de un acuífero.
- Diferenciar los diversos tipos de ensayos de bombeo.
- Reconocer las fases de un ensayo de bombeo y métodos aplicables.

### Desarrollo

Una vez que el sondeo se haya efectuado, se realizarán los ensayos de bombeo de uno o varios caudales, haciendo lo necesario para bajar el nivel del agua en función del tiempo, dentro del sondeo y eventualmente en los piezómetros vecinos. Estos ensayos permiten calcular las constantes hidráulicas (coeficiente de transmisividad y coeficiente de almacenamiento), apreciar las pérdidas de carga en las entubaciones, y calcular, en fin, el rendimiento de un pozo de explotación. Los coeficientes hidráulicos precisos, calculados en el curso de los ensayos, sirven para prever las reacciones del manto al estar sometidos a un nuevo régimen de explotación.

El objetivo final de todos estos estudios es más bien práctico que científico. El objetivo en sí, no es definir el volumen del manto, ni su balance hídrico, sino determinar con la mayor precisión posible, cómo reaccionará este manto, cuando se bombee en una u otra zona distintos caudales: 1  $m^3/s$ , 2  $m^3/s$ , 20  $m^3/s$ , etc.

Estos ensayos, que constituyen una fase esencial, en el estudio de los mantos de agua subterrá-



nea, son indispensables cuando se requieren datos cuantitativos.

Como estudios previos al ensayo es necesario establecer una ficha que debe contener todos los datos posibles:

- Emplazamiento.
- Características del pozo o sondeo.
- Corte esquemático del sondeo.
- Explotación.
- Evacuación del agua bombeada: A fin de evitar la «recirculación» del agua bombeada se la aparta lo más lejos posible, por medio de canales o zanjas, hasta llegar a algún arroyo, zanja de drenaje o sumidero. Si el terreno tiene pendiente marcada, una acequia es suficiente. Se trata de evitar que posibles filtraciones, en caso de vertidos próximos al sondeo, desvirtúen los resultados del ensayo.
- Piezómetros o pozos vecinos.
- Ensayo provisional: elección de la bomba apropiada, bomba eléctrica sumergida o bomba de eje vertical accionada por un motor mediante tronco rígido, para evitar el uso de correas de transmisión.

Los distintos tipos para la realización de ensayos de bombeo se resumen en el siguiente cuadro:

Tipos de ensayos de bombeo	A caudal constante	Régimen permanente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba en bombeo</li> <li>Prueba en recuperación</li> </ul>
		Régimen variable	
	A caudal variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bombeos a caudal crítico</li> <li>Bombeos escalonados</li> </ul>	

Se denomina régimen permanente aquel en el cual los niveles no varían con el tiempo. Cuando hay variación de nivel se denomina de régimen variable. En ambos casos, el ensayo se mantiene sin variación, a caudal constante.

El bombeo a caudal variable presenta dos modalidades. En la primera modalidad se deja la depresión fija a nivel de la bomba y se mide cómo va variando el caudal con el tiempo (Bombeo a caudal crítico). La segunda modalidad es la de caudales escalonados. Se fijan varios puntos distintos del caudal, midiendo la depresión en cada uno de ellos. Se emplea para determinar pérdidas de carga en las entubaciones o debidas a la mala construcción del pozo, que suelen ser las más frecuentes.

En la práctica, antes de comenzar el bombeo, se introduce una sonda con la finalidad de medir el nivel estático. La misma operación se realiza en los pozos de observación si los hubiera. Se arranca la bomba y el nivel irá descendiendo en todos los pozos. Esta comprobación de descenso de nivel se va comprobando con la sonda anotando los resultados. Estamos ante una modalidad de bombeo a caudal constante, régimen variable y prueba de bombeo. Llega un momento en que los niveles se

estabilizan o en todo caso varían tan poco que se pueden considerar estabilizados. Nos encontramos entonces ante un caso de bombeo a caudal constante y régimen permanente. Si a continuación se interrumpe el bombeo, los niveles comienzan a ascender hasta el nivel primario. Si interpretamos la evolución de estos niveles después de la parada estamos ante un caso de régimen variable y prueba de recuperación.

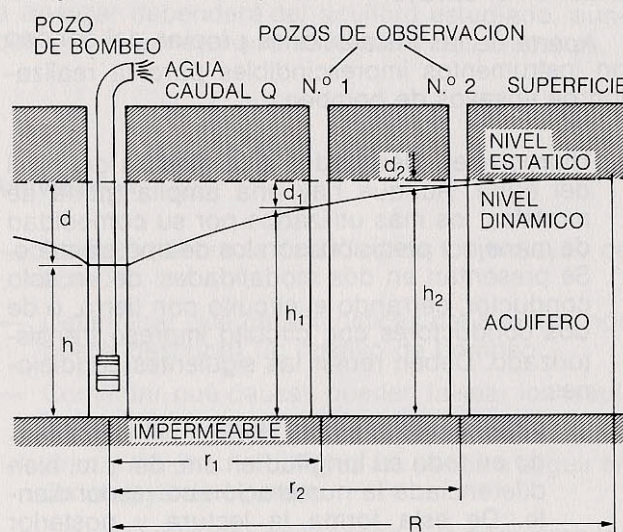
Existen una serie de métodos teóricos para la interpretación de los ensayos de bombeo. Se basan en fórmulas matemáticas que a veces pueden proporcionar datos o resultados distintos a los de la realidad. Está claro que la simple fórmula matemática no es suficiente. Hay que tener en cuenta una serie de circunstancias que son específicas para cada caso concreto. Entre estas variables a tener en cuenta están: el conocimiento de la geología e hidrología de la zona, corte estratigráfico del terreno, tipo y situación de los filtros, clase de acuífero, datos estadísticos sobre los pozos o sondeos próximos...

Los ensayos nos permiten obtener información tanto de los acuíferos como de los pozos.

Si se quieren estudiar las características del acuífero y se elige el método de régimen constante se procede de la siguiente forma:

- Se mide por medio de una sonda la profundidad de los niveles del agua tanto en el pozo como en los piezómetros (pozos de observación).
- Se comienza el bombeo en el pozo con un caudal constante ( $Q$ ).
- Cuando han transcurrido varias horas se miden los niveles a intervalos cortos de tiempo para comprobar si el descenso sigue evolucionando, operación que se continúa hasta que los niveles pueden considerarse estabilizados. En este momento se está en condiciones de determinar la depresión por diferencia con los niveles iniciales.

#### Ensayo de bombeo con pozos de observación



$d_1$  = depresión producida por el bombeo en el pozo de observación n.º 1.



$d_2$  = depresión producida por el bombeo en el pozo de observación n.º 2.

$Q$  = caudal de bombeo constante.

$T$  = transmisividad del acuífero.

$r_2$  = distancia del pozo de bombeo al piezómetro de observación n.º 2.

$r_1$  = distancia del pozo de bombeo al piezómetro de observación n.º 1.

- Con los datos obtenidos (depresión, caudal de bombeo, y distancias entre el pozo y los piezómetros) se puede interpretar el ensayo, pudiendo obtener el valor de la transmisividad, radio de influencia e incluso pérdidas de carga en el pozo. Cuando no se dispone de piezómetros, sólo se puede deducir el valor de la transmisividad. El coeficiente de almacenamiento no puede calcularse por este método de régimen permanente, ya que no se produce vaciado en el acuífero, y éste actúa como un mero transmisor de agua.

Los métodos de régimen variable son más complicados que los de régimen permanente, ya que no se interpreta el descenso total, sino la evolución de los niveles a lo largo de la prueba. Se miden en primer lugar los niveles iniciales, tanto en el pozo o sondeo como en los piezómetros. Se arranca la bomba y se mide la evolución de los niveles con el tiempo, en todos los pozos. Se comienza tomando niveles a intervalos de tiempo muy cortos, para después continuar empleando intervalos de tiempo más largos. Si el ensayo es de mucha duración, las medidas se toman muy espaciadas. Con una cadencia análoga se pueden medir los ascensos de nivel a partir de la parada, para interpretar el ensayo en recuperación.

Para la práctica de ensayos de bombeo se requiere por lo general la utilización de equipos de material móvil, pues es normal que el pozo se equipe una vez terminado el ensayo y a la vista de los resultados de éste. Atendiendo a las características del sondeo se determinarán los materiales a utilizar en el ensayo.

Aparte de las instalaciones propias del sondeo son instrumentos imprescindibles para la realización de ensayos de bombeo:

- a) Hidroniveles. Destinados a la medida del nivel del agua. Aunque hay una amplia gama de modelos, los más utilizados por su comodidad de manejo y precisión, son los de tipo eléctrico. Se presentan en dos modalidades: de un solo conductor, cerrando el circuito con tierra, o de dos conductores con circuito impreso transistorizado. Deben reunir las siguientes condiciones:

- El cable de la sonda deberá estar graduado en toda su longitud en cm, dm y m, bien diferenciada la numeración correspondiente. De esta forma la lectura y posterior registro es cómoda, rápida y precisa.

- La longitud total del cable será mayor que la profundidad máxima que se desea medir.

- El cable debe ser inextensible, pues debido al peso, a grandes profundidades pueden producirse alargamientos, que inducen a error. Ni que decir tiene que el cable debe estar perfectamente aislado.

- b) Limnigrafos. Aparatos que registran de forma automática la evolución de nivel en función del tiempo. Consta de un flotador con contrapeso, unido en el exterior a un sistema de relojería. Consta de un tambor dotado de papel milimetrado, una plumilla, una guidera y un sistema de engranajes para distintas escalas. La velocidad de giro del tambor suele ser de una vuelta por uno, dos, tres, ocho o dieciséis días de duración. La polea que soporta el contrapeso y el flotador transmite su movimiento a la plumilla mediante un sistema de engranajes con el auxilio de una guidera.
- c) Tubos piezométricos. Este tubo adosado a la tubería de impulsión, servirá de guía para proteger el hidronivel correspondiente. Las ventajas de utilización de este sencillo instrumento son grandes, ya que facilita el descenso de la sonda. La columna formada por los tubos deberá alcanzar una profundidad ligeramente inferior a la de la aspiración de la bomba y sólo el extremo inferior estará en contacto con el agua. Su uso resulta imprescindible en pozos de poco diámetro y mucha profundidad.

En el ensayo de bombeo interesa conocer en cada momento el caudal de agua bombeada al exterior. No todos los métodos empleados para esta medición son igualmente fiables. Los sistemas utilizados son los siguientes:

- a) Aforo volumétrico: es bastante exacto, ya que consta de un depósito de capacidad conocida, auxiliado de un cronómetro para controlar el tiempo de llenado. Pero presenta algunos inconvenientes: si el depósito es muy pequeño y el caudal grande, resulta difícil controlar el tiempo de llenado; si el depósito es muy grande, resulta difícil de trasladar en equipos móviles.

- b) Aforo en canal: consiste en hallar el caudal que pasa por un curso de agua, y viene dado por la ecuación:  $Q = A \cdot V$

$Q$  = caudal en  $m^3$  por segundo.

$A$  = área de la sección del canal en  $m^2$ .

$V$  = velocidad media del agua en m/segundo.

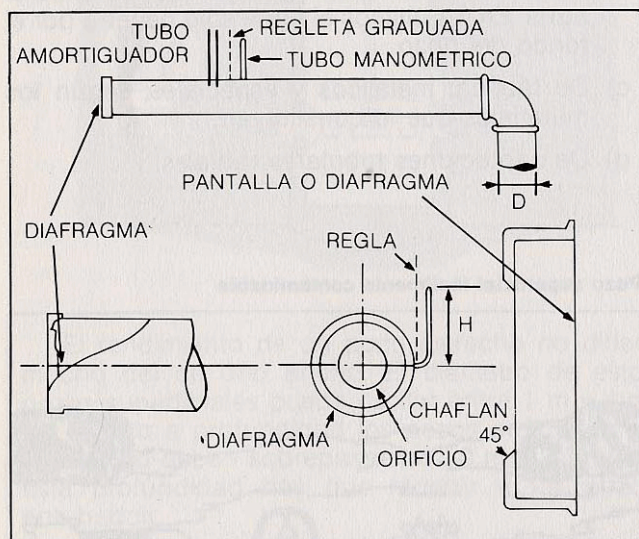
El cálculo de la velocidad media resulta algo complicado, pues depende entre otros factores de la naturaleza del canal, cuya construcción, por otra parte, resulta costosa.

- c) Aforo en vertederos: los vertederos consisten en una barrera que se establece en un canal, midiéndose la altura del nivel del agua, aguas arriba de la retención con relación al borde superior de la retención. La parte superior de la retención puede ser horizontal, con escotadura rectangular o angular con los bordes biselados en los tres casos.
- d) Método de tubería con diafragma: es el más utilizado por su comodidad y porque permite el



control instantáneo de caudales. Consiste en un tubo de 2 m de longitud mínima, completamente horizontal y unido a la salida de impulsión. En su extremo se coloca una pantalla provista de un orificio de dimensiones conocidas llamado diafragma. A una distancia de 0,60 m del diafragma se practica un orificio de 0,5 a 2 cm de donde se inserta un tubo transparente para observar las alturas manométricas del agua por medio de una regla graduada. Este método se basa en el teorema de Bernouilli que permite calcular el caudal en función de la presión.

#### Medición de caudales mediante diafragma



$Q$  = caudal;  $S$  = sección del orificio del diafragma;  $m$  = altura de carga;  $K$  = coeficiente que viene calculado para diferentes combinaciones de tuberías y orificios de diafragma, como relación de diámetro del orificio a diámetro del tubo,  $d/D$ .

Este procedimiento presenta muchas ventajas sobre los anteriormente descritos: el coste resulta despreciable; el grado de exactitud suficiente; el control instantáneo del caudal; fácil manejo y no presenta ningún problema de transporte y montaje.

Antes de comenzar el ensayo de bombeo es necesario tomar todas las precauciones posibles, para evitar que el agua bombeada o al menos parte de ella vuelva al acuífero. Estas medidas de precaución serán tanto más exigentes cuando el acuífero es poco profundo, en cuyo caso suele tener un recubrimiento impermeable de poca potencia, y en muchos casos esta impermeabilización es nula. Aun en el caso de acuíferos profundos, donde la impermeabilización es por lo general muy importante, siempre cabe la posibilidad de que parte del agua bombeada retorne al acuífero por el espacio anular comprendido entre las paredes del pozo y la entubación, o a través de los piezómetros cercanos. Para evitar esta posibilidad el agua se evacua lo más lejos posible del punto de bombeo por medio de zanjas impermeabilizadas o tuberías hasta alcanzar un arroyo o un sumidero apropiado. Siempre cabe la posibilidad de añadir al agua evacuada productos fácilmente distinguibles que pueden confirmar si el agua evacuada retorna al acuífero ensayado.

Para finalizar este capítulo vamos a referirnos a las características que deben reunir el pozo y los piezómetros. El pozo debe estar perfectamente acondicionado antes de emprender cualquier tipo de bombeo. Debe atravesar el acuífero en toda su profundidad. En rocas consolidadas, una simple tubería es suficiente. Esta debe estar ranurada en la zona que corresponde al acuífero. En el caso de que el acuífero esté constituido por gravas o arenas, que es lo más frecuente, es preciso elegir una ranuración apropiada y proteger esta zona con un filtro generalmente de arena cuya granulometría vendrá determinada por el grosor de las arenas que el agua arrastra en suspensión. Si el filtro no es apropiado, las arenas arrastradas pueden atorar las ranuras de la tubería y dañar partes vitales de la bomba. Disponer de la representación de un corte de la perforación con información detallada de las rocas que constituyen el acuífero, permitirá interpretar posibles anomalías que se presenten durante el bombeo.

Algunos datos muy importantes a la hora de valorar un ensayo de bombeo sólo pueden obtenerse a partir de piezómetros o pozos de observación. Si ya existen pozos en la zona, deben elegirse aquéllos, que por su distancia al pozo de bombeo tengan semejante profundidad, tipo de acondicionamiento y características. Si es posible, los piezómetros deben ejecutarse en dos líneas perpendiculares al pozo de bombeo.

El conocimiento de la composición química del agua bombeada constituye un dato importante en los ensayos de bombeo. Este conocimiento adquiere su verdadera importancia a la hora de determinar cuál va a ser su uso. Si el agua va a ser destinada a la agricultura, conviene hacer un análisis cuantitativo de su composición pues no todas las aguas son aptas para el regadío. En general las aguas que contienen un alto grado de salinidad pueden llegar a desertizar la zona cultivable. Si las aguas van destinadas al abastecimiento de poblaciones los análisis químicos y bacteriológicos deben ser más minuciosos y cumplir las normas de potabilidad que marca el Código Alimentario Español. Las muestras se toman a partir del momento en que el agua sale limpia y el número de muestras a analizar dependerá del acuífero estudiado, aunque por lo general son suficientes tres muestras.

#### Actividades

- Coloquio sobre la finalidad de los ensayos de bombeo.
- Determinar qué características del acuífero nos puede descubrir un ensayo de bombeo.
- Comentar qué causas pueden falsear los resultados finales de un ensayo de bombeo.
- Anotar en una ficha todos los pasos a seguir en un ensayo de bombeo.
- Dibujar en la pizarra la forma que adquieren las líneas del nivel dinámico en función de diversos caudales extraídos. Hacer ver que la velocidad del agua en el terreno aumenta con el caudal.



# Obras de captación: pozos y sondeos

## Objetivos

- Valorar la importancia de las aguas subterráneas en la agricultura y en el abastecimiento de pueblos y ciudades.
- Reconocer las diferentes clases de aguas subterráneas.
- Diferenciar pozos de sondeos.

## Desarrollo

El agua que procede de precipitación (lluvia o nieve) y que no se evapora ni corre superficialmente, se infiltra. Este agua infiltrada discurre a través del terreno y puede ocurrir que:

- a) Salga al exterior por puntos denominados manantiales.
- b) Se mantenga en una capa poco profunda, en forma de agua subálvea.
- c) Pase a capas profundas, intercaladas con estratos de distinta permeabilidad, dando lugar a las aguas subterráneas propiamente dichas.
- d) Penetre en capas muy profundas, sometida a presión por capas impermeables superiores, constituyendo las aguas artesianas o semiartesianas (mantos cautivos y confinados).

Según los cálculos realizados la cantidad media de lluvia caída sobre el territorio español, tomando un promedio de 610 mm, viene a representar unos  $30.000 \text{ hm}^3 = 30 \text{ km}^3$ .

De este volumen aproximadamente  $1/3$  ( $106 \text{ km}^3$ ) es la escorrentía total: lluvia útil. Un 80 por 100 de la escorrentía total es superficial y un 20 por 100 subterránea.

Estos datos, claro está, son aproximativos y fluctuantes ya que dependen de las variaciones pluviométricas interanuales, del desigual reparto de las precipitaciones y de las condiciones climáticas (insolación, grado de humedad, etc.) como determinantes de la evaporación.

El agua infiltrada puede ser de tres clases:

- a) Higroscópica o de constitución que llena los poros del terreno.
- b) De imbibición, que constituye la humedad de los terrenos, una vez absorbida por las rocas y no produce circulación.
- c) Subterránea, que por exceder a la saturación, circula por el terreno por gravedad, dependiendo de la permeabilidad del mismo.

Esta última es la que nos interesa para las captaciones.

Un caso particular de las aguas subterráneas, son las denominadas aguas subálveas. Son aguas que discurren por capas poco profundas, originadas por aluviones, hasta alimentar los lechos de los

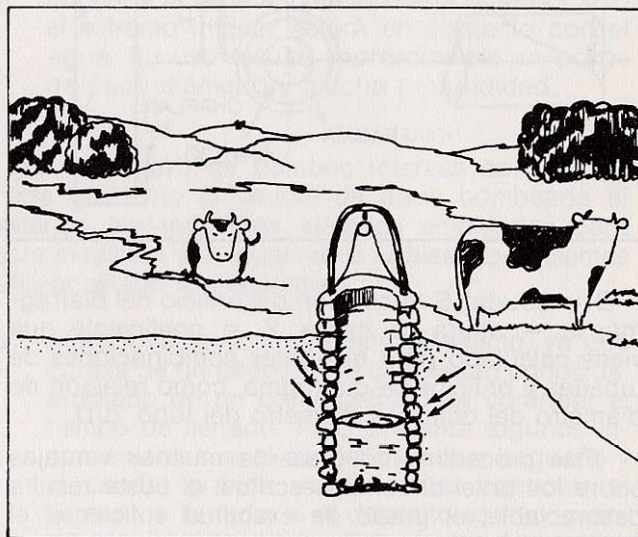
ríos. Esta alimentación puede ser: lateral, si incide con cierta inclinación con respecto al cauce del río; o de lecho, si la alimentación es paralela al cauce. La primera es más apta para captaciones en las márgenes del río, con pozos de poca profundidad, pero con riesgo de contaminación por agentes externos diversos.

## Captación de aguas subterráneas

**Pozos.** En general los pozos empleados en la captación de aguas subterráneas se clasifican en:

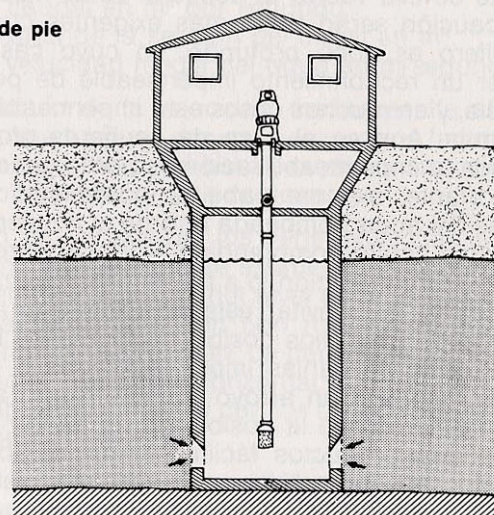
- a) Superficiales y profundos, según la profundidad.
- b) Permeables y de pie, según por donde entre el agua. En los últimos el agua sólo penetra por el fondo del pozo.
- c) De fábrica, metálicos y especiales, según los materiales que lo constituyan.
- d) De captaciones tubulares radiales.

## Pozo superficial fácilmente contaminable



Para las aguas subálveas los más indicados son los superficiales y permeables o los tubulares radiales.

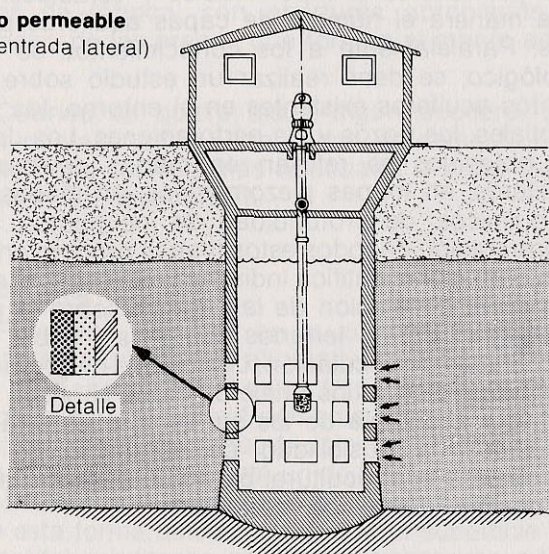
## Pozo de pie





Para las aguas, principalmente subterráneas, los profundos y los de pie. El pozo superficial y de poco diámetro, muy frecuente en pueblos y granjas, es el más peligroso por su facilidad de contaminación.

**Pozo permeable**  
(de entrada lateral)



El rendimiento de un pozo estrecho no difiere mucho del de uno ancho. El diámetro de estos pozos superficiales puede oscilar entre 1 m y 4 m. En cuanto a profundidad los pozos ordinarios de fábrica no deben sobrepasar los 30 m. A partir de esta profundidad hay que recurrir a los pozos entubados.

Lo usual en los pozos para captación de aguas subálveas es profundizar, hasta el terreno impermeable del lecho y allí apoyarse, quedando así impermeabilizado el fondo. Para recubrir las paredes del pozo se usan preferentemente ladrillos, hormigón en bloques, hormigón en masa y hormigón armado. En los de pequeño diámetro se usa el ladrillo a lo alto de toda la capa de agua, para que actúe como superficie filtrante dejando aberturas de unos 2 cm. En diámetros mayores, los ladrillos se reciben con cemento, intercalando piezas perforadas o mechinales.

Si el pozo es de pie, o sea, con entrada del agua por el fondo, se pueden impermeabilizar las paredes.

Para la perforación de un pozo se realiza una excavación ordinaria hasta llegar a la cota del nivel del agua. A partir de aquí la excavación debe ser interna, con el empleo de draga a mano o mecánica y mediante achique con bombas. A medida que se perfora, se van colocando anillos de hormigón, el primero de los cuales descansa sobre una corona metálica.

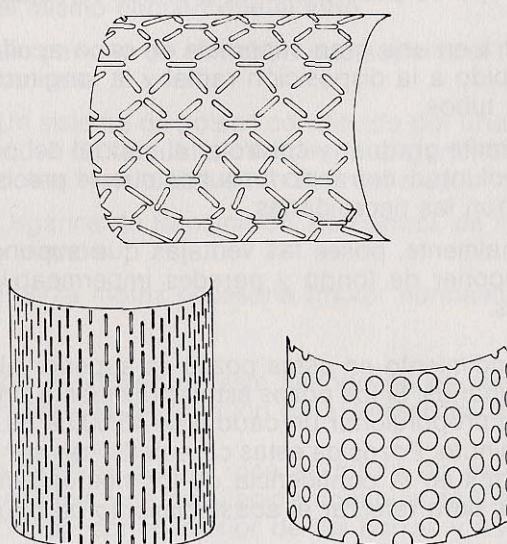
Los anillos de ladrillo pueden irse construyendo a medida que se profundiza. Los de hormigón se hacen en secciones de unos 2 m de altura, esperando para hincarlos a que estén fraguados y colocando unos trozos de madera que dejarán el hueco para los mechinales. La elección de ladrillo y hormigón dependerá de la profundidad del pozo y de la presión que tengan que soportar las paredes. En caso necesario se pueden reforzar con anillos metálicos.

Todo pozo debe poseer una sencilla escalera de acceso, un brocal que sobresalga al menos 1 m del terreno con cierre adecuado y tubos de ventilación, que permitan la entrada y salida del aire, como consecuencia de las variaciones de nivel del agua.

Uno de los inconvenientes de los pozos de fábrica es el paso de arenas finas al interior de los mechinales, pudiendo llegar a atorarlos. Para evitar esto conviene tomar precauciones. Se recurre a veces a construir un doble pozo concéntrico, rellenando el espacio entre ambos con material filtrante o haciendo mechinales grandes dotados de rejillas metálicas.

Un tipo especial de pozo es el denominado pozo metálico. Consta de: un colador o filtro, un tubo de aspiración y otro de revestimiento. En los pozos de pequeño diámetro, el tubo de revestimiento sirve como tubo de aspiración. La parte más importante del pozo es el colador, que ha de colocarse al menos un metro por debajo del nivel mínimo del agua. Suele estar fabricado de chapa perforada o de fundición. Se hinca con un martinete y pueden alcanzarse profundidades de hasta 10 m.

**Modelos de coladores de pozos metálicos**



Como el mayor inconveniente de este tipo de pozos es la obstrucción del colador, se colocan a su alrededor diversos sistemas filtrantes: filtros de grava, filtros periféricos o las denominadas bolsas Pollens, rellenas de grava de distinto grosor y que pueden ser sacadas al exterior para su limpieza.

Un paso importante en la técnica de la construcción de pozos lo constituyen los pozos radiales. El más característico es el tipo Ranney que consta de un pozo central, de unos 4 m de diámetro interior como mínimo, paredes y fondo de hormigón.

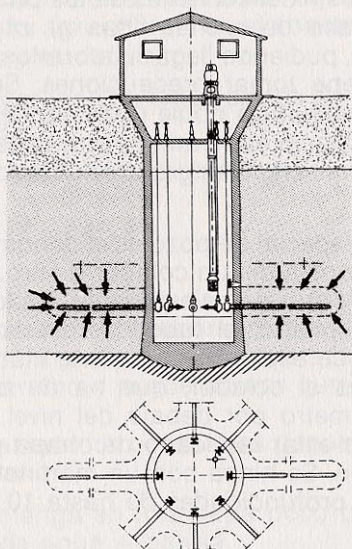
A un metro sobre el fondo, y a través de unos orificios dejados al construir la pared, se introducen horizontalmente unos tubos filtrantes de unos 30 a 80 m de longitud.

Constan estos tubos radiales de una punta que favorece la penetración, con anillos que sirven de guía al tubo y un manguito interior. Se introducen radialmente con la ayuda de un gato hidráulico. La



abertura de comunicación con el pozo está provista de una compuerta, accionable desde la sala de máquinas.

#### Pozo con tubos radiales



Este tipo de pozo presenta grandes ventajas:

- Filtra en una gran superficie de capa acuífera, debido a la disposición radial y la longitud de los tubos.
- Permite graduar y controlar el caudal del pozo a voluntad, cerrando los tubos que se precisen, según las necesidades.
- Finalmente, posee las ventajas que supone el disponer de fondo y paredes impermeabilizadas.

El rendimiento en estos pozos es superior al de los ordinarios. Si los pozos están próximos a un río pueden proporcionar un caudal de 45.000 a 70.000 litros/minuto. Pozos de estas características son los instalados en la confluencia de los ríos Jarama y Lozoya, para reforzar el abastecimiento de agua a Madrid.

**Sondeos.** Un sondeo es una perforación del terreno hasta alcanzar el manto acuífero, cuando éste se encuentra a gran profundidad. Esta perforación se realiza con maquinaria especial, que más adelante describiremos, siendo los procedimientos más empleados el de percusión y el de rotación.

En términos generales el proceso que se sigue para la realización de un sondeo es el siguiente:

- Reconocimiento geológico del terreno.
- Identificación de acuíferos potenciales.
- Sondeos geoelectrónicos (Geofísica).
- Sondeos mecánicos de investigación.
- Sondeo de explotación.
- Entubación y colocación de filtros.
- Desarrollo y limpieza.
- Ensayos de bombeo.

Antes de comenzar el sondeo, el geólogo debe levantar el mapa geológico de la zona. Si éste ya existiese deberá completarlo con el mapa litológico, es decir, añadir ante la escala estratigráfica, una columna traduciendo la superposición de los terrenos permeables e impermeables y establecer de esta manera el número de capas acuíferas posibles. Paralelamente a los conocimientos de tipo geológico, se debe realizar un estudio sobre los puntos acuíferos existentes en el entorno, los manantiales, los pozos y las perforaciones. Los datos así obtenidos se reflejan en mapas de puntos acuíferos, en mapas piezométricos, en mapas hidroquímicos, de profundidad de los puntos... La interpretación de todos estos mapas proporcionará la información científica indispensable sobre el sentido de la circulación de las aguas, sobre la permeabilidad de los terrenos acuíferos y sobre sus velocidades de circulación. Los mapas de profundidad proporcionan los primeros datos sobre la viabilidad y economía de los sondeos, y los análisis realizados, la posibilidad de utilización de las aguas para la agricultura, para la industria o para el consumo doméstico (potable).

La prospección geofísica constituye un instrumento muy útil. Permitirá al hidrogeólogo precisar la profundidad a que se encuentran los distintos terrenos, así como la geometría del posible manto acuífero: por ejemplo, la profundidad de una capa caliza debajo de las margas, o el espesor de los aluviales por encima de las arcillas. Los métodos de sondeo eléctrico, basados en la resistividad específica de las diferentes composiciones rocosas y el de refracción de las ondas sísmicas provocadas por explosiones, al atravesar las diferentes capas, son los más utilizados.

Sin embargo, por muy buenos que sean todos estos estudios previos reseñados, son siempre indispensables los sondeos, ya que es el único medio de comprobar realmente la existencia del agua y su caudal. Los sondeos servirán para comprobar los datos aportados por la geofísica, o para medir las constantes hidráulicas e incluso para estudiar las técnicas de sondeo y luego las de captación más apropiadas en los diferentes terrenos (sondeos de exploración). En fin, ciertos sondeos se utilizan para la explotación del acuífero y otros, de menor diámetro, para controlar la evolución de niveles en el campo de bombeo, son los llamados piezómetros de observación.

Tras el conocimiento de todos estos datos, se tendrá que especificar el mejor método de perforación a emplear (percusión o rotación), la profundidad requerida, la profundidad de toma de muestras, los ensayos de bombeo a ejecutar, el entubamiento, el tipo y emplazamiento de los filtros, los trabajos de desarrollo del acuífero, etc.

Como datos generales podríamos señalar que el diámetro de perforación viene a ser de unos 540 mm, en tanto que los tubos empleados en la entubación tienen unos 300 mm.

El espacio que queda entre la perforación y la entubación se utiliza para la colocación de los filtros apropiados. Unas veces el filtro formado por arena de grano apropiado va unido al tubo ranurado por medio de resina. Pero es más frecuente el



empleo de arena de granulometría adecuada, para retener las arenas finas que puede arrastrar el agua. Los tubos perforados se colocan a la altura de cada acuífero. Las ranuras en las tuberías se pueden realizar con soplete a «pie de obra», aunque es más frecuente la utilización de tubos perforados de fábrica, con aberturas apropiadas al diámetro de las arenas que forman el manto acuífero.

Cuando se quiere aislar algún acuífero, por estar contaminado u otra causa, se cementa éste mediante la técnica más adecuada a cada caso, creando así una barrera.

#### *Método del sondeo*

**Percusión.** Consiste en la acción percusora y cortante de un útil que alternativamente se levanta y se deja caer. Este útil es un trépano muy pesado, de base cortante que fragmenta la roca con sus choques repetidos reduciéndola a partículas muy pequeñas. El trépano está unido a un cable con un gancho que le permite girar libremente sobre su eje y de esta forma actuar sobre toda la superficie del fondo del sondeo.

El equipo de perforación está compuesto por:

- Mástil o torre (Derrick o trípode).
- Torno con uno o varios tambores.
- Excéntrica o biela-manivela que provoca el movimiento vertical alterno.
- Organos de transmisión, de control, de medida y de mando.
- Fuerza motriz (motor normalmente).
- Trépano-barrena-corredora de percusión-gancho-cables.

Los materiales triturados —«Cuttings» o «Detritus»— no se pueden extraer de forma continua, siendo preciso interrumpir la perforación, sacar el trépano y hacer bajar hasta el fondo del sondeo una «cuchara», para extraerlos. Este sistema tiene la ventaja de poder analizar los materiales extraídos que nos proporcionarán información sobre la composición de las distintas rocas que se van perforando.

Casi todos los terrenos pueden ser atravesados a percusión y en especial los terrenos duros: calizas, dolomitas, areniscas, esquistos, sílex, etc. Lógicamente, la velocidad de perforación está en razón inversa con la dureza del terreno.

En terrenos poco consolidados, el sondeo a percusión exige la colocación de tuberías auxiliares de sostenimiento de las paredes (entubación). Se utilizan columnas especiales de trabajo, cortas y gruesas, lisas interior y exteriormente para facilitar su extracción en el caso de no ser necesarias una vez finalizado el sondeo.

#### *Método de rotación*

Se diferencia del de percusión, en que en este método, la herramienta cortante llamada tricono,

debe estar animada de un movimiento de rotación alrededor de su eje; y apoyarse con cierta presión sobre el fondo del sondeo. Estas dos acciones le son transmitidas desde el exterior por unas barras roscadas que llegan hasta la superficie. La presión le es proporcionada por la primera barra a la que va unido directamente el tricono, de sección exagonal, muy pesada, llamada «barra de carga».

Un equipo para perforación de rotación consta de los siguientes elementos:

- Torre o mástil, también llamado Derrick o trípode.
- Torno con uno o varios tambores para manio-brar las barras, las columnas de entubación y otras varias operaciones.
- Mesa giratoria que transmite el movimiento circular a las barras y éstas al trépano.
- Bomba de lodos que aspira el lodo desde una balsa, lo pasa por medio de una columna montante, a un tubo flexible de inyección y una cabeza de inyección en la parte interior del tren de sondeos. Si el sistema empleado para la extracción de detritus es el aire comprimido, será preciso un compresor que envía el aire por el mismo circuito que el lodo.
- Un gancho de elevación que soporta el tren de sondeo.
- Un sistema de poleas constituido por una polea móvil de la cual se suspende el gancho y una polea fija situada en lo alto del mástil.
- Organos de transmisión, de control, de medida y mando.
- Fuerza motriz necesaria (motor normalmente).

Con el empleo de este método no es necesario interrumpir la perforación para extraer los detritus.

A medida que la roca se tritura en pequeños fragmentos, una circulación continua de lodo que desciende por el interior de las barras y asciende por el espacio anular comprendido entre las barras y las paredes de perforación, arrastra en suspensión los detritus al exterior. Estos residuos son recuperados en la balsa, para su posterior análisis, haciéndolos pasar por tamices de distinta sección.

El lodo de perforación es una mezcla de agua con productos diversos (arcillas o productos químicos). El empleo de lodos sirve para:

- Mantener en suspensión los detritus durante la parada de circulación gracias a sus propiedades de gel.
- Mantener inmovilizados los fluidos a presión que puedan surgir a lo largo del sondeo (agua, gas, petróleo).
- Mantener las paredes del sondeo, evitando desprendimientos, debido a su densidad.
- Ayudar al tricono en su trabajo de desagregar la roca y simultáneamente, refrigerarlo.



De una forma casi continua conviene controlar las propiedades físicas del lodo:

- La densidad, ya que de ella depende la presión hidrostática ejercida sobre las paredes y la subida de residuos.
- La viscosidad, ya que de ella depende en buena parte la subida de residuos. Debe tener un valor suficiente, pero no demasiado elevado, ya que en este caso disminuye la velocidad de avance produciendo pérdidas de carga en el circuito. Se deben mantener las propiedades de gel, ya que esto permite la suspensión en el caso de una parada de circulación. La formación de la torta o cake se origina porque el lodo al ponerse en contacto con las paredes tiene tendencia a perder parte de su agua, que se infiltra en las formaciones rocosas. De esta forma las paredes quedan protegidas.
- Tampoco debe olvidarse controlar el contenido de arena, que si es demasiado elevado, puede producir un rápido desgaste de la bomba de lodo.

La arcilla y la bentonita son los coloides minerales que entran en la composición del lodo. Cuando interesa aumentar su densidad se le añade baritina (óxido de bario) u óxidos de hierro. En cambio si se pretende disminuir su densidad se le añade agua o aceite. Para reducir su viscosidad se le añaden taninos de quebracho, mimosa, castaño... y cuando es preciso destruir la torta o cake se le agregan fosfatos o sosa.

El inconveniente principal en la utilización de lodos, es la obstrucción de los acuíferos cuando el sondeo está en contacto con los lodos durante mucho tiempo.

Hoy día la dureza del terreno no es obstáculo gracias al empleo de diamantes bastos en las tres cabezas del tricono, embutidos en tungsteno. Esto ha hecho que el sistema de rotación esté desplazando al método de percusión.

Las velocidades de avance mayores en rotación se obtienen en terrenos blandos o semiduros. Las principales dificultades de una perforación de rotación se presentan:

- Con las gravas en las que todo el tren de sonda está sometido a choques violentos.
- En el caso de que aparezcan terrenos muy duros en superficie cuando la presión del trépano sobre el fondo del sondeo es menor.

Otra de las ventajas del método de rotación es que hace innecesaria la entubación de las paredes del sondeo durante la perforación, con lo que ello supone de ahorro de tiempo y materiales, resultando por tanto más económico.

### Actividades

- Comentar las características de los diferentes tipos de pozos.

- Dibujar el esquema de un pozo superficial y de un pozo Ranney. Hacer ver que al aumentar la superficie de captación, aumentan las posibilidades.
- Visitar un pozo Ranney y describir la instalación completa.
- Reconocer los componentes de los equipos de sondeo por percusión y por rotación.
- Señalar las ventajas del método de rotación sobre el de percusión.

## Cómo es una bomba de agua

### Objetivos

- Reconocer una bomba, como la máquina que sirve para obligar a los fluidos a pasar de un lugar a otro.
- Diferenciar los distintos tipos de bombas.
- Valorar la importancia de la aplicación del motor eléctrico a las modernas bombas.

### Desarrollo

Las bombas modernas corresponden en tamaño y exigencias de energía a todos los tipos: desde la bomba aspirante, que suministra algunos litros de agua por minuto, para las necesidades domésticas en una vivienda unifamiliar, hasta las gigantes bombas helicoidales de baja presión y gran volumen, capaces de arrojar miles de litros por minuto. Las primitivas bombas se utilizaron para extraer agua de los pozos familiares, y muchas de las más modernas tienen como finalidad la extracción de aguas subterráneas.

Las bombas pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios. Según sus posibilidades de aspiración/impulsión pueden ser:

- Aspirantes o de aspiración.
- Impelentes o de impulsión.
- Aspirantes/Impelentes o de Aspiración/Impulsión, también llamadas mixtas.

El fenómeno de la aspiración tiene un límite derivado del valor de la presión atmosférica. Cuando ésta es de 760 mm de mercurio (densidad 13,57), la mayor altura de elevación teórica es de  $(0,760 \times 13,57 =) 10,3$  metros, pues la densidad del agua es 1.

En la práctica la mayor columna de agua aspirable (altura de la bomba sobre el nivel del agua) siempre es menor de 9 metros.

La altura de impulsión no tiene límite físico. De ahí el interés por las bombas sumergibles.



Según la morfología de las bombas, o sistema utilizado para «dar movimiento» al agua, éstas pueden ser:

- Volumétricas.
- Turbo-bombas

En las primeras se produce un alternativo cambio de volumen en el seno de la bomba. El agua resulta «presionada» al producirse el movimiento reductor de volumen.

En las turbo-bombas el sistema utilizado es la conversión de energía cinética en potencial. La bomba en un primer paso imprime en su seno gran velocidad al agua que luego convierte en presión.

Los elementos determinantes de una bomba son:

- El caudal, que suele expresarse en l/s o en m<sup>3</sup>/h.
- La altura manométrica, que se calcula sumándole a la altura geométrica de la aspiración la de impulsión, y se resta la pérdida de carga en la aspiración.

#### *Bombas volumétricas*

Entre las bombas volumétricas se hallan las de émbolo o pistón. Pueden ser aspirantes, impelentes y mixtas. Las aspirantes-impelentes, funcionan aspirando para elevar el agua a una cierta altura e impulsando (presionando) para alcanzar una altura adicional.

Cualquiera de estos tipos puede ser de simple o de doble efecto. La de simple efecto descarga solamente durante el movimiento del émbolo en una dirección, en tanto que la bomba de doble efecto descarga en las dos direcciones: el cilindro se llena por un lado, en tanto que el líquido se va descargando al avanzar el pistón por el otro.

Las bombas volumétricas de émbolo o pistón son máquinas que están prácticamente en desuso al menos en el campo de la hidrología.

Las bombas volumétricas centrífugas ofrecen más ventajas en la elevación de agua en pozos.

Constan de un cuerpo de bomba cilíndrico que lleva dos orificios: uno de entrada o aspiración y otro de salida o impulsión. El rotor está constituido por un cilindro macizo que gira alrededor de un eje excéntrico con relación al del eje de bomba. Este cilindro suele llevar cuatro ranuras en las que entran las paletas, que son constantemente aplicadas sobre el cuerpo de bomba por medio de unos resortes. Al girar el rotor, el agua aspirada por el tubo de aspiración es arrastrada al espacio de volumen variable que queda entre el cilindro y el cuerpo de bomba e impulsada por otro tubo al exterior. El cebado de estas bombas tiene la ventaja de ser automático. El caudal es proporcional a la velocidad de giro e independiente de la altura manométrica. Por tanto, el rendimiento de esta bomba sólo estará condicionado por la potencia del motor.

#### *Turbo-bombas*

Las turbo-bombas tienen una rueda de paletas, dentro de un cuerpo de bomba. La rueda o rotor dotada de álabes en la periferia recibe el movimiento del motor a través de un árbol o eje perpendicular al rotor, comunicando así al agua energía cinética. En el cuerpo de bomba, además de los orificios de aspiración e impulsión, existe un espacio, llamado recuperador, que al disminuir la velocidad de circulación del agua, transforma parte de la energía cinética en potencial. Aunque por lo general las turbo-bombas son de eje horizontal, en sondeos profundos y de poco diámetro, se instalan centrífugas de eje vertical que ocupan menos espacio. Este tipo de máquinas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Bomba vertical sumergida con motor en superficie.
- Grupo moto-bomba sumergible, en el que tanto el motor eléctrico, como el cuerpo de bomba forman un solo bloque trabajando ambos bajo el nivel del agua.

Las primeras son accionadas a través de un eje concéntrico a la tubería de impulsión, que transmite el movimiento del motor en superficie al cuerpo de bomba. El motor puede ser Diesel, de gasolina o eléctrico.

La moto-bomba sumergible recibe la energía eléctrica a través de un cable conductor cuyos extremos van unidos a los terminales del motor. Los aislamientos y protecciones adecuados revisten mucha importancia dadas las condiciones del trabajo del grupo.

Las moto-bombas sumergibles suelen trabajar a un régimen de 2.900 r.p.m., en tanto que las de eje vertical lo hacen a 1.400 r.p.m. Las primeras tienen una mayor aplicación en sondeos muy profundos dada su mayor potencia y teniendo en cuenta que en estas profundidades el arrastre de arenas en suspensión es menos frecuente.

Son varios los factores que interesa conocer a la hora de instalar uno u otro grupo de bombeo, que dependerá en cada caso de las características del pozo y del acuífero. Entre estos factores están:

- La «velocidad específica», es decir, la velocidad a la que tendría que girar una bomba, para que con una altura de un metro diera una potencia de 1 C.V. Se calcula mediante la fórmula:

$$V_e = \frac{4 n \sqrt{Q}}{3 H}$$

$n$  = número de r.p.m.;  $Q$  = caudal en m<sup>3</sup>/s;  
 $H$  = altura manométrica en m.

- La potencia necesaria para elevar un determinado caudal a una altura dada se puede calcular con la aplicación de la fórmula:

$$P = \frac{H / Q}{50}$$

$H$  = altura en metros;  $Q$  = caudal en litros por segundo;  $P$  = en C.V.



A veces conviene, para reforzar una instalación o cuando la altura de elevación aumenta, acoplar varios grupos turbo-bombas. Este acoplamiento puede hacerse en serie o en paralelo. El montaje en serie da lugar a bombas multicelulares. Cada cuerpo lleva en su interior un rodete de bronce y un difusor para conducir el agua del primero (de aspiración) hasta el último (de impulsión). Al pasar el agua de un rodete a otro aumenta la presión.

Cada rodete es de simple entrada, es decir, que el agua entra por un costado y sale por la periferia del mismo. Los difusores tienen por finalidad transformar la velocidad del agua (energía cinética) en un aumento de presión. Finalmente pasa el agua a una cámara de retorno de donde se toma para el rodete siguiente. Cada rodete crea una altura manométrica igual a la total dividida por el número de rodetes instalados.

### Actividades

- Calcular la potencia necesaria para elevar un caudal de 80 l/s a una altura de 90 m. ¿Y de 90 l/s a 80 m?
- Dibujar el esquema de una bomba aspirante, impelente y aspirante-impelente, señalando en cada caso su funcionamiento.

- Observar el funcionamiento de una bomba centrífuga (la de desagüe de una lavadora) por ejemplo.
- Visitar alguna instalación de bombeo y hacer un comentario de la visita.
- Construir en la clase de pretecnología, con materiales sencillos, una moto-bomba centrífuga.
- Hacer ejercicios de conversión de  $\text{m}^3/\text{h}$  en l/s.

## Bibliografía consultada y recomendada

- «Gran Enciclopedia del Mundo». Durvan, S. A. Ediciones, Bilbao.
- JOSÉ PAZ MAROTO y JOSÉ MARIA PAZ CASANÉ, «Abastecimiento y Depuración de Agua Potable». 1969.
- EMILI FIGARI, «Realización de los ensayos de bombeo». Curso de Hidrología.
- F. MORTIER, Conferencia sobre Hidrología. Curso de Hidrología.
- ALFREDO IGLESIAS LÓPEZ y MANUEL VILLANUEVA MARTÍNEZ, «Evaluación de Pozos y Acuíferos mediante ensayos de bombeo». 1981.