



HIDROSFERA

TEMA 6. RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN DEL AGUA

6.1. Las aguas superficiales: embalses y trasvases. 6.2. Desaladoras. 6.3. Energía hidroeléctrica y mareal. 6.4. Las aguas subterráneas. 6.5. Usos y consumos del agua.

Conceptos básicos: cuenca hidrográfica, red de drenaje, divisoria de aguas, escorrentía superficial, acuífero, nivel freático, manantial, uso consuntivo y no consuntivo, porosidad, permeabilidad.

6.1. LAS AGUAS SUPERFICIALES: EMBALSES Y TRASVASES.

El agua presente en nuestro planeta no es agua pura. Puede considerarse muy pura (pero nunca químicamente pura) la que se encuentra en forma de vapor en la atmósfera y gran parte de la que se acumula en los polos en forma de hielo. El resto, es decir, el agua líquida posee siempre en menor o en mayor medida sales disueltas y otras sustancias, captadas a lo largo de su discurrir por la geosfera. Cada río, cada acuífero, cada océano posee agua con una composición determinada. Cuando hablamos de **agua dulce** damos por sentado que dicha agua no posee apenas sales, pero en ningún caso hemos de suponer que se trata de “agua destilada o desmineralizada”. (Cualquier persona con un sentido del gusto medianamente desarrollado diferencia el sabor de distintas aguas embotelladas. Incluso hay personas de Valdepeñas que distinguen el agua de las distintas fuentes del pueblo: eso de que el agua es insípida no es cierto).

En apartados anteriores ya se ha visto que el agua se halla en movimiento, constituyendo un ciclo y localizándose en diferentes compartimentos interrelacionados. Las aguas continentales son las que discurren sobre los continentes y por lo tanto excluyen a las de los océanos y a las de la atmósfera. Podemos considerar que estas aguas continentales se mueven siempre a favor de la gravedad discurriendo hacia niveles más bajos y llegando a los océanos si no hay impedimentos topográficos. En caso contrario, pueden acumularse en ciertos acuíferos subterráneos y en depresiones superficiales que son los lagos.

El agua al precipitar puede tomar varios caminos que básicamente son la **escorrentía** superficial y la **infiltración**. En el primero de los casos, podemos distinguir las **aguas salvajes** o sin canalizar; los **torrentes**, que son aguas canalizadas que discurren sólo temporalmente y en zonas, generalmente, de gran pendiente y corto recorrido; los **ríos**, que se definen como cursos permanentes de agua canalizada. En el caso de que el agua se infiltre, una parte puede permanecer retenida en el suelo y otra, *percolará* (colará) en profundidad hasta formar parte de las **aguas subterráneas**.

La proporción de agua que discurra en superficie y la que se infiltre dependerá de varios factores:

- Tipo de precipitación: una lluvia torrencial (mucho agua en poco tiempo) se infiltra poco.
- Tipo de suelo: si es arcilloso, el agua no se infiltra con facilidad.
- Presencia de vegetación: una vegetación abundante favorece la infiltración.
- Pendiente del terreno: a más pendiente, menor infiltración.

El agua infiltrada y acumulada en un acuífero (agua subterránea) puede volver a la superficie en forma de manantiales y surgencias o de laguna e incluso río.



Los ríos son en nuestras regiones de clima templado los agentes modeladores de relieve más importantes. Son así mismo accidentes geográficos muy llamativos en los paisajes, pero los ríos no lo son todo: hay mucho más.

Cuando llueve en una zona con relieve, una parte del agua se infiltra y desciende a favor de la gravedad formando aguas subterráneas y otra parte corre por la superficie (escorrentía superficial) produciendo efectos erosivos y de transporte de materiales. Estas aguas corren en principio sin cauce fijo como aguas salvajes, posteriormente se canalizan formando torrentes y, por último, confluyen en zonas más bajas alimentando ríos. Estos ríos corren pendiente abajo y acaban por desembocar en ríos mayores. Y así, normalmente una gran cantidad de estos últimos desemboca en un último río que llevará el agua de todos hasta un océano. Todos esos ríos que desembocan en otros, reciben el nombre de **ríos tributarios o afluentes** (Busca en un atlas el camino recorrido por el río Vadillo hasta llegar al mar).

Toda red de torrentes, ríos y **acuíferos** (agua subterránea) que recoge el agua de una región y la canaliza en un río mayor es una **red de drenaje** (ver diapositiva de la zona del puerto de Coberteras). Una red de drenaje se forma espontáneamente en cuanto un terreno no sea horizontal: el agua siempre busca el camino más fácil a favor de la pendiente y acaba drenando hacia la parte más baja. Cuando una red de drenaje alcanza una gran magnitud recibe el nombre de **CUENCA HIDROGRÁFICA**. Ejemplos de cuencas hidrográficas son las del río Guadalquivir, del Guadiana, del Tajo, del Duero o del Segura. Una cuenca hidrográfica puede tener una gran extensión y, en cierta medida, toda su agua está relacionada porque se encuentra en movimiento siguiendo el ciclo hidrológico (una gota de lluvia caída sobre la Pandera puede correr hacia cualquiera de los ríos de la zona baja, ya sea el Ríofrío, el Quebrajano o el Susana: tarde o temprano llegará al río Guadalquivir y de ahí al océano Atlántico). [Las cuencas hidrográficas tienen, no obstante, un sentido administrativo: la gestión del agua en nuestro país se hace desde las diferentes cuencas: la Cuenca del Guadalquivir tiene razón de ser llamada así, pero no es el caso de la Cuenca del Sur, en la que una serie de redes de drenaje diferentes se incluyen en la misma. Igualmente la Cuenca del Guadalete-Barbate, incluye dos ríos con redes de drenaje independientes].

Normalmente las cordilleras, como alineaciones de montañas que son, presentan dos fachadas orientadas en direcciones opuestas, de modo que las aguas que se recogen en una de ellas pertenecerán a una cuenca hidrográfica y las que corren por la otra vertiente pertenecerán a otra (los ríos nacidos en Sierra Morena o vierten al Guadalquivir o lo hacen al Guadiana). Por eso las líneas de cumbres de las cordilleras que separan dos cuencas hidrográficas contiguas reciben el nombre de **divisorias de aguas**.

En una cuenca hidrográfica hay que considerar toda el agua, incluida la subterránea (la Cuenca del Guadalete llama la atención por el escaso caudal de todos sus ríos, incluido el propio Guadalete, a pesar de que gran parte de ellos discurre por la sierra de Grazalema (Cádiz), el lugar de mayor pluviometría de la península Ibérica. La razón es que dicha sierra se compone de calizas muy fisuradas o diaclasadas por las que penetra gran parte del agua de las precipitaciones. Estas aguas subterráneas discurren, al igual que los ríos, hacia el mar, de modo que todas las zonas bajas de la provincia de Cádiz son muy ricas en aguas subterráneas. Es decir, el drenaje de esta región, por las particularidades de sus materiales, se efectúa mayoritariamente bajo tierra, con escasa escorrentía superficial).

Observa en un mapa la cuenca hidrográfica del río Guadalquivir y trata de averiguar toda la extensión de terreno que recoge el agua de lluvia y la drena hacia el gran río (mapa de Andalucía del laboratorio).



LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL: LOS RÍOS.

Un río es un curso de agua permanente. Al canal por el que discurre se denomina **cauce**. Los ríos suelen presentar variaciones de caudal estacionales. Esto nos hace distinguir entre el **cauce ordinario**, que es el que ocupa la mayor parte del tiempo. En épocas de lluvia o cuando tiene lugar una avenida (crecida), las aguas circulan por el **cauce mayor o de inundación**, que puede abarcar toda la extensión del valle. (Creo que todos tenemos claro cuál es uno y cuál es otro si recordamos la riada de hace unos pocos años en Valdepeñas: la gasolinera está en el cauce de inundación). En verano los ríos de Andalucía y de toda la “España seca” (con clima mediterráneo) reducen su caudal ocupando tan sólo el **cauce de estiaje**, que es un canal de menor tamaño que el ordinario y que se sitúa encajado en éste.

Un concepto interesante de recordar es el de **aforar** o medir el caudal (volumen de agua por unidad de tiempo), que suele expresarse en m^3/s . El volumen que pasa por una sección del cauce depende de la velocidad del agua y del área de dicha sección.

El caudal que lleva un río procede de dos tipos de aportes:

Escorrentía directa: formada por la precipitación sobre el cauce y por la arroyada (los torrentes que van a parar al cauce del río y las aguas salvajes que alimentan a los torrentes).

Flujo de base: bajo el cauce y en los alrededores hay agua subterránea gracias a la cual el río se mantiene circulando aun después de cesadas las precipitaciones. Un río siempre lleva asociado un acuífero bajo él (incluso un río en verano puede llevar agua en algunos tramos y estar seco en otros. Ej: el río Vadillo; puede que las Chorreras no lleven agua pero más abajo, en las proximidades del instituto, no suele faltar). Los ríos discurren sobre materiales sedimentarios depositados por ellos mismos en épocas pasadas y que constituyen auténticas “esponjas” por donde circula el agua. Justamente en el cauce ordinario aflora el agua al sobrepasar el *nivel freático* la superficie del terreno (el cauce ordinario del río siempre es la zona más baja del valle en cada punto). [El instituto está construido en el cauce de inundación del río, formado por material suelto como arcillas, gravas y arenas. Todo el subsuelo está empapado de agua, pudiéndose observar un chorro de agua que sale en el muro del río junto a nuestro instituto: procede del drenaje –artificial- del subsuelo del pabellón de deportes]. Por eso, las vegas de los ríos son tan fértiles, ya que aparte de la composición mineral adecuada, allí donde se haga un pozo se encontrará siempre agua a muy poca profundidad.

El régimen o fuente de alimentación de un río puede ser:

- **Glacial:** la escorrentía directa proviene del deshielo del extremo final de los glaciares. Su máximo caudal corresponderá a los meses de julio y agosto.
- **Nival:** la escorrentía directa proviene de la fusión de la nieve en primavera (abril y mayo).
- **Pluvial:** la escorrentía directa proviene de la distribución de lluvias. En el área mediterránea aparecerá un mínimo en verano (caudal de estiaje), y dos máximos, uno en primavera y otro en otoño.
- Todas las combinaciones anteriores posibles: glacio-nival, pluvio-nival, etc.
- **Subterráneo:** muchos ríos nacen en fuentes o **manantiales** o bien en **surgencias**. Por lo tanto, son alimentados por aguas subterráneas, pero no olvidemos que a su vez estas aguas se infiltraron con anterioridad y su procedencia inicial podrá ser pluvial, nival, etc.

Los ríos producen una alteración del paisaje y, de hecho, en las zonas de clima templado son los principales modeladores del relieve, al ser el agua un excelente agente de erosión, transporte y sedimentación. La erosión es un fenómeno que implica transporte; en el



caso de partículas arrastradas por las aguas, éste se lleva a cabo mediante rodadura en el fondo del lecho, por saltación o en suspensión, dependiendo del tamaño de las partículas y del poder energético de la corriente. Una fracción de la carga total que transporta el río viaja en forma de iones disueltos en el agua. Los ríos erosionan fundamentalmente el fondo del cauce (**erosión lineal**), encajándose en el suelo y creando un valle de paredes verticales. Esta pendiente es erosionada por las aguas salvajes procedentes de la lluvia y el deshielo que se mueven a favor de la gravedad, suavizando dicha pendiente y agrandando el valle que toma una típica sección transversal de V (**erosión areolar**). En el caso de rocas muy resistentes como las calizas, el río se encaja profundamente y las paredes mantienen su verticalidad, originándose un *cañón o garganta*. En las Chorreras, el cañón ha sido excavado en sedimentos poco consolidados (arcillas y conglomerados) depositados con anterioridad por el propio río Vadillo. Dado que es un material que se altera con facilidad, el hecho de que las paredes permanezcan casi verticales lleva a pensar que el fenómeno de formación del cañón ha sido muy reciente (no ha habido tiempo suficiente para que sean erosionadas las paredes) y, probablemente, producido por erosión remontante del río (Se estudiarán los ríos en el capítulo de Geosfera dedicado a geodinámica externa).

LAS AGUAS ESTANCADAS: LAGOS Y EMBALSES.

Además de agua que corre, también hay aguas superficiales que se acumulan y permanecen más o menos quietas. **Los lagos** son acumulaciones de agua dulce o salada, que ocupan depresiones de la superficie continental. Debido a los sedimentos aportados por los ríos y la arroyada, el fin de todos ellos es la colmatación (o relleno). Pueden ser alimentados por ríos, por fusión de nieves y hielos, por la lluvia, por torrentes o por aguas subterráneas (=freáticas) que afloran (que asoman en los puntos más bajos de una zona). Los lagos pueden poseer un **emisario o desagüe**, superficial (un río) o subterráneo, de modo que el agua se va renovando. Hay lagos permanentes y otros estacionales. Estos últimos suelen ser salobres (contienen más sales que el agua dulce) o salados, por acumulación de sales minerales a lo largo de mucho tiempo. Las lagunas estacionales de aguas salobres suelen ocupar zonas bajas del interior y, como ya se ha dicho, aparecen cuando el nivel freático (de las aguas subterráneas) tras las épocas de lluvias asciende y asoma en la superficie en esas zonas más bajas. Si estas lagunas no tienen ningún desagüe, se las denomina **lagunas endorreicas**. Hay muchos ejemplos en la provincia, como las lagunas próximas a Alcaudete (lagunas del Chinche y Honda) o las que hay en las inmediaciones de Baeza. A las cuencas que recogen el agua de una región a través de una red de drenaje y la acumulan en un lago o, en cualquier caso, no la vierten al mar se las denomina **cuencas endorreicas**. Cuencas endorreicas de tamaño descomunal son, por ejemplo, las que constituyen el mar Negro, el mar Caspio o el mar de Aral, todos ellos en Eurasia. Por contraposición, aquellas cuencas que drenan el agua al mar, reciben el nombre de **cuencas exorreicas**. (*Reos = fluir*) [El río Nilo nace en el lago Victoria].

En los lagos de grandes dimensiones (los de pequeño tamaño son denominados lagunas) se pueden distinguir distintas zonas en función de la profundidad: así, a los primeros metros, allí donde penetra la luz solar, los denominamos zona fótica y a partir de ésta, se encuentra la zona afótica. Es muy importante esta distinción porque marca el límite de la vida vegetal y por lo tanto de los ecosistemas acuáticos. La temperatura del agua también nos marca, al menos en algunos momentos del año (verano), dos grandes zonas: una superficial de agua calentada por el Sol y que denominamos **epilimnion** y otra más profunda y fría que se llama **hipolimnion**. Entre una y otra capa hay una estrecha franja en la que la temperatura disminuye bruscamente y que se denomina **termoclina**. Según el clima (latitud) en el que se encuentren los lagos, sus gráficas de temperatura/profundidad variarán: en zonas tropicales hay termoclina todo el año; en las altas, y frías latitudes, no hay nunca termoclina. (esquema).



(*Limnos* = lago; Limnología = rama de la biología que estudia los lagos).

Dada la más lenta renovación del agua de muchos lagos y lagunas, pueden darse dos fenómenos extremos que tendrán mucho que ver con el clima: se dice que un lago es **oligotrófico** cuando escaseen los nutrientes y, en consecuencia también los organismos que constituyen el plancton. Al escasear los organismos productores, obviamente se tratará de aguas que no rebosan de vida. Por el contrario, y se explicará en el tema de contaminación de las aguas, las **aguas eutróficas**, con un exceso de ciertos nutrientes llevan al fenómeno de **eutrofización** y puede culminar en una explosión de vida inicialmente, pero a una serie de consecuencias perjudiciales al final. Entre ambos extremos podemos encontrar todas las posibilidades intermedias.

EMBALSES Y TRASVASES

Los embalses son masas de agua acumuladas en determinados tramos de los ríos gracias a construcciones llamadas presas. Los embalses pueden tener varias funciones. Fundamentalmente suponen una reserva de agua que podrá ser empleada para riegos y para consumo humano. Pueden servir para frenar una avenida de agua en una crecida de caudal y puede obtenerse energía eléctrica cuando se desembalsa agua. Los embalses están abocados a la colmatación y en muchos casos, debido a la contaminación de sus aguas, a la eutrofización.

Dentro del epígrafe que se está tratando hay que hacer un comentario acerca de las canalizaciones y embalses de nuestro país. Hay que decir que España es uno de los países del mundo con un mayor aprovechamiento hidráulico: desde principios del siglo XX han sido construidas decenas de grandes embalses y centenares de pequeños. A pesar de los grandes impactos que han generado y de que muchos de ellos por su propio diseño o localización no han sido de utilidad, en un país como el nuestro, con una distribución temporal y espacial muy irregular de los recursos hídricos han permitido paliar el grave problema que supone la falta de agua en muchos lugares y en muchas épocas del año. Además, estos embalses han servido para disminuir los riesgos de las grandes avenidas de agua estacionales y han permitido obtener electricidad.

También y a lo largo del siglo XX se realizaron canales para llevar el agua a zonas relativamente alejadas. Lo que en principio no ha resultado de tanta utilidad han sido los **trasvases de aguas entre cuencas**. El ejemplo más llamativo es el trasvase Tajo-Segura, concluida su construcción en 1.979 y que debería haber suministrado agua de la cuenca del río Tajo a la del río Segura, más deficitaria. El resultado ha sido que sólo uno de cada varios años ha podido trasvasarse agua y nunca en la cantidad máxima asignada, simplemente por la razón de que el río Tajo no lleva el agua suficiente: errores en los cálculos, años de sequía, sobreexplotación de las aguas subterráneas asociadas al río y, por qué no, el cambio climático, han hecho que esa obra compleja, cara y de alto impacto ambiental no haya cumplido con su propósito. Como además se trata de llevar agua de una Comunidad Autónoma a otra, y no sobra, los conflictos están servidos. "Las guerras por el agua" ya empiezan a ser un hecho.

Embalses y trasvases son obras de ingeniería de una gran complejidad técnica y de un coste económico y ambiental muy elevado. Estudiar pros y contras de estos proyectos resulta decisivo para evitar errores que en muchos aspectos nos salen caros a todos.

6.2. DESALADORAS

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



El proceso de eliminación de sales recibe el nombre de **desalinización** (o desalación). En realidad la desalación lleva utilizándose desde hace décadas en lugares donde hay serios problemas de desabastecimiento, como algunas de las islas Canarias (Hay barcos cisterna que llevan agua desde la península). Pero lo novedoso estriba en que las plantas antiguas empleaban el sistema de evaporar agua y condensar el vapor y actualmente se realiza mediante un proceso de filtrado con **membranas semipermeables** que se conoce como **ósmosis inversa** (se hace pasar agua a presión a través de estas membranas que no dejan pasar las sales. Puesto que vamos a ir en contra de gradiente (ósmosis inversa: el agua pasa desde donde la concentración de sal es mayor) se requiere un gran gasto de energía para bombear el agua. No obstante, el rendimiento es mucho mayor que con el sistema de evaporación y por eso se están diseñando y poniendo en funcionamiento muchas de estas plantas desalinizadoras que permiten un precio alto pero razonable del agua.

6.3. ENERGÍA HIDROELÉCTRICA Y MAREAL

La energía potencial de una masa de agua ha sido empleada desde la antigüedad. Un agua que se mueve pendiente abajo como es el caso de cualquier río o un agua embalsada que se la deja salir por un punto determinado, es capaz de desarrollar un trabajo útil para los humanos: molinos de grano, molinos de sal; batanes empleados para curtir pieles o preparar telas e incluso martillos para fraguas se conocen desde hace varios miles de años en muchos países. En España se conocen muchos ejemplos de todas estas máquinas (el molino de Serafín Parra sin ir más lejos). Es interesante mencionar los yacimientos mineros de las Médulas en León, explotados intensamente por los romanos hace 2.000 años: los esclavos hacían profundas galerías en la roca de los montes (conglomerados arcillosos que contenían pepitas de oro y plata). Tenían unas canalizaciones de más de 25 kilómetros de longitud que recogían el agua de altas montañas. Esta agua se conducía hasta una pequeña presa que se hacía con palos y piedras en la boca del túnel. Una vez relleno el pequeño embalse, se echaba abajo la presa y el agua entraba con gran energía en la galería, de modo que la reventaba echando abajo una porción del monte, que rodaba junto con el agua ladera abajo. Por diferencia de densidad, los materiales se seleccionaban por tamaños, quedando separados los metales preciosos. Es un ejemplo del empleo de la energía hidráulica.

Hoy día, la energía hidráulica se emplea para obtener electricidad, mediante una turbina o rueda de paletas conectada a un generador de corriente eléctrica.

Cuando se emplea agua de los ríos, bien desembalsándola o bien canalizándola y creando un desnivel para hacerla bajar a través de una tubería, la denominamos energía hidroeléctrica. Dependiendo de la velocidad del agua y del caudal, los diseños de las turbinas y generadores variarán, pero el mecanismo es semejante. Se considera que es una energía limpia y renovable. Es así hasta cierto punto, ya que un embalse, más las edificaciones necesarias, más las líneas de alta tensión, más las carreteras de acceso, más los valles inundados, más los pueblos que muchas veces han quedado sumergidos... no puede decirse que no cause impactos. Además, es muy frecuente que los desembalses que se hacen para obtener energía no sean suficientes para mantener un **caudal ecológico** de los ríos, por lo que sus ecosistemas se ven gravemente afectados.

España es uno de los países del mundo donde mayor es el aprovechamiento hidroeléctrico dada la gran cantidad de embalses creados con la principal misión de acumular agua para uso urbano y agrícola. También se han construido y se siguen instalando pequeñas centrales en los cursos altos de muchos ríos aprovechando las grandes pendientes de esos tramos (se mueve poca cantidad de agua pero a través de un gran desnivel).

El mar también contiene, en principio, debido a su dinámica (olas, mareas y corrientes) una gran energía que podría ser aprovechable. No obstante, presenta graves



inconvenientes como la corrosividad y los violentos temporales que pueden acabar con las instalaciones. En definitiva, se trata de una energía inagotable que algún día podrá ser aprovechada.

Se han hecho pruebas para sacar partido a la energía de las mareas. En Cádiz hay varias decenas de molinos de marea, en ruinas casi todos: el mar penetra por un canal al subir la marea en dirección a una balsa. En su movimiento hace girar una rueda de paletas que a su vez mueve la muela. Al bajar la marea, el agua sale de la balsa hacia el mar e igualmente mueve las palas. En Francia, la bahía de Rance, fue cerrada por un gran dique de hormigón y comunicada con el mar por unos canales en los que se hallaban unas turbinas acopladas a generadores eléctricos. Al subir y bajar la marea el agua se ve forzada a entrar y salir de la bahía haciendo girar las turbinas.

Se escuchan ideas muy interesantes de aprovechamiento de la energía del mar basadas en las diferencias de temperatura y densidad que hay en el mar por encima y por debajo de la termoclina. También del aprovechamiento de la energía de las olas, pero de la teoría a la práctica hay un gran salto que por problemas técnicos y de costes nadie se atreve dar. Veremos lo que ocurre en los próximos años: estad atentos al tema. El problema de la energía va a propiciar soluciones muy interesantes de aquí en adelante.

El agua que bebemos puede tener diferentes orígenes. Evidentemente, en cada lugar se utiliza el agua que tenga una calidad adecuada para el uso que se le va a dar (agricultura, uso doméstico, etc.) y más asequible (más fácil de obtener y por lo tanto más barata) en el caso de que se disponga de varias fuentes.

6.4. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: CIRCULACIÓN Y TIPOS DE ACUÍFEROS.

El agua de la superficie que se infiltra en el suelo atraviesa la denominada **zona vadosa** o de **aireación** y percola ("cuela" por gravedad) hasta la **zona saturada**, donde todos los poros están totalmente llenos de agua. En la zona vadosa, el agua se encuentra tapizando las paredes de los poros o suspendida en pequeñas cavidades alargadas llamadas capilares, pero sin ocuparlos en su totalidad y constituyendo la "humedad del suelo" (agua retenida o agua edáfica). Parte de este agua retorna a la atmósfera por evaporación, otra parte es absorbida por las raíces de las plantas y el resto se infiltra hacia la zona saturada. La superficie que separa ambas zonas, aproximadamente plana y horizontal la mayor parte de las veces, es la **superficie freática**, que se encuentra más o menos próxima a la superficie del terreno en función de las recargas (debidas a precipitaciones o a influencia de cursos de agua) o las extracciones. La altura a la que llega el agua constituye el **nivel freático**. (Ver esquema).

Un **acuífero** (del latín *aqua*=agua y *feros*=llevar) es un estrato o conjunto de estratos o bien una formación geológica que permite la circulación de agua a través de sus poros o fisuras (grietas). Para que se forme un acuífero es necesaria, pues, la presencia de materiales fisurados o porosos, situados sobre materiales impermeables que posibiliten la acumulación de agua procedente de infiltración a partir de ellos. Es muy importante el estudio de la litología (el tipo de rocas) y de las estructuras geológicas de un terreno (pliegues, fallas, fracturas, etc.) para poder estimar los recursos hidráulicos subterráneos de esa región. Debido a la gran necesidad de agua que demanda nuestra sociedad, los conocimientos sobre aguas subterráneas son del todo necesarios. La rama de la Geología que estudia las aguas subterráneas es la **hidrogeología**. [Cuando el embalse del Quiebrajano se queda seco, los habitantes de Jaén capital se abastecen de aguas subterráneas exclusivamente].

Según el tipo de rocas que forman un acuífero podemos distinguir entre aquellos instalados en **rocas permeables** (ej. areniscas); **rocas fisuradas** (ej. granito); **material**



sedimentario suelto (ej. los que hay en los valles de los ríos); **acuíferos kársticos** (ej. los que hay en las rocas calizas: son rocas fisuradas pero con el tiempo y debido a la disolución de la roca, las fisuras se agrandan y con ello la capacidad de almacenar agua).

Algunos parámetros de un acuífero a tener en cuenta son:

- **Porosidad, m.** Es la relación entre el volumen de huecos (ocupados por aire o agua) y el volumen total de la roca. La porosidad depende de la forma, tamaño y tipo de empaquetamiento de las partículas que constituyen la roca (textura y estructura), así como de la presencia de fracturas o cavidades de disolución. (La roca caliza no tiene poros, pero generalmente está muy fracturada constituyendo acuíferos de gran importancia).

- **Permeabilidad o conductividad hidráulica, k.** Es la facilidad con la que un material deja pasar un fluido a su través. Su valor depende tanto del tamaño de los poros como de la comunicación entre ellos (si los poros están aislados, aunque sean muy numerosos, harán que la roca sea impermeable → la conocida piedra pómez flota en el agua porque está llena de poros y éstos se encuentran aislados. En caso contrario se hundiría). La permeabilidad también depende de la viscosidad y de la densidad del fluido que los atraviesa (el agua no es pura). No obstante y en general, a mayor porosidad, mayor permeabilidad.

Que los materiales sean permeables, no significa que deban estar sueltos: una roca compacta y con sus partículas soldadas, como la arenisca, puede ser una auténtica esponja capaz de contener una gran cantidad de agua entre sus poros.

Los acuíferos, en función de la presión hidrostática del agua contenida en ellos, pueden ser de dos tipos:

- **Libres:** son aquellos en los que la superficie freática está en contacto directo con el aire (aire que ocupa los poros) y, por lo tanto, a presión atmosférica. La altura que alcanza la superficie freática constituye el nivel freático. Si el agua del acuífero se mantiene sin fluir (ver esquema) su superficie freática es aproximadamente horizontal. Son la mayoría.

- **Confinados o cautivos o a presión** son aquellos que se encuentran entre dos capas de materiales impermeables. En ellos, si el agua ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que la contiene, normalmente estará sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica. Por ello, al perforar un acuífero confinado, el nivel de agua asciende hasta estabilizarse en una determinada altura o **nivel piezométrico** (*piezos* = presión), pudiendo salir a la superficie sin necesidad de bombas. Estas perforaciones reciben el nombre de **pozos artesianos**. En los acuíferos cautivos, la zona de recarga no está sobre el propio acuífero sino fuera de él (el material impermeable impide la infiltración y llenado del mismo). Igualmente, para que el agua se halle a presión, la estructura “en bocadillo” deberá estar plegada (ver esquemas).

Se habla de **acuitardos** para referirse a terrenos empapados de agua, pero que por contener poros de muy pequeño tamaño (y/o por otras circunstancias) el agua se mueve con gran dificultad, de modo que no resultan útiles puesto que el agua no se extrae fácilmente.

Los acuíferos de la zona de Valdepeñas siempre están situados sobre arcillas (rocas impermeables) y la mayoría son de roca caliza, lógicamente muy fisurada; también los hay de roca arenisca, que es una roca porosa e incluso se encuentran otros acuíferos en los valles de los ríos, que están formados por sedimentos sueltos como gravas y arenas.

Si un acuífero, debido a la topografía del terreno, asoma a la superficie en un lugar concreto, el agua que empapa las rocas o que circula por las fisuras se derrama (rezuma) formando un **nacimiento o manantial**. En muchos casos, si la cantidad de agua no es muy grande y la salida no la tiene en un punto concreto, suele hacerse una pequeña construcción que acumula el agua y que la deja salir a través de un caño. Se trata de una fuente.



Los acuíferos calizos aumentan su capacidad de acumulación de agua con el tiempo debido a la disolución que sufre la roca. Estos auténticos “tubos” son los **ríos subterráneos** (los ríos subterráneos forman parte de los acuíferos). Pasado el tiempo pueden dejar de llevar agua y se conocen como **galerías**. (Estas formaciones que se originan por disolución de rocas forman parte del llamado **modelado kárstico**). La salida al exterior de un río subterráneo se presenta como una oquedad o cueva y se denomina **surgencia**. (Son muy llamativas la “cueva del Gato” cerca de Ronda en la provincia de Málaga y el nacimiento del río Mundo en Albacete).

[Observa la fuente situada junto a la entrada del carril de la cantera de “los Tres Socios”. Se encuentra justo donde comienzan las arcillas, bajo la roca caliza de la Pandera). La arcilla es por lo tanto la base sobre la que se asienta el acuífero y la topografía, al cortar ambos paquetes de estratos, permite que el agua asome al exterior. Como el agua rezuma por las fracturas de la caliza hay que hacer una construcción para que se acumule y pueda recogerse en un caño].

Explotación de los acuíferos: desde la antigüedad se ha extraído agua subterránea mediante pozos (conductos verticales) y galerías (conductos horizontales). Estas construcciones se cavaban a mano y se rodeaban de piedra, dejando huecos a través de los cuales, el agua salía de entre los poros de las rocas o de las fisuras que constituían el acuífero (las galerías normalmente se hacían para acercar aguas subterráneas hacia lugares de interés, como poblaciones).

Desde hace algunas décadas, las nuevas tecnologías, tanto de excavación como de extracción del agua (bombas sumergibles), han permitido acceder a acuíferos muy profundos. Esto ha posibilitado el desarrollo de zonas que antes eran de secano. Es el caso de la provincia de Almería, desértica en gran medida y cuyos cultivos bajo plástico cubren grandes extensiones. Las llanuras manchegas también han transformado sus cultivos de secano en regadío. Y, en general, en toda España se está haciendo un uso intensivo de las aguas subterráneas.

Al hacer un pozo y extraer agua, se crea una depresión en torno al mismo que tiene forma cónica, es el **cono de depresión**. Dependiendo de la cantidad de agua extraída, el cono, cuyo vértice está situado en la parte baja de la perforación se expande, haciendo disminuir el nivel freático en un área más amplia. (ver dibujo). La existencia de pozos muy próximos puede, por lo tanto, producir grandes variaciones de nivel entre unos y otros por la presencia de los conos de depresión. Otras consecuencias negativas de la explotación de acuíferos son, la salinización, en el caso de acuíferos costeros y la subsidencia o hundimiento del terreno, muy preocupante si sucede en núcleos de población (La ciudad de Venecia se está inundando por este último motivo).

6.5. USOS Y CONSUMOS DEL AGUA.

La cantidad total de agua en el planeta es inmensa, lo cual nos induce a pensar en ella como una sustancia inagotable. Pero sabemos que su distribución en el espacio y en el tiempo no es homogénea y lo más importante: los humanos necesitamos como recurso básico agua dulce. No nos sirve el agua de mar ni el agua que está helada. Por ello, la cantidad de agua disponible ya no es tanta. Hemos de tener en cuenta que somos muchos los habitantes de este planeta (y aumentamos de modo exponencial); que a mayor nivel de vida mayor gasto de agua; y que como resultado de muchas actividades que provocan impactos sobre la hidrosfera ésta resulta contaminada. Así que aunque el agua es un recurso en teoría renovable, en muchos lugares ha llegado a ser no renovable por sobrepasarse la tasa de renovación: es, de hecho, un recurso potencialmente renovable.



A continuación se detallarán los usos más corrientes que se hacen del agua.

6.5.1. Uso y consumo: urbano, agrícola, industrial y recreativo.

Podemos hacer una primera distinción en cuanto al uso del agua en función de que una vez que ha sido utilizada pueda serlo de nuevo, hablándose de **uso no consuntivo** o bien de que no vuelva ya a ser utilizada tras su uso, denominándose **uso consuntivo**. En el primer caso tenemos usos energéticos, recreativos o ecológicos. En cuanto a los usos consuntivos hay que referirse a las actividades domésticas, industriales o agrícolas (que se consuma no quiere decir que el agua se pierda: continuará con su ciclo natural).

Otro criterio empleado para clasificar el agua es la importancia que damos a su uso. Así, distinguimos entre un **uso primario** del agua, si es indispensable y **uso secundario** cuando esa utilización se considera prescindible. Por uso secundario podemos entender el energético o el recreativo. Por usos primarios consideramos el doméstico (agua para los hogares), agrícola e industrial. Pensemos que el agua, como recurso que es, debe ser gestionada y en tiempos de escasez debe quedar muy claro a qué uso se da prioridad: siendo ambos usos de tipo primario, antes se imponen restricciones para el uso agrícola que para el uso doméstico o de las personas. De hecho, en los años de escasez de lluvias, la Agencia Andaluza del Agua, organismo encargado de la gestión del agua de la cuenca del Guadalquivir en Andalucía, no permite la siembra de la totalidad de las hectáreas que se dedicaban tiempo atrás al arroz en Sevilla o al algodón en Jaén y Córdoba.

Los **usos urbanos o domésticos** son aquellos que se hacen para cubrir las necesidades de agua en los hogares, comercios o servicios públicos (fuentes, riego de jardines o baldeo de las calles). El agua empleada, procedente de distintas fuentes (aguas embalsadas, ríos, acuíferos) es sometida a tratamientos de *potabilización* que aseguran su salubridad. En las casas se emplea para beber, para la limpieza y para la higiene. El consumo de agua urbana está en relación con el nivel de vida de la sociedad en cuestión: a mayor nivel de vida mayor consumo de agua [busca un recibo de agua y mira por curiosidad cuantos metros cúbicos se consumen en tu casa en dos meses. Divídelo por el número de miembros de tu familia y tendrás una estimación de lo que gastas: te sorprenderás].

Se estima que el consumo mundial de agua para uso doméstico supone el **10%** del consumo total. Se trata sólo de una media y hay que pensar en las enormes diferencias entre países desarrollados y subdesarrollados.

[En una casa "normal" casi el 70% del agua se consume en el cuarto de baño: cisterna y ducha. Casi el 30% se gasta en la limpieza de los suelos, de la vajilla y de la ropa y sólo un 2% se utiliza para beber y elaborar la comida].

Usos industriales. El campo de utilización es variadísimo, sirviendo como materia prima en procesos de la industria química o alimentaria (fábricas de papel, de azúcar, conservas, etc.); como agente refrigerante (por ejemplo en las centrales térmicas); como depósito de vertidos (balsas de alpechín, balsas de residuos mineros como la de Aznalcóllar, balsas de escorias de una central térmica o de una acería); como transporte de materiales (las balsas de residuos de cualquier tipo se llenan porque dichos residuos han sido transportados por el agua); como medio de limpieza (las "lavadoras" de las almazaras emplean agua para arrastrar la suciedad de las aceitunas). Aproximadamente en usos industriales se consume un **25%** del total del agua dulce.

Usos agrícolas. El consumo de agua para usos agrícolas supone el **65%** restante. Como puede observarse, la producción agrícola emplea el mayor porcentaje de agua dulce. Hay grandes diferencias según países, en función del clima, del tipo de cultivo y de las técnicas empleadas para el riego. No obstante, a nivel general, muchas de las técnicas de riego son muy poco eficientes, desaprovechándose una gran parte del agua por evaporación



y por pérdida en los sistemas de canalización. **En Andalucía el consumo agrícola se lleva más del 80% de toda el agua.** (Podemos imaginar dónde habrá que tomar medidas realmente serias de ahorro de agua).

Usos recreativos. Éste es un uso no consuntivo, aunque como resultado de las actividades humanas puede suponer un deterioro en la calidad de las aguas. Como uso recreativo podemos considerar la utilización de embalses, ríos, lagos o el mar para deportes como la vela o el piragüismo. También en este apartado se incluye el agua de las piscinas. (España es un país que vive del turismo de costa: ¿es o no un recurso importante el agua, en este caso con un uso recreativo?)

Navegación. No sólo existe navegación en los mares. También en grandes ríos y lagos la navegación fluvial es importante en muchos países del mundo. De hecho, en algunos de ellos, desde Brasil a Rusia, los ríos constituyen una red de transporte que no ha podido ser sustituida por carreteras. En España, los ríos Guadalquivir, Tajo o Duero son navegables desde el mar hasta una cierta distancia. Estos y otros ríos españoles (Ebro, Júcar, Segura) fueron empleados para transporte de mercancías por barco o para llevar madera desde los bosques de montaña hasta las zonas bajas donde se asentaban las serrerías (este uso concluyó no hace más de medio siglo debido a la construcción de embalses y a la mejora del transporte terrestre).

Uso ecológico o medioambiental. El uso “ecológico” es un concepto relativamente nuevo y curioso que aparece a partir del momento en que grandes obras de ingeniería modifican totalmente la dinámica natural de los ríos. Estas obras son los embalses y los trasvases: cuando se construye una presa y se embalsa agua, la retención de la misma hace disminuir, cuando no desaparecer, el flujo de agua río abajo de la presa. Esta disminución de caudal, a veces total, provoca daños en los ecosistemas del río y por eso, la gestión de las aguas por los organismos competentes (Confederaciones Hidrográficas) debe tener en cuenta a la hora de asignar agua a agricultores o para usos urbanos e industriales que hay que dejar lo que se conoce como **caudal ecológico** que es el caudal mínimo necesario para que los ecosistemas fluviales y de ribera no desaparezcan. Desgraciadamente, por una serie de intereses, no siempre se cumple (Así, por ejemplo, el río Quebrajano, aguas abajo de la presa no lleva nada de agua salvo en años especialmente lluviosos. Lógicamente no se puede hablar de ecosistemas fluviales alterados en todo ese recorrido porque sencillamente no los hay). En épocas de sequía la gestión del agua puede llevar a eliminar el caudal ecológico si peligra el suministro a la población.

Cuando se pide sin cesar el trasvase del Ebro porque “se está tirando el agua al mar” para aprovechar ese “agua que se desperdicia”, o no se sabe lo que se está pidiendo o se tiene muy poca conciencia sobre los daños irreparables que se van a producir en los ecosistemas fluviales, en los acuíferos del río (muchas personas dependen de ellos), en la dinámica de la desembocadura (cientos de familias viven en el delta del cultivo del arroz: menos agua dulce = más agua salada; menos aportes de sedimentos = pérdida del propio delta). En las costas cercanas menos arena que les reponga la que las corrientes de deriva se lleva...

6.5.2. Medidas de ahorro.

En nuestro país, camino de un cambio climático o cuanto menos entrando en un largo periodo de sequía, junto con unas necesidades de agua que van en aumento (más regadíos, más industrias, más piscinas, más urbanizaciones, más, muchos más campos de golf... nos encontramos con un déficit que se incrementa año tras año. Las perspectivas no parecen halagüeñas y por eso, desde distintos ámbitos (asociaciones ecologistas, ayuntamientos, comunidades autónomas e incluso gobierno central) se está empezando a dar la voz de alarma.



La gestión del agua es y será más que nunca fundamental para conseguir un reparto equitativo de un bien escaso y se están modificando leyes para mejorarla. Uno de los planteamientos lógicos de entre los que se están poniendo en marcha es el del ahorro del agua.

El ahorro de agua puede hacerse en cada uno de los usos: industrial, urbano y agrícola.

En industria el ahorro vendrá por la tecnología: se trabaja en conseguir métodos que empleen menos agua (por ejemplo, lavadoras de aceituna que funcionen utilizando menos agua). En el ámbito urbano-doméstico las medidas son en muchos casos de sentido común: en la mayor parte de las ciudades de España los jardines con césped son un lujo (no los riega la lluvia como sucede en Francia). El cambio de especies vegetales a otras mejor adaptadas a nuestro clima es una medida. No regar a pleno Sol, ya que la mayor parte del agua se evapora nada más caer. No baldear las calles con mangueras. También ahora construyen electrodomésticos menos gastadores (lavadoras de ropa y lavavajillas). Pero el mayor ahorro, aunque no lo apreciemos los ciudadanos es el mantenimiento y reforma de la red subterránea de agua potable: en muchos municipios, las pérdidas de agua por canalizaciones defectuosas es de más del 50%.

En nuestras casas ya sabemos cómo podemos ahorrar: no utilizar la lavadora ni el lavavajillas si no están llenos; “no dormimos en la ducha”; no darnos baños en la bañera; no dejar correr el grifo sin más. Se pueden poner reductores de caudal en los grifos; hay quien rebaja el nivel de agua en las cisternas para que en cada descarga se tire menos. Ser cuidadosos a la hora de abrir la manguera para baldear el patio o la puerta de la calle o al lavar el coche...

Hay una medida que no falla cuando se aplica: subir el precio del agua. Tengamos en cuenta que el agua que llega a nuestras casas es mucho más cara de lo que nos cuesta directamente en el recibo. Una parte importante de la factura es asumida por el Ayuntamiento, lo que quiere decir que sale igualmente de nuestros bolsillos en forma de impuestos. El día en que paguemos directamente el recibo del agua en su totalidad seremos mucho más cuidadosos.

Y qué decir del uso agrícola: con un gasto de más del 80% de la totalidad del agua, realmente, lo que hagamos los ciudadanos en nuestras casas casi resulta simbólico. Aquí pues, es donde las medidas de ahorro deberán ser puestas en marcha de manera más eficaz. Para ello es fundamental mejorar los sistemas de regadío, prohibiendo el riego por inundación y sustituyéndolo por sistemas de goteo. También es importante modificar las canalizaciones (las acequias antiguas pierden mucha agua por filtración y evaporación). Por último, es fundamental racionalizar los cultivos: en muchos lugares hay que adecuar el tipo de cultivo a las condiciones ambientales: en la Mancha hace 30 años se cultivaba trigo, vid y melones. No es lógico que ahora se siembre maíz, que requiere mucha más agua. Se hace explotando las aguas subterráneas y se está acabando con los acuíferos (sólo en el acuífero 23 de la Mancha hay 60.000 pozos ilegales).

6.5.3. Situación en España (especial atención a Andalucía).

La situación en España acaba de ser comentada a grandes rasgos: un gran aprovechamiento de los recursos hídricos pero a pesar de ello, sigue habiendo un déficit motivado por las razones anteriormente expuestas.

De Andalucía también se ha hablado con anterioridad, de sus cuencas hidrográficas hay que decir que casi todas también presentan un déficit hídrico, lo que significa que se demanda más agua de la que pueden ofrecer nuestros ríos y acuíferos. El PHN contempla la



construcción de algunos embalses más y del recrecimiento de algunas presas (Para poder subir el nivel de las aguas y con ello, la capacidad del embalse). Además plantea la construcción de decenas de desaladoras a lo largo de la costa mediterránea que solucionarán los problemas de abastecimiento a las poblaciones costeras.

No obstante conviene recordar que el consumo mayoritario de agua en Andalucía es el agrícola, que se lleva nada menos que casi el **80%** del total. La estimación que se hace para los próximos años es de aumento del consumo en este sector (se están pasando a regadío miles de hectáreas de olivar, un cultivo que siempre ha sido de secano, los invernaderos de Almería siguen extendiéndose sin cesar y están produciendo la salinización de sus terrenos –se estudia en impactos sobre la hidrosfera- y los cultivadores de algodón y de arroz del valle del Guadalquivir desean sembrar todos sus campos cada año). También aumentan las demandas de uso urbano, sobretudo en las costas, dada la alta tasa de construcción de nuevas viviendas destinadas a las vacaciones de verano, época en la que el consumo de agua se dispara y que en nuestro clima mediterráneo no llueve nada.

Por lo tanto y resumiendo, **tenemos un problema** que solucionar y por mucho embalse y mucha desaladora que se construyan, **el agua seguirá siendo un recurso escaso en muchos lugares y la demanda no parece tener límite.**

No olvidemos que en las políticas del agua no sólo hay que tener en cuenta de cuánta agua disponemos sino de qué calidad es, de cómo debe distribuirse y en qué condiciones debe ser devuelta al medio. Estas son nuevas formas de ver el agua en las que entra el concepto de *medio ambiente* y el de *desarrollo sostenible*. Por eso, ahora resulta tan importante como los embalses fomentar una **nueva cultura del agua**, que se está planteando para toda España: se trata de mentalizar a los ciudadanos de que el agua es un bien escaso que no se puede derrochar (aunque nos podamos permitir el lujo de pagar los recibos), que no podemos acabar con los ríos ya que son algo más que un canal lleno de agua, que son valiosos ecosistemas y que el agua que se va al mar no se “tira”: los ríos y el mar mantienen una complicada dinámica que es la que entre otras cosas regenera la arena de las playas. La mayoría de los sistemas de riego que todavía se emplean son muy ineficaces, desaprovechándose por evaporación o infiltración una alta proporción del agua empleada y, por lo tanto, la mejora de los regadíos es imprescindible. Por último debemos pensar que nuestro país tiene los recursos hídricos que tiene y no se puede creer que por arte de magia (más embalses y desaladoras, pozos más profundos) podremos seguir aumentando la demanda de agua eternamente.

[Gracias a la planificación hidrológica hemos conseguido en nuestro país que el agua llegue a todos los hogares. Esto supone grandes y costosas infraestructuras (miles de kilómetros de canalizaciones; depósitos; tratamientos de potabilización; estaciones de bombeo; controles sanitarios de calidad de las aguas). Todo ello ha mejorado sensiblemente la calidad de vida de los ciudadanos. Hay que añadir la existencia de redes de alcantarillado que recogen las aguas residuales y las conducen fuera de las localidades y, en muchos casos, son tratadas para mejorar su calidad. Pensemos que esta planificación es la que distingue a un país desarrollado de otro que no lo está. La “calidad de vida” no es simplemente que tengamos un grifo en la casa del que sale agua, sino que los controles del agua potable y los de las aguas residuales han hecho desaparecer enfermedades que actualmente en muchos países provocan con frecuencia graves mortandades (Todos los años, varios millones de personas, la mayor parte niños, mueren por enfermedades relacionadas con el agua contaminada, por no disponer de tratamientos de potabilización y no contar con sistemas de alcantarillado)].