

## 2.1 DISTRIBUCION DE LAS FORMACIONES PERMEABLES

En España los acuíferos tienen una amplia aunque desigual distribución espacial, que es el resultado de la interacción entre factores climáticos y geológicos (figura 2).

Las rocas de la España silíceo, que coincide a grandes rasgos con los afloramientos más antiguos –granitos, pizarras y esquistos, sobre todo–, dan lugar a formaciones de muy baja permeabilidad. Afloran fundamentalmente en Galicia y demás territorios fronterizos con Portugal y se prolongan hacia el interior de la península por los Montes de León, el Sistema Central y un amplio corredor que se extiende desde los Montes de Toledo hasta Sierra Morena. No obstante su reducida permeabilidad general (que a veces se incrementa por la presencia de discontinuidades genéticas y estructurales), los acuíferos formados en estos macizos, aunque heterogéneos y con recursos limitados, pueden resolver problemas de abastecimiento urbano en pequeñas localidades, pequeños regadíos localizados, núcleos ganaderos, pequeñas industrias y otros usos de poco consumo.

La España calcárea se corresponde con los dominios de las grandes formaciones carbonatadas y pertenece en su mayor parte a terrenos de edad mesozoica y, en menor grado, a depósitos terciarios. Tales formaciones ocupan algo más de la quinta parte del solar hispano. Son rocas que admiten con facilidad el agua de la lluvia y de las escorrentías superficiales, como consecuencia de fenómenos de disolución de los carbonatos, que pueden dar lugar a importantes redes kársticas internas y a copiosos manantiales. En la Cordillera Cantábrica ocupan

extensiones de gran entidad, con fuentes caudalosas que contribuyen notablemente a los aportes de los ríos Sella, Cares, Deva, Miera, Asón y del propio Ebro en su cabecera. También están presentes en el Pirineo, en particular en las cuencas altas del Cinca, el Segre y el Ter.

Entre el Sistema Ibérico y las sierras de Cazorla y Segura se desarrolla un extenso y continuo dominio de formaciones calizas y dolomíticas en el que las aguas subterráneas determinan, en gran medida, la hidrología de las diversas cuencas. En torno al vértice de Albarracín importantes surgencias kársticas alimentan los tramos superiores de los ríos Tajo, Jiloca, Mijares, Guadalaviar, Cabriel y Júcar; este último recoge también aportes subterráneos en La Mancha albaceteña y en las sierras del sur de Valencia.

El Guadiana aflora a sus lagunas en el altiplano de Montiel y desaparece luego por infiltración de las aguas en el gran acuífero de La Mancha de Ciudad Real, que tiene su descarga natural por los Ojos y las Tablas de Daimiel.

Las sierras de Cazorla y de Segura se avanan por fuentes que mantienen los caudales del Segura, del Mundo y del Guadalquivir. Desde Cádiz hasta Alicante, las Cordilleras Béticas, que afloran después en Ibiza y en Mallorca, presentan muchas discontinuidades geológicas, por lo que sólo algunos macizos carbonatados alcanzan extensiones de centenares de km<sup>2</sup>. Los situados en núcleos de altas precipitaciones reciben por ello mayor infiltración, que ceden a ríos de escaso desarrollo pero con caudales muy apreciados, como el Serpis, el Algar, el Genil, el Adra, el Guadalhorce, el Guadalfeo, el Guadiaro o el Guadalete. Es precisamente la continuidad de la aportación de origen subterráneo de éstos y otros muchos ríos la circunstancia que posibilitó el establecimiento

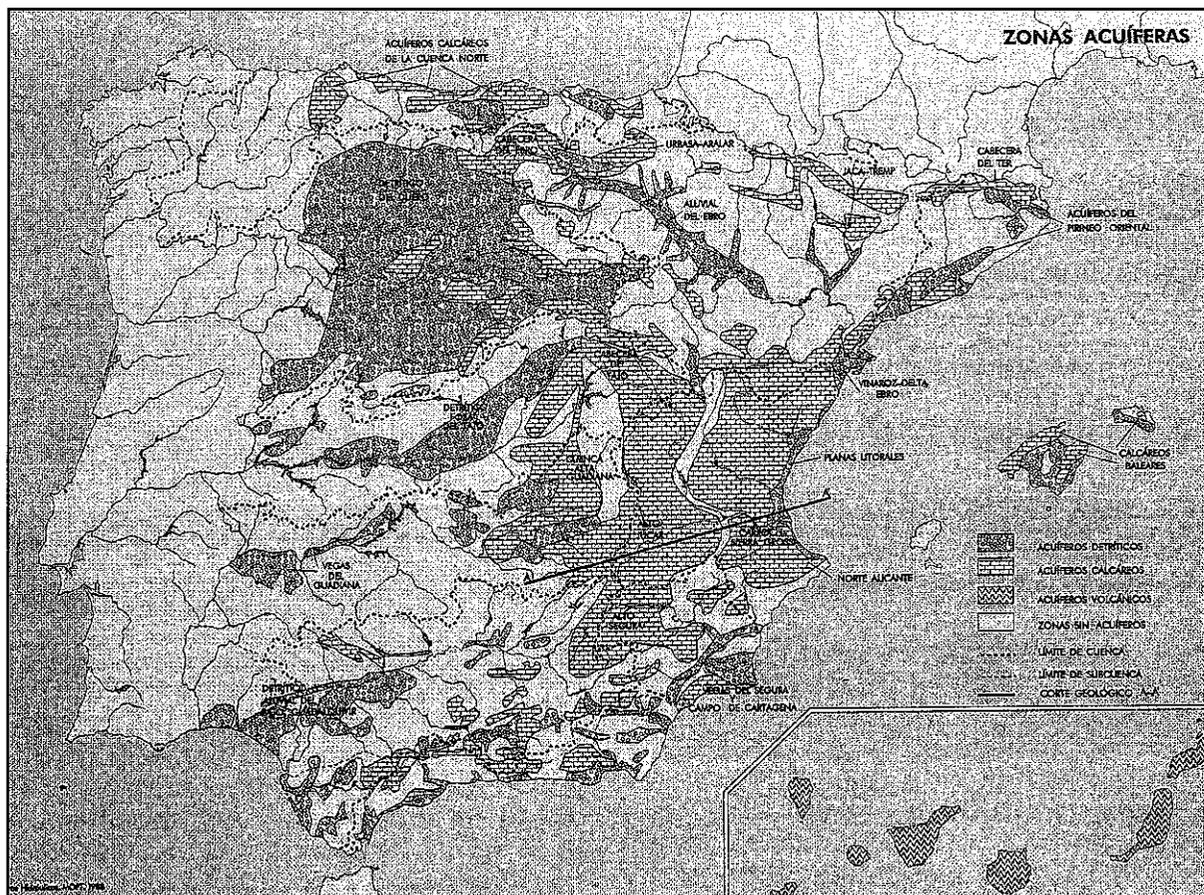


Fig. 2. Distribución de las formaciones permeables en España.

to y la riqueza de los regadíos musulmanes en Levante y Andalucía.

La España arcillosa engloba las grandes áreas de sedimentación terciaria, sobre las que se forman los amplios valles de los grandes ríos peninsulares. Corresponden mayoritariamente a extensos afloramientos de materiales predominantemente arcillosos, más o menos consolidados, de muy baja permeabilidad. Pero también contienen grandes acumulaciones de materiales detríticos,

arenas y gravas fundamentalmente, con valores altos de permeabilidad y porosidad, que, por ello, resultan especialmente adecuadas para la retención y la circulación del agua subterránea. Alcanzan extensiones considerables en la depresión del Duero, en el Tajo medio y en el bajo Guadalquivir. Su estructura es bastante homogénea, por lo cual no descargan en puntos singulares localizados, sino que sus caudales se incorporan imperceptiblemente a los ríos que los recorren; por los mismos

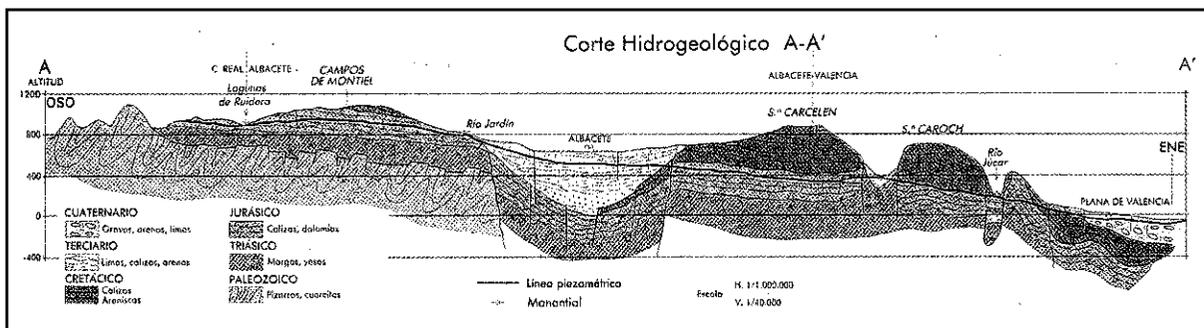


Fig. 3. Corte hidrogeológico Valdepeñas-Cullera.

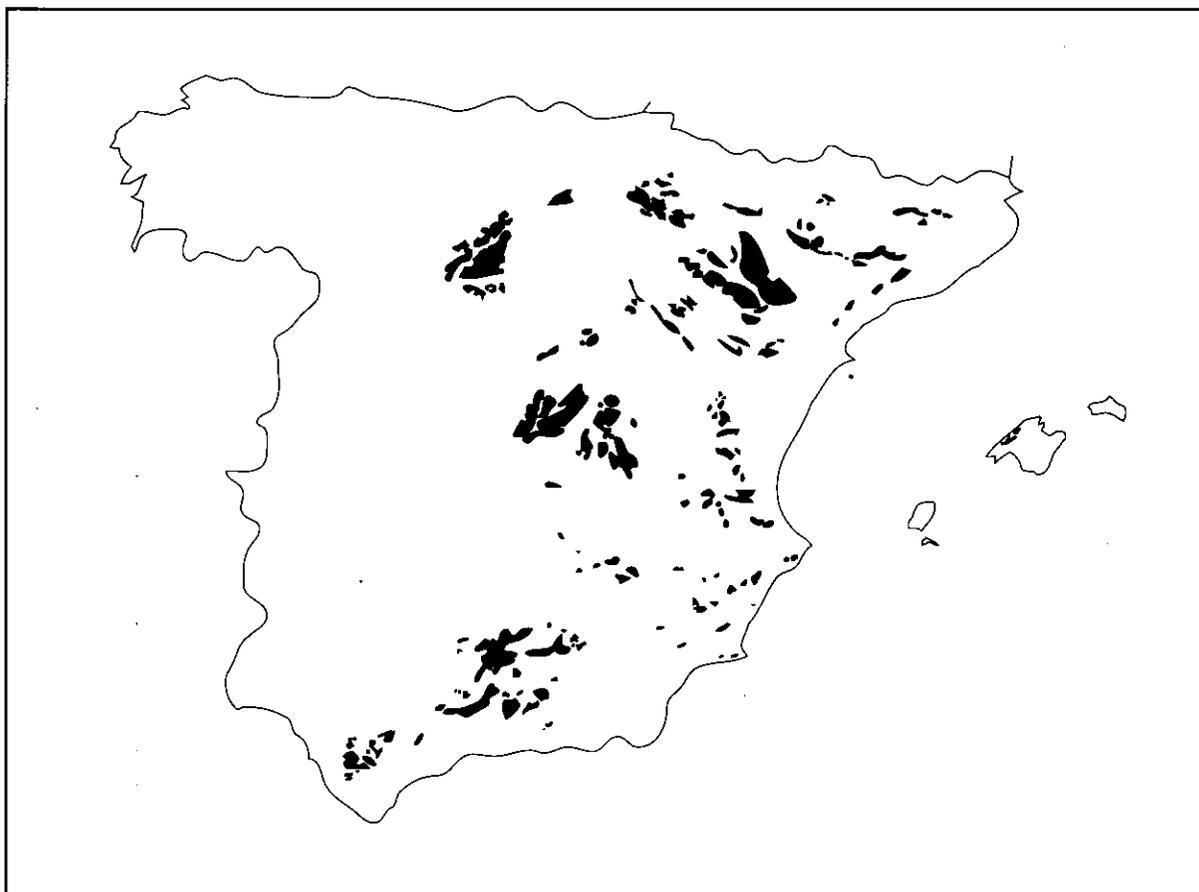


Fig. 4. Zonas yesíferas, causa de la salinidad de muchas aguas.

motivos hay ocasiones en que son estos ríos los alimentadores de tales acuíferos.

Tienen asimismo interés los depósitos granulares de origen más reciente, desarrollados a lo largo de los principales ejes fluviales o en las planas costeras. En función de su estructura granular y bajo grado de cementación presentan en general condiciones excelentes para la circulación del flujo subterráneo. Los niveles más modernos suelen estar directamente conectados con la circulación superficial, lo que posibilita su utilización intensiva mediante pozos.

Son acuíferos aluviales importantes los del Ebro y zonas inferiores de sus afluentes pirenaicos, las vegas del Guadiana en Badajoz, así como las del Guadalquivir, el Segura y el Llobregat. Las planas litorales de Castellón, Valencia y Gandía-Denia, así como el llano de Palma, tienen grandes espesores de este tipo de depósitos, lo que las convierte en notables almacenes del recurso hídrico.

Los acuíferos volcánicos están muy poco representados en España, si se exceptúa el archi-

piélago canario, mayoritariamente formado por rocas de este origen. La estructura hidrogeológica de estas islas es muy compleja y consiste en numerosos pequeños acuíferos, desconectados entre sí por discontinuidades. Excepto en Lanzarote y Fuerteventura, por lo exiguo de las lluvias, y en El Hierro, por su reducida extensión, los grandes barrancos canarios recogían en otros tiempos las aguas que avenaban los nacientes por debajo de la zona de cumbres; la explotación intensiva de las aguas subterráneas ha originado que esto sólo pueda observarse ahora en los barrancos del Cedro y del Infierno, en La Gomera, y en la Caldera de Taburiente, en La Palma.

## 2.2 SISTEMATIZACION DE LOS ACUIFEROS DEL TERRITORIO ESPAÑOL

Una descripción ordenada y sistemática de los recursos de agua subterránea requiere la

previa identificación de los distintos elementos que los integran. Del mismo modo que en hidrología superficial se establece una diferenciación basada en cuencas hidrográficas, en hidrología subterránea es preciso definir los límites concretos de cada acuífero, una labor en la que son varios los criterios de acotación utilizables. Esta pluralidad de criterios da lugar a distintas configuraciones territoriales según el punto de vista prevalente en el deslinde.

Por otra parte las aguas subterráneas son en España desde 1985 un bien de dominio público, ordenado y regulado desde la Administración encargada de su tutela, si bien, de acuerdo con las disposiciones transitorias de la Ley de Aguas, algunos aprovechamientos siguen manteniendo régimen privado. Toda la actuación administrativa, que se materializa en concesiones, autorizaciones, constitución de Comunidades de usuarios, directrices sobre vertidos, etc., necesita la referencia territorial del acuífero o acuíferos a que en cada caso se refiere. Es por ello que el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (R.D. 927/1988) introdujo la definición de unidad hidrogeológica (artículo

2.2.) como *uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua*. De esta manera se indica que el objetivo de operatividad administrativa, apoyado en criterios hidrogeológicos, debe presidir los principios de separación de las distintas unidades.

Para superar las discusiones técnicas a que se presta una definición tan ambigua, el mismo artículo del Reglamento establece que *las unidades hidrogeológicas serán definidas en los Planes Hidrológicos de cuenca*, es decir, mediante una resolución administrativa propuesta por el Organismo de cuenca y aprobada, en última instancia, por el Gobierno.

En la actualidad, y con referencia a todo el territorio español, excepto Canarias, la sistematización de los acuíferos ha quedado enunciada en el «*Estudio de delimitación de Unidades Hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características*», realizado en 1988 por la Dirección General de Obras Hidráulicas y el Instituto Tecnológico Geomineo de España. Este estudio incluye las fichas de caracterización de todas las unidades hidrogeológicas definidas, donde se recogen los aspectos

CUADRO Nº 1  
DISTRIBUCION DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

| AMBITOS                      | TOTALES    | ESPECIFICAS | COMPARTIDAS |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|
| NORTE I                      | 0          | 0           | 0           |
| NORTE II                     | 16         | 16          | 0           |
| NORTE III                    | 8          | 7           | 1           |
| DUERO                        | 21         | 20          | 1           |
| TAJO                         | 13         | 12          | 1           |
| GUADIANA I                   | 11         | 10          | 1           |
| GUADIANA II                  | 3          | 2           | 1           |
| GUADALQUIVIR                 | 54         | 45          | 9           |
| GUADALETE-BARBATE            | 13         | 11          | 2           |
| SUR                          | 49         | 42          | 7           |
| SEGURA                       | 37         | 30          | 7           |
| JUCAR                        | 52         | 46          | 6           |
| EBRO                         | 49         | 45          | 4           |
| CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA | 30         | 29          | 1           |
| BALEARES                     | 35         | 35          | 0           |
| CANARIAS                     | 72         | 72          | 0           |
| <b>TOTALES</b>               | <b>422</b> | <b>422</b>  | <b>41</b>   |

DGOH-ITGE, 1988

\* Corresponde a 19 unidades compartidas por dos ámbitos y una unidad por tres.

CUADRO Nº 2  
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

| AMBITOS                      | NUMERO UNIDADES<br>HIDROGEOLOGICAS<br>(*) | SUPERFICIE<br>AFLORAMIENTOS<br>PERMEABLES<br>(km <sup>2</sup> ) | RECARGA ANUAL<br>(hm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| NORTE I                      | 0                                         | —                                                               | —                                   |
| NORTE II                     | 16                                        | 5.518                                                           | 2.644                               |
| NORTE III                    | 8                                         | 1.491                                                           | 331                                 |
| DUERO                        | 21                                        | 53.623                                                          | 1.875                               |
| TAJO                         | 12                                        | 15.961                                                          | 1.645                               |
| GUADIANA I                   | 11                                        | 11.360                                                          | 656                                 |
| GUADIANA II                  | 2                                         | 600                                                             | 98                                  |
| GUADALQUIVIR                 | 48                                        | 13.811                                                          | 2.088                               |
| GUADALETE-BARBATE            | 12                                        | 1.486                                                           | 230                                 |
| SUR                          | 46                                        | 3.138                                                           | 1.160                               |
| SEGURA                       | 32                                        | 8.603                                                           | 548                                 |
| JUCAR                        | 52                                        | 24.782                                                          | 3.505                               |
| EBRO                         | 45                                        | 16.770                                                          | 2.923                               |
| CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA | 30                                        | 6.463                                                           | 1.036                               |
| BALEARES                     | 35                                        | 3.618                                                           | 585                                 |
| CANARIAS                     | 72                                        | 7.521                                                           | 700                                 |
| <b>TOTALES</b>               | <b>442</b>                                | <b>174.745</b>                                                  | <b>20.024</b>                       |

DGOH-ITGE, 1988

(\*) Las unidades compartidas se han asignado, a estos efectos, a un único ámbito.

tos principales de cada una de ellas. La delimitación resultante de este estudio, adaptada a los ámbitos territoriales de la planificación hidrológica, y la realizada por la Administración canaria para su territorio, son las que se resumen en el Cuadro nº 1 (Mapa 1).

De este modo en la actualidad están definidas 442 unidades hidrogeológicas; de ellas 422 se desarrollan íntegramente dentro de los límites de los respectivos ámbitos de planificación, 19 son compartidas por dos ámbitos y una es compartida por tres (Ebro, Tajo y Júcar).

El resumen de sus características se recoge en el cuadro nº 2. Las 20 unidades hidrogeológicas compartidas se han asignado a un único ámbito, según se indica en el cuadro nº 3. Resulta de este modo una superficie total de interés hidrogeológico de 174.745 km<sup>2</sup>, lo que representa aproximadamente una tercera parte del territorio nacional. El total de la recarga anual en el conjunto de las unidades hidrogeológicas se puede cifrar en unos 20.000 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un porcentaje del orden del 18% de la

escorrentía total nacional. Este volumen de recursos subterráneos resulta ligeramente superior al contabilizar la contribución de los acuíferos de pequeña entidad e interés local no incluidos dentro de las unidades hidrogeológicas.

En los cuadros que se incluyen en el Apéndice 1 se referencian todas las unidades hidrogeológicas de la España peninsular y las islas Baleares con sus características principales. En el territorio no cubierto por estas unidades las formaciones geológicas son de baja o muy baja permeabilidad, por lo que las posibilidades de explotación de agua subterránea en estas zonas son reducidas y, por tanto, de interés muy local.

La profundidad a la que se sitúa el agua en los distintos acuíferos es muy variable por la diversidad de condiciones geológicas y orográficas. En los valles aluviales el agua se encuentra, en general, a pocos metros de profundidad; es de algunas decenas en el resto de los acuíferos detríticos y en las zonas bajas de los carbonatados; y llega a más de cien metros —a

CUADRO Nº 3  
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS COMPARTIDAS

| Nº | UNIDAD HIDROGEOLOGICA              | COMPARTIDAS POR LOS AMBITOS         | ASIGNADA AL AMBITO           |
|----|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1  | ARALAR-ULZAMA                      | NORTE III Y EBRO                    | NORTE III                    |
| 2  | ARAVIANA-MONCAYO                   | DUERO Y EBRO                        | DUERO                        |
| 3  | ALBARRANCIN-CELLA-MOLINA DE ARAGON | TAJO, EBRO Y JUCAR                  | JUCAR                        |
| 4  | CAMPO DE MONTIEL                   | GUADIANA I Y GUADALQUIVIR           | GUADIANA I                   |
| 5  | ALMONTE-MARISMAS                   | GUADIANA II Y GUADALQUIVIR          | GUADALQUIVIR                 |
| 6  | SIERRA DE LIBAR                    | GUADALETE-BARBATE Y SUR             | SUR                          |
| 7  | SETENIL-RONDA                      | GUADALETE-BARBATE Y SUR             | GUADALETE-BARBAT             |
| 8  | SIERRA DE CAÑETE                   | GUADALQUIVIR Y SUR                  | SUR                          |
| 9  | SIERRA GORDA-ZAFARRAYA             | GUADALQUIVIR Y SUR                  | GUADALQUIVIR                 |
| 10 | TEJEDA-ALMIJARA-LAS GUAJARAS       | GUADALQUIVIR Y SUR                  | GUADALQUIVIR                 |
| 11 | SIERRA DE PADUL                    | GUADALQUIVIR Y SUR                  | SUR                          |
| 12 | SIERRA DE LAS ESTANCIAS            | GUADALQUIVIR Y SUR                  | SUR                          |
| 13 | ORCE-MARIA                         | GUADALQUIVIR Y SEGURA               | GUADALQUIVIR                 |
| 14 | SIERRA ZARZA                       | GUADALQUIVIR Y SEGURA               | GUADALQUIVIR                 |
| 15 | SIERRA DE LA OLIVA                 | SEGURA Y JUCAR                      | JUCAR                        |
| 16 | JUMILLA-VILLENA                    | SEGURA Y JUCAR                      | JUCAR                        |
| 17 | SERRAL-SALINAS                     | SEGURA Y JUCAR                      | JUCAR                        |
| 18 | QUIBAS                             | SEGURA Y JUCAR                      | JUCAR                        |
| 19 | SIERRA DE CREVILLENTE              | SEGURA Y JUCAR                      | JUCAR                        |
| 20 | CARDO-PERELLO                      | EBRO Y CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA | CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA |

DGOH, 1993 a.

veces varios centenares- en los grandes macizos carbonatados de alta permeabilidad y espesor.

## 2.3 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La calidad natural del agua subterránea es la resultante de la interacción de diversos factores, entre ellos la naturaleza geológica del acuífero y del suelo y el funcionamiento hidrogeológico de la formación; el primero determina los tipos de componentes químicos presentes y el segundo condiciona la capacidad de transporte del flujo hídrico. Este último factor depende, a su vez, de otros y, de modo especial, del régimen pluviométrico, que es el que condiciona el proceso de infiltración y, por tanto, las características del flujo subterráneo y el tiempo de residencia del agua en el acuífero.

La composición del agua viene determinada por la cantidad y naturaleza de las sustancias

que contiene; la calidad natural puede ser modificada por factores externos -acción humana básicamente- y es entonces cuando cabe hablar de *contaminación*. En cualquier caso el concepto de calidad no es fácil de definir, ya que, en última instancia, la calidad del agua no depende sólo de su composición (sea natural o derive de factores externos), sino también del uso para el que se destina.

Así, las exigencias máximas para la calidad del agua son las que se plantean cuando se utiliza en abastecimiento urbano; en España son las especificadas en la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (R.D. 1138/1990, de 14 de septiembre). Para la agricultura las limitaciones se refieren principalmente a la salinidad y al contenido en sodio, si bien no existe una normativa específica, al influir otros factores, como son el tipo de cultivo y las características del suelo. En la industria, la diversificación de usos del agua no permite establecer normas aplicables a todo tipo de procesos; no obstante, para usos gene-

rales, suelen tenerse en cuenta la agresividad y el poder incrustante del agua como características más destacadas. Además, como criterio general, las aguas utilizadas en la obtención de productos alimenticios deben ser potables.

La diversidad de situaciones que se presentan en España, a veces de tipo puntual, hace que sea también muy variable la calidad de los recursos subterráneos. En términos generales, las características físicas de las aguas subterráneas (color, turbiedad, temperatura, sólidos en suspensión, etc.), excepto en ciertas ocasiones, no plantean problemas, debido al filtrado natural del terreno y a la regularidad térmica del subsuelo; no ocurre lo mismo con los constituyentes químicos, que pueden encontrarse en cantidades excesivas para un determinado uso.

La complejidad de la geología de España condiciona la gran variabilidad de situaciones detectadas en las características de sus aguas subterráneas, que a su vez son modificadas por las acciones antrópicas y pueden llegar a producir la contaminación del recurso.

Las aguas de mejor calidad y en general aptas para todos los usos son las de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, prove-



*Pozo artesiano en Villena (Alicante) en 1909 (según «Aguas Subterráneas y Pozos Artesianos», Ignacio Ruiz, 1923).*



*Galería del Bajo Abroñigal: antigua captación de aguas para abastecimiento de Madrid.*

nientes de las formaciones carbonatadas. Estas aguas suelen presentar mineralizaciones ligeras o medias, con residuos secos no superiores a 1.000 mg/l y con contenidos en macroconstituyentes generalmente dentro de las limitaciones de potabilidad establecidas, excepto en casos puntuales. Este tipo de aguas predominan en la cuenca Norte y en unidades de cabecera y del área septentrional del Duero, así como en los bordes de la Sierra de Guadarrama, en el Tajo. Igualmente se encuentran presentes en la cuenca alta del Guadiana, algunas unidades del Guadalquivir y del Sur y en las unidades interiores del Júcar, Ebro y Cuencas Internas de Cataluña.

En las unidades detríticas la variación es la característica principal, con facies desde bicarbonatadas cálcicas y magnésicas -como es el caso de las grandes cuencas detríticas del Duero y el Tajo, de las planas litorales levantinas y de los aluviales del Guadiana y el Guadalquivir- a sulfatadas o cloruradas cálcicas y sódicas, bajo la influencia de materiales evaporíticos (terciario detrítico del Duero, Llanura Manchega del Guadiana, Sierras de Orce, Jabalcón, Ronda y Lújar, vegas de los ríos Segura y Guadalentín

y Campo de Cartagena). En general la dureza y mineralización de las aguas de las formaciones detríticas es superior a la de los macizos carbonatados y especialmente elevadas en las aguas procedentes o influidas por depósitos salinos. Debido al desarrollo de las actividades humanas en estas zonas son también más frecuentes los problemas de contaminación. En este tipo de unidades las aguas suelen ser de buena calidad y aptas para todos los usos; no obstante, debido a la propia naturaleza de los acuíferos, aparecen ocasionalmente contenidos en especies mayoritarias (calcio, magnesio y sodio, funda-

mentalmente) superiores a los máximos admitidos para su uso en abastecimiento.

Los problemas de calidad más habituales en las aguas subterráneas son los derivados de la presencia de concentraciones elevadas de compuestos nitrogenados, de cloruros, y sodio. El primer caso es propio de las áreas de desarrollo agrícola intensivo y el segundo de los acuíferos costeros con intrusión marina producida por la sobreexplotación de los recursos.

En el Apéndice 2 se presenta un panorama general de la calidad actual de las aguas subterráneas en las distintas cuencas hidrográficas.