

LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN ESPAÑA

Por EMILIO CUSTODIO

Doctor Ingeniero Industrial.
Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental.

Debido a la complejidad geológica española, los acuíferos suelen ser poco extensos, pero reúnen características de gran interés para atender a las demandas hídricas, en especial a lo largo del área mediterránea, donde abundan las formaciones calcáreas y las detriticas litorales. En las islas Canarias los acuíferos están en formaciones volcánicas. Una parte importante del país carece de acuíferos importantes a nivel general, pero pueden encontrarse acuíferos de gran interés local, con frecuencia olvidados. La existencia de áreas notablemente áridas, de materiales litorales no lavados o muy permeables y de extensas formaciones con yesos y otras sales solubles, es la explicación de cierta frecuencia de aguas mineralizadas, a veces con una notable estratificación, a lo que se añade la incorporación de excedentes de riego y ciertos vertidos de la minería potásica. En Cataluña y otras áreas con una elevada demanda de agua, se presentan situaciones de clara sobreexplotación, intrusión marina y situaciones de grave contaminación; en las islas Canarias se produce un continuado descenso de niveles con graves repercusiones económicas y sociales. En varias zonas existe una buena experiencia de gestión de las aguas subterráneas e integrada de recursos superficiales y subterráneos, empleando en ocasiones técnicas avanzadas, como la recarga artificial y modelos de simulación. El grado de conocimiento del territorio nacional es muy aceptable en la mitad del país y están en marcha trabajos para abarcar en breve gran parte del territorio. La actual Ley de Aguas establece, junto a concepciones anticuadas, una artificiosa división entre aguas de dominio público y de dominio privado, que a grandes rasgos condiciona el tratamiento separado y por administraciones distintas de las aguas superficiales y subterráneas. Todo ello, junto a una excesiva competencia entre cuerpos, dificulta una racional gestión del agua, en especial de las aguas subterráneas, y resta efectividad a las necesarias medidas de control y protección. Estas condiciones, ciertos defectos iniciales en la explotación de aguas subterráneas y un excesivo centralismo, ha conducido a una marcada preferencia por las aguas superficiales, con abandono de las subterráneas, si bien esta situación está cambiando. En el aspecto docente, si bien en la Universidad y a nivel de graduación, las enseñanzas sobre aguas subterráneas son aún insuficientes, no sucede lo mismo a nivel de postgraduados, con varios cursos internacionales de notable categoría y que están contribuyendo mucho a una mentalización más equilibrada sobre el ciclo del agua.

1. INTRODUCCION

Si bien España, con una superficie de alrededor de medio millón de kilómetros cuadrados no es un país extenso, resulta compleja en numerosos aspectos, no sólo por su cambiante clima, variada y complicada geología y accidentada topografía, sino también por sus habitantes, yuxtaposición de diferentes culturas con variadas herencias sociales, lingüísticas y forales, que varios siglos de administración centralizadora no han podido borrar, y que influyen en el uso y aprovechamiento del agua. La simple consideración del conjunto, prescindiendo de la regionalidad, puede llevar a situaciones paradójicas difíciles de explicar.

En las figuras 1 y 2 puede apreciarse la distribución de las precipitaciones medias anuales y del grado de aridez. Es ilustrativo comparar esas figuras con las 3 y 4, que representan, respectivamente, la densidad de

población y las zonas principales de regadío, junto con las cuencas hidrográficas. Es fácil apreciar algunos de los principales condicionantes físicos de la política hídrica española: a) la elevada concentración humana y agrícola en áreas periféricas, con una predominancia mediterránea; b) la concentración industrial en áreas localizadas en pequeñas cuencas fluviales, sin que coincidan razonablemente con las zonas de mayor precipitación atmosférica y de mayor escorrentía total. Ello es origen de unos crónicos déficits hídricos, contra los que se ha luchado desde lejanos tiempos y que se intentan combatir con medidas a nivel nacional.

2. CONDICIONANTES HISTORICOS

Las obras hidráulicas en España se iniciaron en la época prerromana. Durante la época romana se cons-

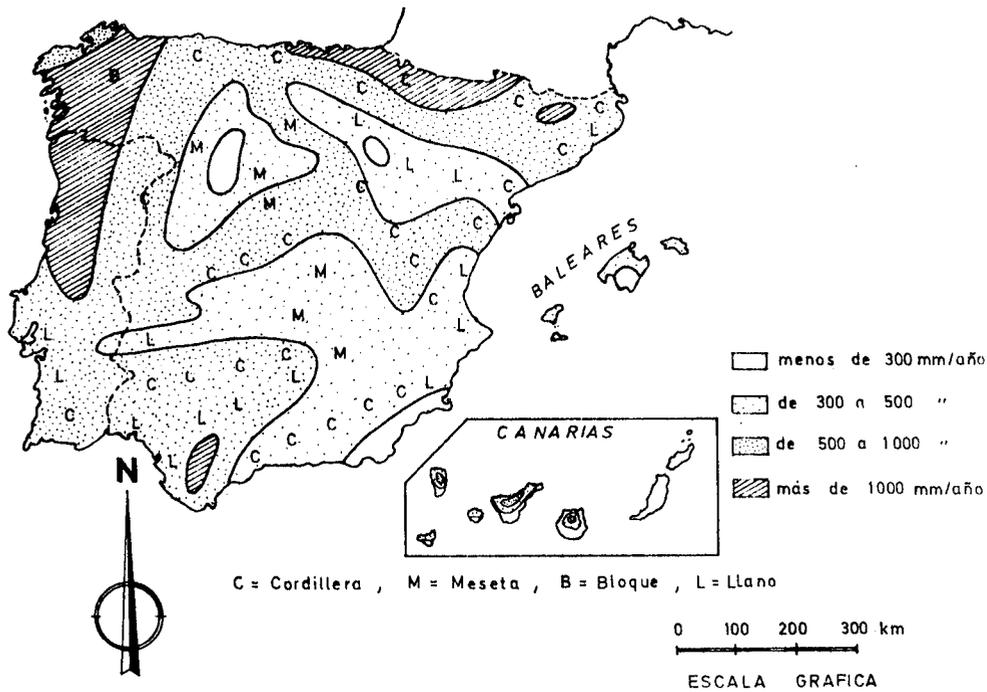


Fig. 1.—Precipitaciones medias anuales, P.

truyeron atrevidas construcciones de aguas a las poblaciones, desde a veces lejanos manantiales. Las obras de regadío en el Levante y Sur españoles, iniciadas a principios del Medioevo por ingenieros al servicio de las dinastías árabes que se establecieron en España, fueron la base de notables tradiciones agrícolas que aún perduran.

Las obras de captación de aguas subterráneas, aunque menos conocidas, también gozan de notable antigüedad. En el área barcelonesa, en el NE, existen numerosas, largas y, a veces, muy antiguas minas de agua para captar el agua al pie de las cordilleras (1), arropadas en ocasiones de curiosas leyendas. En Madrid también existe una notable red de estas captaciones (2) —similares a

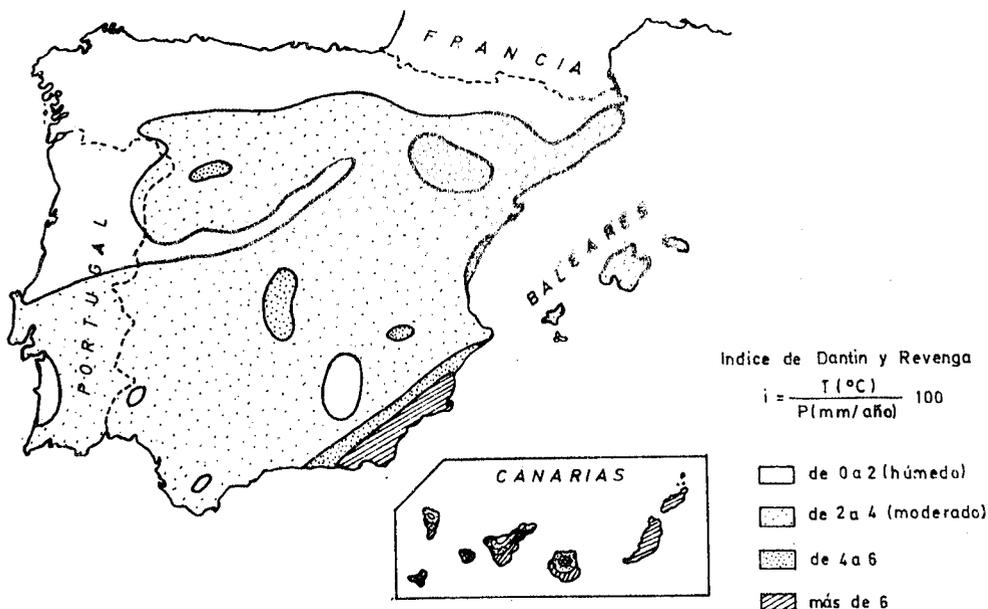


Fig. 2.—Grado de aridez.

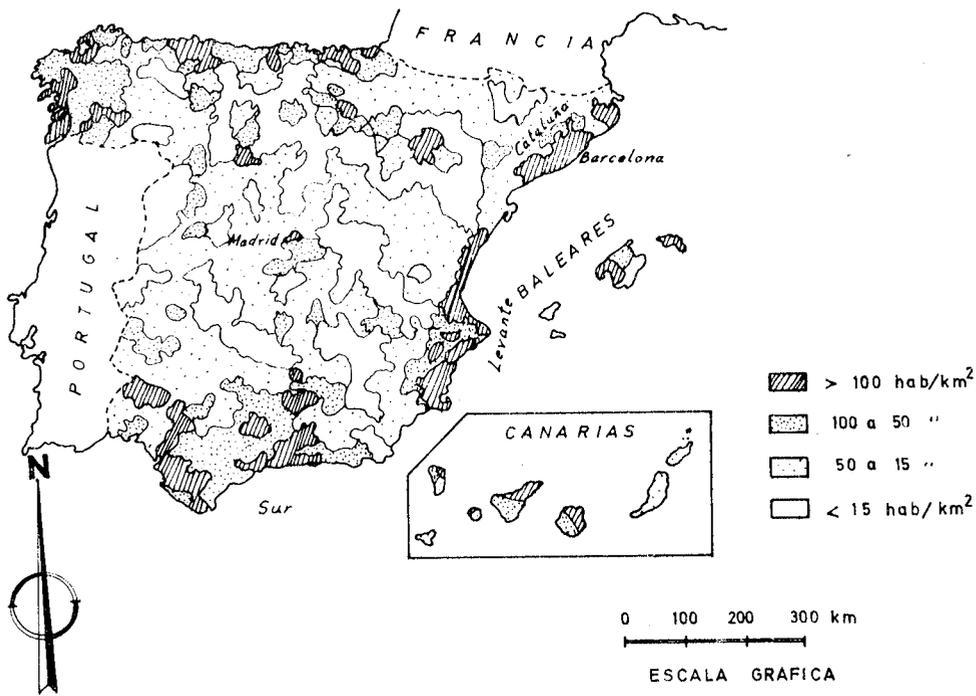


Fig. 3.—Densidad de población.

los legendarios *khanats* de Persia, Iraq y Armenia— conocidas con el nombre de “viajes de agua”, derivación del nombre latino “via aquae”, que en sus orígenes árabes recibieron el nombre de “mayrat” —madre del agua—, corrupción del latino “matrix”, del que por transformaciones degenerativas derivó el nombre de Madrid.

En Cataluña, Levante, Baleares y Canarias son numerosos los ejemplos de pozos excavados, con o sin galerías de fondo, que fueron equipados con norias accionadas por caballerías, más raramente por molinos de viento, algunas de las cuales adquirieron gran perfección técnica.

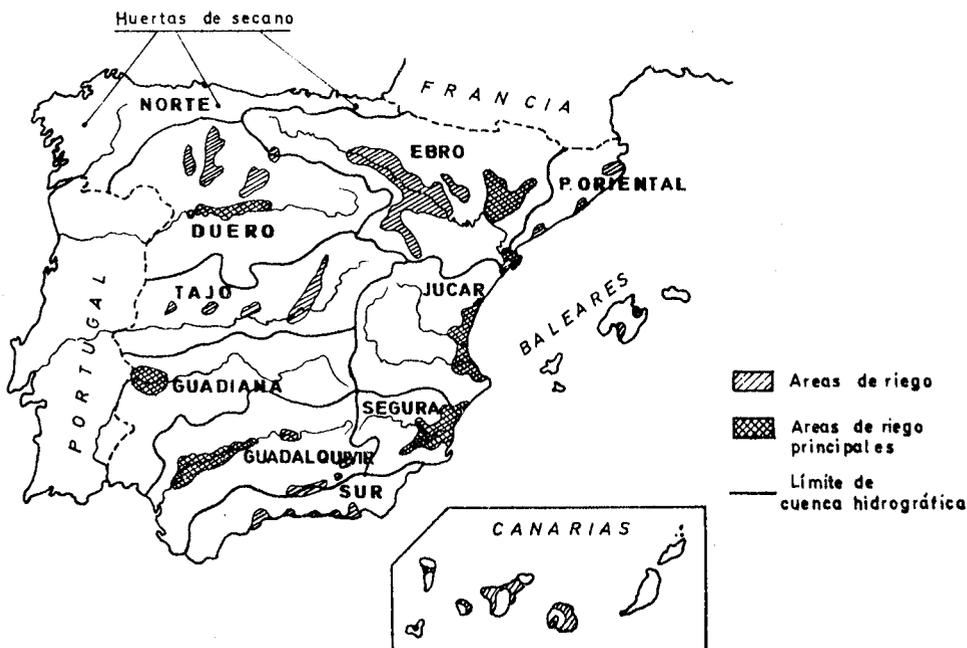


Fig. 4.—Regadíos.

La real revolución de la explotación de las aguas subterráneas, como en cualquier lugar del mundo, ha estado muy ligada a la evolución de la tecnología de extracción del agua de los pozos y de la perforación de sondeos profundos.

La mayor parte de este desarrollo exponencial, iniciado en la segunda mitad del siglo XIX, tanto para riego como para abastecimiento urbano e industrial, tuvo lugar en Cataluña, Levante, Baleares y Canarias, pero no estuvo al margen la capital del reino, si bien el éxito no acompañó a la empresa. En efecto, los intentos de captación de aguas subterráneas en Madrid mediante pozos surgentes o fácilmente explotables, no tuvieron éxito en el siglo pasado y comienzos del presente. Dado el carácter marcadamente centralista de la Administración española y la desmesurada tendencia a extrapolar lo que sucede en la capital al resto del país, esos fracasos han marcado muy fuertemente el pensamiento hidrológico, llevando a una infravaloración del papel real de las aguas subterráneas, que aún perdura en parte y que ha marcado el modo de pensar de muchas generaciones de ingenieros.

Ello explica el poco interés de un buen sector de la Administración por las aguas subterráneas. La iniciativa de su desarrollo quedaba así restringida en gran manera al sector privado, en el supuesto de que llegara a reconocer el valor de esas aguas y dispusiese de los conocimientos y tecnología suficientes. Una frecuente falta de visión de conjunto ha llevado a ciertos fracasos que han contribuido a empeorar la situación.

Con estas premisas es fácil explicar el notable desarrollo de la ingeniería hidráulica de superficie en España, en contraste con el estado rudimentario de la ciencia y tecnología de las aguas subterráneas hasta hace poco tiempo.

No puede decirse que la política de neto predominio de la ingeniería de aguas superficiales durante gran parte del presente siglo haya sido totalmente equivocada, puesto que en el territorio español existen grandes extensiones desprovistas de recursos de agua subterránea importantes a escala nacional, pero se ha desaprovechado la utilización de los pequeños acuíferos para solventar problemas locales, lo que hubiera evitado costosas inversiones de abastecimiento. El grado de acierto o desacierto varía de una región a otra, pero puede decirse que en el Levante probablemente hubiera sido de mayor eficacia una política hidráulica más equilibrada. El área barcelonesa, y en general una buena parte de las cuencas del Pirineo Oriental, son una excepción, ya que ha existido un sector privado bien orientado y realista con las posibilidades locales, aunque con un mejor cuadro legal y administrativo se hubiera podido mejorar notablemente los esquemas de gestión existentes y se hubieran evitado ciertos desequilibrios actuales.

En los archipiélagos canario y balear la casi ausencia de aguas superficiales condicionó desde su principio la necesidad de explotar las aguas subterráneas.

En el caso concreto de Madrid es curioso observar

que el fracaso de la explotación de aguas subterráneas que condicionó el cariz posterior de la política hidráulica, no fue a consecuencia de la inexistencia de notables acuíferos explotables, sino de que cuando se planteó el problema no se disponía de una tecnología adecuada para los tipos de acuíferos existentes. Recientemente se han construido captaciones que suponen una fuente importante y económica para ir solventando las crecientes demandas del agua de la notable concentración humana e industrial de Madrid, precisamente donde antaño se dijo que no existían posibilidades prácticas.

Los primeros trabajos hidrológicos modernos datan del siglo XVIII: Padre Feijoo y especialmente Teodoro Ardemans (3). El segundo hito corresponde ya a finales del siglo XIX en relación con la Comisión del Mapa Geológico Nacional (4) y con el extraordinario trabajo de Moragas (5), en el que se manejan los conocimientos más recientes de la época.

No obstante, cabe mencionar las palabras de Llamas (6): "Hasta épocas muy recientes —y con algunas excepciones— puede asegurarse que en España los estudios de aguas subterráneas han estado mucho más vinculados a la investigación geológica que a la hidrología. Probablemente esta situación es consecuencia de la organización administrativa de las aguas de acuerdo con la legislación española y que ha establecido, de hecho, una separación antinatural entre las aguas superficiales y las subterráneas."

Mientras a lo largo del presente siglo existen notables trabajos relativos a las aguas superficiales, no existe similitud en lo que respecta a las aguas subterráneas, salvo unos pocos intentos, loables, pero poco exitosos.

La situación cambia totalmente de aspecto a principio de la década de 1960-70, iniciándose la chispa activadora en Barcelona, donde las circunstancias locales y una menor dependencia de las directrices centrales había permitido una larga tradición en la explotación de acuíferos y de gestión integrada de aguas superficiales y subterráneas (7). El liderazgo correspondió al Servicio Geológico de Obras Públicas y a la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental, con la colaboración de la Sociedad General de Aguas de Barcelona. Probablemente no se trata de una acción sin precedentes, pero fructificó al existir un medio receptor apropiado y el deseo de resolver y encauzar los problemas existentes, sin recurrir a concepciones preestructuradas. Posteriormente y en diversos lugares de España, los diferentes organismos encargados de la administración del agua han iniciado estudios y actuaciones de gran interés, que han invadido sectores universitarios y privados, creando un ambiente propicio a la creación de una metodología propia de alto nivel.

No obstante, como se expone más adelante, se deja sentir la falta de un marco legal apropiado, resulta difícil penetrar en medios que dan total preponderancia a las aguas superficiales y la rigidez universitaria tiende a rechazar nuevas ciencias y técnicas. Si a ello se unen las recientes dificultades económicas y estructurales, es fácil justificar que la rápida evolución inicial esté actual-

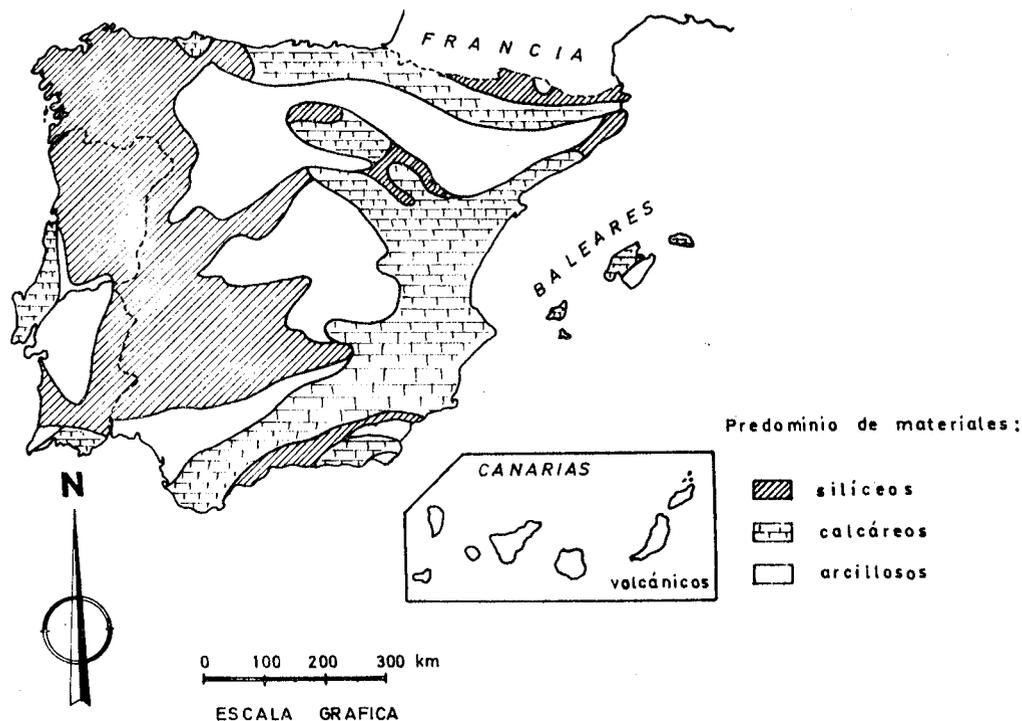


Fig. 5.—Litología general.

mente frenada por escasez de medios humanos y materiales y poco entusiasmo oficial.

A ello cabe unir que una explosiva e incontrolada explotación de aguas subterráneas (principalmente en áreas costeras para atender al súbito aumento de la demanda estival en áreas turísticas) ha llevado al rápido agota-

miento o salinización de pequeños acuíferos sometidos a una extracción abusiva, o a la contaminación de otros, dando una idea negativa y desafortunada de las reales posibilidades de integración de las aguas subterráneas en el abastecimiento de la demanda hídrica, lo cual, al mismo tiempo, es causa de que aquellos que infravaloran

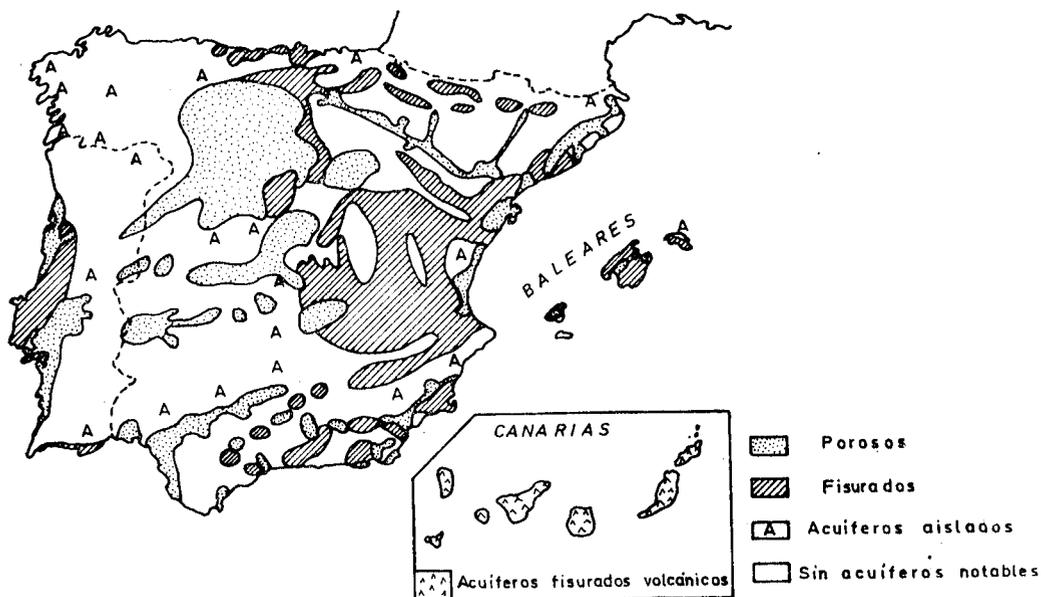


Fig. 6.—Síntesis de acuíferos.

el potencial de las aguas del terreno, se sientan respaldados en sus convicciones y presten atención preferente a los aprovechamientos superficiales.

3. ACUIFEROS Y SUS CARACTERISTICAS

En la España peninsular puede diferenciarse un área predominantemente silíceo (fig. 5) que ocupa el tercio occidental, incluyendo gran parte de Portugal, que penetra profundamente por el centro, y ocupa otras pequeñas áreas en el Sur, Centro y Nordeste. A causa de las fuertes pendientes del paso de la meseta a Portugal, no hay depósitos aluviales importantes, puesto que los ríos están aún en proceso de encajamiento y lejos del equilibrio.

En Levante y parte de Cataluña y del Sur dominan los materiales calcáreos, que se extienden también hacia la Meseta Norte y a lo largo de los Pirineos y Cordillera Cantábrica. Las islas Baleares están también incluidas en esta España caliza.

Por último, existe una franja en forma de S, con extremos en Cataluña (NE) y Bajo Guadalquivir (SW), que cruza por el centro de ambas Mesetas y sigue las depresiones del Duero y Ebro, que está formada por materiales predominantemente arcillosos y detríticos de los rellenos terciarios y cuaternarios.

En Canarias dominan casi exclusivamente las formaciones volcánicas de gran espesor, las cuales también están representadas en pequeñas áreas del Norte de Cataluña, Levante y cabecera del Guadiana.

La existencia de acuíferos, sintetizada de forma muy simple en la figura 6, está ligada a grandes rasgos a la anterior descripción litológica. Es notable observar que del orden de la mitad del territorio de la Península Ibérica está formada por formaciones desprovistas o con sólo pequeños acuíferos de poca entidad. Sin embargo, esta apreciación debe tomarse a nivel general, ya que en numerosos casos es posible obtener en ellos pequeñas cantidades de agua suficientes para atender a numerosas demandas locales. Estas zonas ocupan principalmente la mitad SW de la Península y el borde Norte.

En el área levantina, desde el Centro al Mediterráneo, y desde Cataluña al Sur, abundan las formaciones permeables por fisuración, principalmente calizas y dolomías, con frecuentes manifestaciones kársticas y la presencia de algunos importantes manantiales. La permeabilidad es muy variable y el grado de dislocación es grande, de modo que no es raro encontrar grandes formaciones divididas en bloques semiaislados por formaciones menos permeables. En el Levante propiamente dicho, las características acuíferas suelen ser buenas, en ocasiones las captaciones muestran muy elevados caudales específicos y los espesores saturados son importantes. En Cataluña, si bien se conocen manantiales con caudales medios de hasta 2 m³/s, la permeabilidad suele ser menor y mucho más irregular.

Las formaciones permeables por porosidad (flujo intergranular) son en general de reducidas dimensiones, con

la singular excepción de la depresión del Duero, en el Centro-Norte. Esta formación tiene una permeabilidad muy variable, en ocasiones pequeña, pero constituye un enorme embalse subterráneo, aún poco conocido en detalle. En el Centro, existen otros acuíferos más o menos extensos, entre los que se encuentran las arenas del terciario de Madrid, que aunque poco permeable, tienen un espesor saturado considerable y están proporcionando una importante alternativa de abastecimiento.

Son interesantes los acuíferos aluviales del Guadalquivir, en el Sur. En su parte baja existe una extensa formación sobre cuyas posibilidades existe actualmente una gran polémica, ya que las cifras de diferentes evaluaciones apoyadas en modelos difieren notablemente, y su explotación intensiva puede ocasionar alteraciones en el hábitat de la zona, principalmente al coto de Doñana, reducto de una importante muestra de fauna y flora salvaje.

En Levante, además de los aluviales de los ríos, incluyendo el delta del Ebro, existen formaciones de piedemonte de notable permeabilidad y con frecuencia en avanzado estado de explotación. Muchos de los pequeños ríos mediterráneos tienen pequeños pero potentes aluviales de elevada permeabilidad, con frecuencia formando un sistema biacuífero, con elevados recursos de agua en explotación y que son una importante pieza en la regulación de los ríos que los alimentan.

Los materiales que rellenan la importante depresión del Ebro, en el NE, son en general muy poco permeables y con frecuencia se trata de margas arcillosas que evolucionan hacia potentes formaciones yesíferas e incluso salinas. Así, los acuíferos quedan normalmente reducidos a los aluviales de los principales ríos. Estos aluviales pueden llegar a ser muy potentes y pueden ser utilizados como un importante elemento para el abastecimiento y para la regulación de las aportaciones.

En lo que se refiere a la España insular, en Baleares dominan los acuíferos en calizas, dolomías y calcarenitas, preferentemente permeables por fisuración, si bien existen zonas llanas con depósitos recientes no consolidados, intensamente explotados. Las formaciones volcánicas de Canarias son de características hidráulicas muy variables, desde las efusiones recientes muy permeables —en general no saturadas salvo en las proximidades del litoral— a las espesas acumulaciones de basaltos miocenos e ignimbritas, de muy reducida permeabilidad o prácticamente impermeables. El relieve y la orientación con respecto a los vientos alisios influye decisivamente en la recarga de los acuíferos. Las islas menos occidentales son marcadamente áridas, en contraste con la relativa veracidad de las laderas norte de aquéllas con elevados macizos, en las cuales, a su vez, éstas contrastan vivamente con las áridas zonas del sur.

4. CONOCIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

El grado de conocimiento de la hidrogeología española es muy variable. El área mejor estudiada es la del

Pirineo Oriental, en el NE, donde se ha realizado un extenso estudio de los recursos hidráulicos totales por la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y el Servicio Geológico de Obras Públicas, además de numerosos estudios de detalle con vistas a la gestión integrada de recursos. En Canarias se ha realizado un estudio profundo de los recursos de agua, bajo los auspicios del Gobierno español y del PNUD, siendo los organismos ejecutores, la Dirección General de Obras Hidráulicas (Servicio Geológico de Obras Públicas y Centro de Estudios Hidrográficos) y UNESCO. La cuenca del Guadalquivir, en el Sur, ha sido asimismo objeto de un estudio de recursos de agua, con especial énfasis en ciertas áreas, realizado por el Instituto Geológico y Minero en conjunción con FAO, Dirección General de Obras Hidráulicas y Ministerio de Agricultura.

El Instituto Geológico y Minero, dependiente del Ministerio de Industria, está concluyendo un estudio general de la cuenca del río Guadiana y ha lanzado otro similar en la del Tajo. Los trabajos en la cuenca del Duero son aún preliminares. Estos trabajos se realizan dentro del Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), que comprende gran parte del territorio nacional (8).

Por su parte, el Servicio Geológico de Obras Públicas, dependiente de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, además de intervenir decididamente en los estudios del Pirineo Oriental y de Canarias, viene realizando desde hace varios años una serie de estudios de "Recopilación y síntesis" (9), que cubren una buena parte de los acuíferos más explotados y conflictivos del país, principalmente en el Centro y Levante. Se trata de estudios realizados para reunir, criticar y sintetizar la información existente, después de un cuidadoso inventario, pero con el mínimo posible de trabajos de campo. Con ello se consigue obtener un conocimiento de la hidrología subterránea y recursos de las zonas de estudio en un tiempo breve, en general algunos meses, y con un gasto pequeño. Después de estudios de mayor detalle, las conclusiones de estos estudios de recopilación y síntesis son perfectamente válidas en su gran mayoría y resultan decisivas en la planificación de esos otros trabajos de detalle, para los que se consigue rapidez, precisión y un notable ahorro económico.

Los estudios de las islas Baleares han sido llevados a cabo por un equipo que integraba a técnicos de la Dirección General de Obras Hidráulicas, del Instituto Geológico y Minero y del IRYDA (Ministerio de Agricultura). El Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) —antes Instituto Nacional de Colonización—, dependiente del Ministerio de Agricultura, dispone de un importante parque de maquinaria de perforaciones y colabora con los otros organismos mencionados en muchos de sus estudios, si existe un interés agrícola en ellos.

En el momento presente, la extensa cuenca del Duero no es suficientemente bien conocida, y en la cuenca del Ebro y zona del borde norte apenas se han realizado estudios de importancia, atendiéndose la mayor parte de necesidades mediante aguas superficiales.

El Instituto Geológico y Minero de Industria y el Centro de Estudios Hidrográficos del Ministerio de Obras Públicas han publicado mapas generales que sintetizan las principales características hidrogeológicas y de es-correntía del territorio nacional. Mapas parciales de detalle pueden encontrarse en los estudios de detalle del Pirineo Oriental, Canarias, Guadalquivir, etc.

Los diversos organismos mencionados y varios autores han realizado balances actualizados de las aguas subterráneas a nivel nacional, el primero de los cuales data de 1968 (10) y coincide razonablemente con los publicados posteriormente por el Instituto Geológico y Minero y por el Centro de Estudios Hidrográficos, recogidos en diversas publicaciones (11 y 12). Los balances parciales de mayor detalle corresponden al Pirineo Oriental, y se enfocan hacia una planificación integral; son el resultado del estudio detallado de las diversas cuencas y acuíferos que lo integran, publicados en 29 volúmenes, y que se resumen en el Plan Hidrológico (13).

5. CONDICIONANTES Y PROBLEMAS TECNICOS

Una buena parte de la política hidráulica se ha basado en la idea simplista de que, como el agua de los embalses subterráneos finalmente va a ir a parar en su mayor parte a los ríos, con embalses de superficie ya se consigue la regulación de los recursos hídricos, de una forma sencilla y directamente visible; sólo queda tratar de recuperar el flujo subterráneo directo al mar, que es una pequeña porción del total. Estas conclusiones contienen numerosas falacias, ya que no considera ni el lugar, ni el tiempo, ni la calidad, ni la reutilización, ni la ocupación territorial, ni la oportunidad de inversiones, ni el potencial del uso conjunto, ni la seguridad, ni el paisaje, etc. En buena parte, este modo de pensamiento tiene su origen en el *status* legal y administrativo que se comentará más adelante y en ciertos fracasos aparentes en la explotación de las aguas subterráneas por su extracción abusiva, incontrolada o sin la adecuada tecnología.

Las difíciles condiciones hidrogeológicas de muchos acuíferos españoles, principalmente de los permeables por fisuración, ha sido también un freno al desarrollo, aunque en la actualidad es fácil soslayar en buena parte estos escollos. En cuanto al estudio y control, dado que gran parte de las aguas subterráneas son de carácter privado, la obtención de datos básicos y la gestión no es sencilla y requiere una frágil colaboración amistosa entre el sector privado y público, o la instrumentación de medios legales extraordinarios, en general poco efectivos y mal aceptados.

En diferentes lugares se está produciendo una real minería del agua al irse consumiendo reservas. Tal sucede en el extenso Campo de Tarragona, donde no sólo descienden los niveles, sino que el agua dulce es reemplazada por agua salada. Uno de los casos más espectaculares de sobreexplotación se encuentra en las islas Canarias, con un descenso continuado de niveles freáticos.

cos de hasta varios milímetros por día en el centro de la isla de Gran Canaria. En las islas de Gran Canaria y Tenerife, las más habitadas y donde la red de captaciones es extraordinaria —unos 1.500 Km de galerías en Tenerife y casi 2.000 pozos dotados de largas galerías y catas de drenaje, con profundidad media superior a 100 m en Gran Canaria—, este descenso es una respuesta transitoria hacia una nueva posición de equilibrio en la cual el coste de extracción y perforación no permitirá mantener el actual ritmo de extracciones (14).

6. PROBLEMAS DE CALIDAD

a) *Calidad natural.*

En España son frecuentes las áreas con sedimentos yesosos y con otras sales fácilmente solubles, lo cual afecta notablemente a la mineralización y composición de las aguas subterráneas de ciertos acuíferos de la cuenca del Ebro, del Centro y del SE, de modo que en ocasiones llegan a ser inútiles para cualquier uso.

Normalmente, la peor situación es cuando la fracción soluble está dispersa en los sedimentos; la lenta disolución produce rasgos de hundimiento y subsidencia, a veces con colapsamientos repentinos, tal como sucede en zonas de la cuenca del Ebro. Estas aguas mineralizadas se incorporan con frecuencia al flujo regional y se van mezclando con otras aguas inicialmente no afectadas, produciéndose áreas con característicos cambios de salinidad.

En las zonas más áridas del NE, y esencialmente en las islas Canarias orientales, la escasa recarga natural es notablemente salina. En las islas de Lanzarote y Fuerteventura el agua de la escasa recarga puede superar salinidades de 5 gr/litro.

No es raro que se presente una marcada estratificación química del agua, con las aguas más salinas en la parte profunda, de más lenta circulación; la parte superior, de mayor flujo, menor tiempo de contacto y con terreno en avanzado estado de lavado, puede contener agua razonablemente dulce, pero la explotación con pozos altera esta estratificación y la calidad obtenida va degenerando con el tiempo, como se ha observado, por ejemplo, en numerosas captaciones en Canarias (15).

b) *Contaminación por actividades agrícolas.*

En numerosas zonas regadas con aguas subterráneas la salinidad ha ido aumentando progresivamente por recirculación, llegándose a veces a situaciones graves, aun con una explotación apropiada para evitar el efecto directo de los excedentes de riego.

En el Campo de Tarragona son fácilmente identificables tales efectos sobre la salinidad y sobre ciertos iones en particular, sin que se hayan producido por ahora daños apreciables, pero en una amplia franja del delta del Llobregat (Barcelona), un excesivo bombeo, junto con la incorporación al agua de riego de aguas residuales

industriales, ha llevado a una progresiva salinización que, tras obligar a una sustitución de cultivos por otros más tolerantes, finalmente ha obligado a abandonar los terrenos agrícolas o a buscar fuentes exteriores de suministro de agua.

Cuando los excedentes de riego van a parar a los ríos, y en las zonas bajas esas aguas recargan a los acuíferos directamente o por regadíos con las aguas superficiales, se produce una importante alteración de la salinidad del agua subterránea. Tal sucede con cierta frecuencia en Levante y se producirá con mayor intensidad que la actual en el bajo Ebro si se siguen extendiendo los regadíos en el interior de la cuenca, de clima árido y con terrenos yesosos, y a veces necesitados de fuertes excesos iniciales de agua para lavar y convertir en utilizables los abundantes suelos salinos.

c) *Contaminación por diversas actividades humanas.*

Desde el punto de vista industrial y urbano, la alteración de la calidad de los acuíferos se produce con caracteres que llegan a revestir gravedad en varias zonas de Cataluña, entre otras. Unas veces se trata del vertido en excavaciones de basuras y residuos de muy variada categoría; otras, del vertido de aguas usadas en pozos y campos, y otras, de recarga inducida del agua de cauces y canales contaminados. En el área barcelonesa existe una extensa zona contaminada por cromatos y otra donde parte de las captaciones para el abastecimiento urbano se han contaminado seriamente, obligando a prolongados bombeos de limpieza, a tratamientos especiales del agua obtenida o al abandono de los pozos.

La contaminación por nitratos, con valores superiores a veces a 150 ó 200 p.p.m. en NO_3 , no es infrecuente en zonas urbanas y agropecuarias, y está causando preocupación en Valencia, otras zonas agrícolas mediterráneas y en Canarias.

La elevada densidad urbana de las ciudades y la sobrepoblación de la costa crea grandes cantidades de basuras y residuos que es difícil evacuar. No es raro que los municipios se vean forzados a soluciones poco satisfactorias cuando su territorio está muy urbanizado y los municipios vecinos se oponen drásticamente a proporcionar terrenos para establecer vertederos controlados. Ello condiciona que, después de largas polémicas, se seleccionen los emplazamientos por cuestiones políticas en los únicos lugares negociables, a veces inapropiados para evitar la contaminación de los acuíferos. Tal ha sucedido con el nuevo vertedero de basuras de Barcelona, que, a pesar de extraordinarias y costosas medidas de impermeabilización, no han podido evitar que una gran surgencia submarina-litoral quedase afectada.

La minería de sales potásicas en la cuenca media del río Llobregat (Barcelona) produce salmueras residuales de proceso y de escorrentía de escombreras que salinizan notablemente a las aguas del río y después a los acuíferos recargados por el río. En esta misma cuenca la elevada contaminación urbana e industrial de las aguas fluviales repercute en gran parte en las aguas subterrá-

neas de los aluviales a los que recarga. Si se trata de carga en suspensión, va colmatando el lecho en las zonas de mayor explotación, de modo que la recarga queda limitada a las crecidas del río. La laminación de avenidas mediante embalses de superficie, y la derivación de caudales en ciertos tramos, hace temer que las posibilidades de recarga de los acuíferos aluviales pueda quedar gravemente afectada, aun en el caso de que se mejore la cantidad del agua del río, a tenor de la experiencia ya existente en ciertos tramos.

El problema de las salmueras en la minería potásica de Navarra, en el Norte, se resuelve por inyección en unas calizas profundas. El sistema funciona correctamente desde hace varios años, sin que se conozcan problemas de afección, si bien no se sabe el destino final de esas salmueras, aunque cabe la posibilidad que sea al propio mar. Para el problema de la minería potásica catalana se han intentado soluciones por inyección profunda, pero después de estudios de detalle se ha abandonado esta posibilidad al no existir niveles receptores apropiados.

En ciertas áreas litorales, buena parte de la recarga de sus acuíferos procede de la infiltración de las aguas residuales de poblaciones más alejadas de la costa. La falta de depuración crea problemas graves, pero si se trata de canalizar esos vertidos para después evacuarlos mediante emisarios submarinos, se elimina un recurso importante y no es raro que en poco tiempo las captaciones se salinicen.

d) *Problemas litorales.*

Buena parte de los más importantes e intensamente explotados acuíferos españoles se sitúan junto al litoral y son frecuentes los problemas de salinización.

Existen notables casos de intrusión marina en los acuíferos a lo largo del litoral catalán. Uno de los más espectaculares es la zona industrial del delta del Besós (Barcelona), que entre 1945 y 1960 quedó profundamente salinizado a causa del excesivo bombeo e inadecuada construcción de parte de los pozos. Tras el abandono de muchas explotaciones, actualmente existen problemas de subpresiones e inundaciones en edificaciones y obras subterráneas, construidas en el momento en que los bombeos mantenían niveles ficticios muy por debajo del nivel del mar, y que no previeron que podrían ascender de nuevo.

De forma similar, en los importantes acuíferos del delta del Llobregat (Barcelona), se ha iniciado un proceso lateral de movimiento de agua salada marina que amenaza gravemente a las industrias y abastecimientos en él establecidas. El proceso se debe a un excesivo bombeo y ha sido acelerado por la excavación de dársenas portuarias tierra adentro; existen proyectos de control para evitar que la solución empeore.

Otros ejemplos espectaculares pueden encontrarse en los pequeños acuíferos litorales catalanes, algunos de los cuales se han salinizado casi simultáneamente a la puesta en explotación de bombeos muy superiores a sus posibilidades, en su afán de solucionar puntas de abasteci-

miento a cualquier precio. En otros casos la salinización es debida a la excavación de canales navegables tierra adentro, para servicio de urbanizaciones veraniegas.

Esta triste panorámica ha puesto desconfianza en el interés de las aguas subterráneas, habiéndose dicho que "cuando un pozo no se seca, se saliniza". En realidad esto no sucede si no existen abusos; existen numerosas áreas en que una buena gestión permite un servicio extraordinario, incluso en áreas turísticas, con fuertes demandas veraniegas, donde actuando con cuidado es posible vaciar el embalse subterráneo en verano, para recuperarlo en invierno con las lluvias otoñales.

No siempre la salinización de los acuíferos litorales es a consecuencia de las extracciones de agua subterránea; en numerosos casos es un fenómeno natural debido a la notable permeabilidad de los materiales y pequeño flujo de descarga al mar (zonas poco lluviosas o con áreas de recarga pequeñas), tal como sucede en el Sur del Pirineo Oriental. En otros casos se trata de formaciones jóvenes que aún retienen parte del agua salada de formación, tal como sucede en la parte occidental y en la cuña limosa intermedia del delta del Llobregat (Barcelona), del delta del Ebro (Tarragona) y posiblemente de parte del Llano de Palma (Baleares).

e) *Consideraciones sobre la contaminación de acuíferos.*

En el Pirineo Oriental (Cataluña), donde los recursos hídricos son escasos y los cauces públicos están notablemente contaminados por vertidos urbanos e industriales, la fuerte presión de las autoridades sobre los vertidos a los ríos, ha llevado a que ciertas industrias, en vez de depurar, opten por evacuar sus residuos líquidos en el subsuelo mediante campos de infiltración o pozos, dando lugar a la aparición de notables contaminaciones de los acuíferos y a la larga de nuevo de los cauces públicos. Al ser las aguas subterráneas privadas, las posibilidades de intervención y vigilancia pública está limitada, además de que es difícil conocer esos hechos.

Normalmente las autorizaciones de vertido no van ligadas necesariamente a las de concesión de aguas, ni a las de operación de la industria. Actualmente se va resolviendo el problema a base de una organización administrativa que depende más del interés de los administradores que de una base reglamentada, con lo cual los logros son poco estables en ocasiones. El problema más grave es el de los municipios que toleran actividades contaminantes para mantener el desarrollo e intereses establecidos y contra los que la acción es difícil.

7. ACTUACIONES AVANZADAS SOBRE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Para solucionar problemas de disponibilidad de agua en zonas deficitarias se están adoptando medidas especiales en varias áreas españolas, la más destacada de las cuales es el Pirineo Oriental, en Cataluña. La Sociedad General de Aguas de Barcelona tiene en continuada

operación desde 1953 un pozo de recarga de diseño especial adaptado al tipo de agua y acuífero. En otro lugar se recargan hasta 15 Hm³ anuales de agua del río tratada en pozos normales.

La recarga con pozos resulta eficaz, en contraposición con el arado periódico del cauce de los ríos para aumentar la recarga inducida al romper la capa de depósitos finos de fondo; a pesar del cuidado con que se ha practicado en algunos lugares para evitar la penetración de los finos, se ha ido produciendo una colmatación progresiva; las acciones para resolver con urgencia el problema de recarga del aluvial en años anormalmente secos, mediante un rascado poco cuidadoso y movimientos del lecho del río, produce una impermeabilización parcial permanente e irreparable.

La extensión temporal del ancho del río mediante represas temporales, suele dar resultados aceptables sin dañar apreciablemente la notable capacidad de infiltración, incluso con aguas sucias. Por ejemplo, durante varios meses se vienen operando tres represas temporales en el cauce de un torrente próximo a Barcelona para infiltrar las aguas contaminadas que por él circulan y evitar que alcancen las populosas playas. Se trata de aguas residuales urbanas en estado de semiautodepuración, que penetran a través de unos 30 m de medio granular no saturado, en un lugar en que el agua subterránea es salobre; no se han producido efectos nocivos.

Para disponer de suficiente caudal en el río Llobregat, en Barcelona, en momentos de notable sequía se alterna la cesión de agua de un embalse de superficie con el bombeo intensivo de agua durante algunas semanas de uno de los acuíferos aluviales, en el momento en que por la colmatación del lecho de aguas bajas, la infiltración del río es pequeña; así se consigue introducir en el río un volumen neto de varios hectómetros cúbicos de agua procedente del vaciado del embalse subterráneo, que se restituye después con las primeras crecidas del río.

En la cabecera del mismo río se está estudiando la forma de conseguir algo similar para mantener el caudal de los manantiales en épocas de sequía y complementar a los embalses de superficie, vaciando parte del almacenamiento de los acuíferos calizos en lugares en que el efecto sobre los puntos de descarga tenga un retraso apropiado. Un esquema similar ha sido propuesto para el río Duero (6) y para los acuíferos en conexión con el trasvase Tajo-Segura, en el Levante (7).

Para tratar de recuperar parte de las aguas residuales de Barcelona, de buena calidad química después de tratadas, se ha construido una planta piloto de tratamiento para 100 l/s, parte de los cuales, después de una nueva depuración avanzada, van a ser inyectados en un pozo de recarga ya construido, en una zona de agua salada, para estudiar la viabilidad de almacenamiento y tratamiento complementario en el terreno de esa agua. Si los resultados son positivos se procederá a la recarga en mayor escala y a la inyección para controlar la intrusión marina en la porción oriental del delta del Llobregat.

Como se comentará en el apartado 10, las técnicas de modelación se están introduciendo rápidamente y ya existen diversos modelos operativos. Se ha iniciado recientemente la preparación de un complejo modelo de gestión hidroeconómica para la isla de Gran Canaria, a fin de analizar las bases de un plan de gestión de recursos hídricos, en gran parte subterráneos, a fin de tratar de evitar las graves afecciones económicas del descenso continuado de niveles y establecer la mejor forma de integración de acuíferos, embalses de superficie y desalinizadoras.

8. CONDICIONANTES LEGALES

La Ley de Aguas española apareció en su primera versión en 1866, con una gran novedad sobre otras leyes contemporáneas: la de tomar en consideración las aguas subterráneas. Después de un período experimental, en 1879 fue retocada y definitivamente promulgada. Está aún vigente, y se complementa con las disposiciones más generales del Código Civil de 1889 y por una serie de disposiciones de menor rango que se han ido acumulando a lo largo del tiempo.

La Ley de Aguas clasifica las aguas en dos grandes grupos, que a grandes rasgos identifica aguas públicas con aguas superficiales y aguas privadas con aguas subterráneas, si bien en ciertos casos las demarcaciones no son claras ni tan simples, y no está suficientemente definido en qué circunstancias un agua antes pública puede convertirse en privada (18), ya que no existe un total acuerdo entre los dos textos legales fundamentales, ni en su interpretación por los Tribunales. Además de las dificultades a causa de la distinta consideración legal del agua, la Ley de Aguas adolece de grandes defectos debidos a la época en que fue redactada, pues no tiene en cuenta la posibilidad de perforar pozos muy profundos y eficientes y de instalar con suma facilidad caudalosos mecanismos de bombeo. La Ley de Minas contribuye a aumentar el confusiónismo legal al introducir el concepto de "agua mineral" por una consideración diferente a la de las otras aguas subterráneas.

En el aspecto de la protección de la calidad del agua subterránea, lo legislado es poco concreto, aunque puede aplicarse el principio de responsabilidad de daños a terceros y aplicar, cuando sea posible, la reglamentación de vertidos a cauces públicos o de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas. En el Reglamento de Sanidad de 1925 existen normas en cuanto a perímetros de protección de captaciones de agua subterránea para abastecimiento, pero son poco funcionales. La mayor dificultad reside en el excesivo carácter privado del terreno, en insuficientes medios legales y administrativos para la vigilancia efectiva y en una normativa dispersa, a modo de "parches" para cubrir las necesidades en momentos concretos (19).

El cuadro legal que se ha mencionado resulta poco favorable a una gestión integrada de los recursos hidráu-

licos y de las aguas subterráneas. No obstante, La Ley de Aguas deja resquicios para intervenir en situaciones en las que el simple respeto de los 100 m de distancia entre captaciones de agua subterránea no es suficiente para evitar que se produzcan serias afecciones entre los diferentes explotadores.

Por el camino de dar amplia interpretación a perjuicios generales, se han dictado leyes especiales:

a) Canarias, donde existe escasez de aguas superficiales y explotación exhaustiva de las aguas subterráneas. Faculta la fijación de mayores distancias entre captaciones y la reserva de caudales de aguas subterráneas aún no explotadas para atender demandas preferentes, y limita la propiedad de las aguas obtenidas en labores mineras. Se han solucionado algunos de los problemas, pero no satisface las necesidades urgentes de gestión, para las que se recomienda una total gestión comunitaria o estatal del agua (20).

b) Cuenca del Guadalquivir, donde se ha prohibido temporalmente la ejecución de nuevas captaciones en determinadas zonas.

c) Mallorca (islas Baleares), donde existen circunstancias similares a las de Canarias. Prohíbe la construcción de nuevos pozos en ciertas zonas y otorga poderes especiales a un comité interministerial de coordinación para ordenar y guiar la explotación. La complicación administrativa es, quizá, excesiva.

Quizá los pasos más avanzados se están dando en el Pirineo Oriental, aprovechando la posibilidad de extender la zona de policía de la Comisaría de Aguas a la totalidad de los acuíferos en los que "cualquier explotación distraiga o aparte aguas públicas de su cauce natural", en vez de limitar esa zona a la franja reglamentaria de 100 m de ancho a cada lado de los cauces de ríos y canales. Ello permite controlar mucho más eficazmente a los acuíferos aluviales y a otros acuíferos en directa conexión con ríos, pero es de aplicación más difícil a otros casos en que la gestión racional es también urgente. La labor de policía se refiere a las extracciones y cualquier excavación, pozo, sondeo u otra que pueda afectar en cantidad o calidad a las aguas superficiales y subterráneas, sin perjuicio de las competencias de otros organismos de la Administración.

El aspecto más interesante es el de la formación de Comunidades de Usuarios de Aguas, que reúne por zonas hidrológicamente homogéneas a las entidades con intereses hídricos, ya sean de extracción de agua, como de vertido. Estas Comunidades, con un estatus legal de Comunidades de Regantes a fin de aprovechar la buena experiencia y camino legal existente, deben realizar la gestión racional de los recursos encomendados, respetar las limitaciones establecidas y coordinarse con las otras Comunidades vecinas. La Administración sanciona las decisiones fundamentales y definitivas, y actúa de acuerdo con la Ley en caso de inadecuado funcionamiento o de necesitarse ayudas económicas o técnicas. Si los resultados son los apetecidos, se tratará de ir extendiendo

el sistema a otros acuíferos, en tanto se instrumenta una nueva Ley de Aguas.

9. CONDICIONANTES ADMINISTRATIVOS

La administración de las aguas subterráneas se ejerce por diferentes organismos. Sus límites de actuación son en ocasiones poco claros, a tenor de las imprecisiones legales mencionadas en el apartado anterior. Los principales organismos estatales que intervienen son: a) Ministerio de Obras Públicas en lo que se refiere a las aguas públicas y zonas de policía para protección de las aguas públicas. b) Ministerio de Industria en lo que se refiere a las aguas subterráneas privadas. Las funciones de estos Ministerios son muy diferentes, dado el diferente tratamiento legal de las aguas —concesional para las públicas y de conocimiento y autorización para las privadas—. Ello contribuye también a la escisión entre aguas superficiales y subterráneas, dificultando la gestión integrada y racional.

Esa escisión no fue grave en un principio, ya que toda la administración correspondía al antiguo Ministerio de Fomento, pero al ser dividido en los dos Ministerios mencionados, con separación de Cuerpos de Ingenieros al servicio de la Administración, la situación se empeoró notablemente.

La cooperación interministerial, si bien se ha conseguido en ocasiones, choca con las diferentes orientaciones ministeriales y en gran manera con las luchas de Cuerpos, puesto que cada uno se identifica desgraciadamente con un determinado Departamento y la colaboración se relega con frecuencia ante el mantenimiento y adquisición de competencias y exclusivas. Sin embargo, justo es no olvidar que estas luchas de competencia y de prestigio han sido un notable acicate para la realización de numerosos e importantes trabajos de conocimiento y desarrollo de las aguas subterráneas, que si presentan el aspecto negativo de la duplicidad de esfuerzos y una más incompleta gestión, cabe pensar que con un Cuerpo y Administración únicos las realizaciones serían hoy probablemente menores. No obstante, es de desear que tras el estudio inicial de desarrollo, en el que la competencia ha sido fructífera, se pase a una fase de cooperación y unidad de gestión.

El Ministerio de Agricultura, a través del Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) realiza estudios y desarrollo de aguas subterráneas con fines agrícolas y rurales, por su cuenta o en cooperación con los Ministerios de Obras Públicas e Industria.

Las Jefaturas Provinciales de Sanidad, dependientes del Ministerio de la Gobernación (Interior) vigilan y controlan regularmente los aspectos sanitarios y epidemiológicos de las aguas y sus facultades se limitan normalmente a informar y a clausurar captaciones de agua subterránea y manantiales en tanto no reúnan las condiciones necesarias, sin interferir con las acciones de los otros Ministerios. El Ministerio de la Gobernación con-

fiere al Gobernador Civil de cada provincia facultades especiales para resolver ciertas situaciones conflictivas, con facetas positivas y negativas en cuanto a una excesiva personalización del poder. La Administración Local puede suspender obras privadas de captación de aguas subterráneas en sus respectivos Municipios, y de hecho así actúa; sin embargo, no son raros los casos en que unas veces por ignorancia o inconsciencia, y otras por resolver problemas inmediatos, prescindiendo de las posibles repercusiones posteriores, ha tolerado o realizado acciones que han afectado gravemente a las aguas subterráneas y han producido graves estados de contaminación.

10. PERSPECTIVAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Desde el punto de vista técnico se está en proceso de completar a un nivel razonable el conocimiento de las aguas subterráneas en España, tal como se ha expuesto en el apartado 4.

Además del Ministerio de Industria a través del Instituto Geológico y Minero, y del Ministerio de Obras Públicas a través del Servicio Geológico de Obras Públicas, Comisarías de Aguas, Confederaciones Hidrográficas, Servicios Hidráulicos (insulares) y Centro de Estudios Hidrográficos, debe tenerse en cuenta la labor de la Sección de Recursos Hidráulicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, los cursos de especialización en aguas subterráneas de Barcelona y Madrid, y en menor grado algunos departamentos universitarios, parte de ellos coordinados por el Instituto de Hidrología.

En las áreas más importantes, donde ya existen estudios a nivel suficiente, se han iniciado programas de gestión más profundos, mediante estudios de detalle con apoyo de modelos de simulación, como en el Llobregat (Barcelona), bajo Guadalquivir, Gran Canaria, Llano de Palma (Baleares) y Terciario de Madrid. El empleo de modelos se va generalizando rápidamente y se está instruyendo en ello a técnicos de la Administración para que puedan ellos mismos manejar modelos de decisión.

Se han empezado a instalar redes de control de las aguas subterráneas, de las cuales la del Pirineo Oriental tiene ya diez años de existencia y los resultados están a punto de ser publicados en un anuario público.

La investigación básica de aguas subterráneas es aún incipiente por la actual falta de medios de la Universidad, y es difícil prever la evolución futura. Se han realizado numerosos trabajos de tipo general y de detalle, pero suponen una modesta aportación al conjunto. Una buena parte de las aportaciones científicas más notables no corresponden propiamente a la Universidad y son el subproducto de estudios prácticos si ha existido un especial interés personal en sus realizadores. Tal ha sucedido con el estudio del movimiento del agua y de la intrusión marina en el delta del Llobregat y Campo de Tarragona (zona sur) o con las notables contribuciones al conocimiento de la Hidrología de formaciones volcánicas en Canarias. El Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las

Obras Públicas (del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) ha desarrollado métodos radioisotópicos simples y muy prácticos.

Se siente cada vez con mayor intensidad la necesidad de una nueva Ley de Aguas actualizada, que permita una gestión integrada y dinámica de los recursos, adaptada a las reales necesidades y peculiaridades de cada región, y resaltando el valor social del agua. Esta posición crece a medida que se conocen y utilizan mejor las aguas subterráneas y cabe pensar que no está ya lejos el momento en que definitivamente se promulgue la nueva Ley, de la que ya existen diversas versiones preliminares. Su aprobación será presumiblemente una labor larga y llena de escollos, que inicialmente topará con las competencias ministeriales existentes y las dificultades entre cuerpos. La promulgación de una Ley de Aguas, operativa, social y aceptada, salvando perjuicios y prebendas existentes, puede ser una de las manifestaciones más claras de madurez política.

La concentración de la total gestión del agua en un único Departamento Ministerial es un aspecto muy debatido, y la creación de un Ministerio del Agua o de Recursos Naturales no es necesariamente la mejor solución. No es simplemente cuestión de crear un organismo aglutinador o coordinador, sólo eficaz, y esa eficacia es posible que se pueda encontrar en alguno de los ya existentes; en todo caso es un tema delicado que requiere un estudio cuidadoso y desapasionado.

La complejidad de la exploración, explotación, gestión y administración de las aguas subterráneas, dado su carácter claramente interdisciplinar (21), requiere claramente la intervención de personal con muy diversas titulaciones, en contraposición con la actual exclusividad y competencia entre unos pocos Cuerpos de carácter marcadamente cerrado. Aunque se ha progresado en los últimos diez años en el sentido de una mayor apertura profesional, los logros son moderados, con períodos de retroceso y de creación de asociaciones partidistas y excluyentes. No obstante, es de esperar que las evoluciones legales y administrativas irán acompañadas de esa apertura profesional.

11. ENSEÑANZA DE LA HIDROLOGIA SUBTERRANEA

La enseñanza en profundidad de la Hidrología se inició con la creación de la Escuela de Hidrología por el Instituto de Hidrología de Madrid, y la inauguración en 1966 del Curso de Hidrología General y Aplicada y otros que han ido apareciendo posteriormente. Con un planteamiento inicial preferente hacia las aguas superficiales, paulatinamente han ido dando un peso creciente a las aguas subterráneas para conseguir una visión más equilibrada.

En 1967 se iniciaron en Barcelona las actividades del Curso Internacional de Hidrología Subterránea, con una orientación marcadamente cuantitativa. Dicho curso acaba de dirigir la edición de un texto de Hidrología Subterránea, en el que han colaborado más de 30 especialistas,

y es quizá la obra de compendio sobre aguas subterráneas más completa existente.

También en 1967 comenzaron las actividades, en Madrid, del Curso de Hidrogeología Noel Llopis, inicialmente con un carácter marcadamente geológico, que ha ido evolucionando hacia un contenido intermedio entre el inicial y el del curso de Barcelona. En la misma época se formó el Curso de Hidrogeología Aplicada, en la Escuela de Minas de Madrid, más breve que los anteriores (tres en vez de seis meses).

La mayor contribución a estos cursos de formación de postgraduados procede de la Dirección General de Obras Hidráulicas, en una acertada visión de futuro.

La labor en la formación de estudiantes en la etapa de graduación es mucho más modesta y en general ha quedado limitada a alguna asignatura secundaria introducida recientemente, con timidez, en los planes de estudio de ciertas Escuelas Técnicas Superiores y en las Facultades de Ciencias Geológicas. En este campo universitario es donde queda una mayor labor a realizar, que va resolviéndose poco a poco con la dotación de algunas plazas de profesores de Hidrogeología. Sin embargo, debe resaltarse que la Universidad participa en los cursos de postgraduados desde sus inicios o una vez consolidados, pero el hecho de que España forme un buen número de especialistas nacionales y extranjeros después de su titulación, contrasta vivamente con la reducida actividad de investigación universitaria en el campo de las aguas subterráneas y con la deficiencia docente antes de la titulación, lo cual es reflejo de una excesiva rigidez académica.

12. NOTA FINAL

Las ideas expresadas en el presente trabajo son de la total responsabilidad del autor y no son necesariamente las de los organismos con los que colabora.

El autor hace notar que probablemente existan algunas imprecisiones y olvidos, ya que es difícil conocer el detalle de las actividades de los varios organismos que intervienen en la gestión del agua y sus publicaciones. Además, su especial vinculación al Pirineo Oriental y a Canarias hace que el número de referencias a estas áreas sea más numeroso.

BIBLIOGRAFIA

1. CUSTODIO, E., y otros: "Galerías de agua, zanjas de drenaje y pozos excavados". Capítulo 17.8 de "Hidrología subterránea", por E. Custodio y M. R. Llamas. Ediciones Omega, vol. II, pág. 1791-1808. Barcelona, 1976.
2. LLAMAS, M. R.: "La utilización de aguas subterráneas en Madrid: de los "mayrat" musulmanes a los modelos digitales. Estudios geológicos", volumen 32, págs. 121-139. Madrid, 1976.
3. ARDEMANS, T.: "Fluencias de la tierra y curso subterráneo de las aguas". Imprenta de Francisco del Hierro. Madrid, 1724.
Véase un análisis de esta obra en Davis, S. N.: "Teodoro Ardemans, pioneer water supply engineer of Spain". Water Resources Bull., vol. 9 págs. 1028-1034, 1973.
4. MARTINEZ-GIL, J.: "Notas sobre la historia de la Hidrogeología española". Agua, núm. 67, páginas 35-43, y núm. 68, págs. 30-48. Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona, 1971.
5. MORAGAS, G.: "Corrientes subálveas: estudio general sobre el régimen de las aguas contenidas en terrenos permeables e influencia que ejercen los alumbramientos por galerías o pozos y especial del régimen o corriente subterránea del delta acuífero del Besós". Anales de la Revista de Obras Públicas, 133 págs. Madrid, 1896.
6. LLAMAS, M. R.: "Concepto de Hidrogeología", capítulo 5.1 de "Hidrología subterránea", por E. Custodio y M. R. Llamas. Ediciones Omega, vol. 1, páginas 249-258. Barcelona, 1976.
7. VILARO, F.: "El papel de las aguas subterráneas en el Pirineo Oriental". Hidrología, núm. 4, páginas 33-52. Madrid, abril 1971.
8. COMA, J.: "Las aguas subterráneas en el Plan Nacional de Minería". Hidrología, núm. 4, páginas 61-75. Madrid, abril 1971. Actualización en: Coma, J.: "El Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas". Hidrología, núm. 5, 15-16, páginas 85-104. Madrid, enero-abril 1974.
9. SAHUQUILLO, A.: "La labor del Servicio Geológico de Obras Públicas en la investigación de aguas subterráneas". Hidrología, núm. 19. Madrid, enero 1975.
10. LLAMAS, M. R.: "Los estudios regionales de recursos hidráulicos totales". Boletín Informativo del Ministerio de Obras Públicas. Madrid, marzo 1968.
También en: LLAMAS, M. R.: "Importancia de la utilización de los embalses subterráneos en España". Boletín 29 del Servicio Geológico de Obras Públicas, págs. 15-36. Madrid, septiembre 1968.
11. HERAS, R.: "Inventario, estudio y planificación de recursos hidráulicos en España y los balances hidráulicos de carácter nacional". Hidrología, páginas 79-181. Madrid, julio-octubre 1973.
12. MARTIN MENDILUCE, J. M.: "Las disponibilidades de recursos hidráulicos en España y el papel real de las aguas subterráneas". Hidrología, págs. 1-229. Madrid, abril-julio 1975.
13. VILARO, F., y cols.: "Plan hidrológico del Pirineo

- Oriental". Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. 140 págs. Barcelona, 1972.
14. CUSTODIO, E.: "Geohidrología de terrenos e islas volcánicas". Publicaciones del Centro de Estudios Hidrográficos. 250 págs. Madrid, 1976.
 15. CUSTODIO, E.: "Contribuciones al conocimiento geohidroquímico de la isla de Lanzarote (Canarias, España). Simposio Internacional sobre Hidrología de Formaciones Volcánicas. DGOH-UNESCO. Sección IV. Arrecife de Lanzarote, 1974 (en prensa).
 16. SAHUQUILLO, A., y LOPEZ GARCIA, J.: "Posibilidades de utilización de los acuíferos como embalses de regulación interanual: Aplicación a la cuenca del Duero". Simposio Nacional de Hidrología. 24 páginas. Valencia, 1976.
 17. SAHUQUILLO, A.: "Conjunctive use of the Tajo-Segura aqueduct surface system and the aquifers of the Mancha area". International Symposium of Models in Hydrology. Varsovia, 1973. IASH-UNESCO, volumen II, págs. 1017-1022 (1975).
 18. PALLARDO, A.: "Legislación de aguas". Sección 21, "Hidrología subterránea", por E. Custodio y M. R. Llamas, vol. II, págs. 2089-2138. Ediciones Omega. Barcelona, 1976.
 19. MARTIN-ARNAIZ, M.: "El agua, factor importante en el desarrollo económico y social". Agua, núm. 80, páginas 10-22, y núm. 81, págs. 25-35. Barcelona, 1973.
 20. SAENZ-OIZA, J., y otros: "Estudio científico de los recursos de agua de las islas Canarias". MOP-PNUD-UNESCO. Madrid, 1975.
 21. CUSTODIO, E.: "Pluridisciplinaridad de los estudios, tecnología y profesión del agua subterránea". Simposio Nacional de Hidrogeología. Asociación Nacional de Geólogos. 15 págs. Valencia, 1976.