

EL NECESARIO APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ESPAÑA

MANUEL RAMÓN LLAMAS MADURGA
Real Academia de Ciencias

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El agua, esencial para la existencia de cualquier tipo de vida, desempeña un papel destacado en muchas actividades propias de los seres humanos, de la agricultura a la industria, del abastecimiento de agua potable a los usos recreativos. Dentro del ciclo hidrológico, las aguas subterráneas son fundamentales tanto como fuente de agua potable para la sociedad, como para el mantenimiento de muchos ecosistemas acuáticos.

La hidrogeología, o estudio de las aguas subterráneas, es una ciencia muy joven. El uso intensivo de las aguas subterráneas comenzó apenas hace tres o cuatro decenios. Por ello, no puede extrañar que todavía existan multitud de *hidromitos* o conceptos erróneos que afecten a su gestión. Las aguas subterráneas siguen siendo un recurso mal comprendido y, a menudo, olvidado. Su adecuada utilización requiere un importante esfuerzo de educación y divulgación y una gestión conjunta con las aguas superficiales, dentro de un marco de gestión más abierto y participativo.

El objetivo principal de este artículo es presentar una visión del papel que en la actualidad representan las aguas subterráneas en la política del agua. Tras un repaso histórico de la evolución de los aprovechamientos de las aguas subterráneas, se pone el énfasis en el análisis de los acuíferos más intensamente aprovechados, los que en la terminología oficial suelen denominarse *acuíferos sobreexplotados*. Se verá que ésta es una terminología confusa. El concepto de sobreexplotación debe entenderse a partir de un análisis comparativo de los beneficios y costes derivados de la explotación intensiva de las aguas subterráneas. En este sentido destaca el caso especial de la explotación de aguas subterráneas no renovables. A continuación se muestra cómo la inadecuada atención prestada a las aguas subterráneas es la causa radical de los actuales conflictos hídricos en España. De ello se deriva la imperiosa necesidad de conseguir «de facto» una mejor gestión de las aguas subterráneas para evitar el fracaso del Plan Hidrológico Nacional.

Este artículo es fundamentalmente una actualización y resumen de dos artículos y dos libros publicados recien-

temente por el autor (cf. Llamas *et al.*, 2000; Llamas, 2001a, Llamas, 2001b y Llamas *et al.*, 2001).

BOSQUEJO HISTÓRICO DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La utilización de la descarga natural de acuíferos en manantiales se remonta a tiempos primitivos. El hombre fue mejorando su aprovechamiento mediante la excavación de zanjas, pozos y galerías subterráneas.

Los exponentes más claros de la utilización de las aguas subterráneas en la antigüedad fueron los *khanats*, grandes sistemas de galerías filtrantes inicialmente desarrollados en Asiria y Persia, y posteriormente en Armenia y Egipto.

No es hasta la Edad Media cuando comienza a disfundirse la perforación a percusión en Europa. Para ello fue clave el descubrimiento de los pozos surgentes. La perforación de este tipo de pozos tuvo un especial desarrollo en la región de Artois, en Francia, de donde proviene la utilización del término «pozo artesiano» como sinónimo de pozo surgente.

La técnica de la perforación a percusión no alcanzó hasta finales del siglo XIX, y debido a la prospección de pe-



Fig. 1.— Fuente del Rey (Madrid). Contaminada. (Foto: M. R. Llamas, 1983).

tróleo, profundidades superiores a 300 m. En lo que a España respecta, pueden encontrarse pozos excavados de hasta 300 m de profundidad en Canarias, construidos a finales del siglo XIX o principios del XX.

La utilización de las aguas subterráneas no se ha caracterizado por el aspecto social colectivo que tradicionalmente ha acompañado a las iniciativas sobre aguas superficiales. Los aprovechamientos subterráneos fueron –y son– frecuentemente unifamiliares o individuales y su funcionamiento no requiere, por lo general, establecer compromisos o acuerdos con otros usuarios de la misma zona.

A lo largo del siglo XX se han producido tres hechos que han motivado un fuerte incremento en el consumo de agua a escala mundial: el crecimiento de la población, que ha pasado de unos 1 600 millones de personas a principios de siglo a unos 6 000 millones en la actualidad; el desarrollo industrial, y por último, la expansión de la agricultura de regadío, que ha pasado de unos 50 millones de hectáreas regadas a principios de siglo a más de 250 millones de hectáreas en la actualidad. La conjunción de estos factores principales ha hecho que el uso de agua dulce se haya multiplicado por siete en este tiempo.

Este gran crecimiento de la demanda ha podido ser satisfecho gracias, en buena medida, al espectacular desarrollo de las aguas subterráneas desde mediados del siglo XX. Entre los principales factores que han contribuido a ello pueden citarse:

- a) La invención de la bomba de turbina, que permite extraer fácilmente agua desde grandes profundidades, y con caudales de hasta centenares de litros por segundo.
- b) La mejora y abaratamiento de las técnicas de perforación de pozos.
- c) El progreso de la ciencia hidrogeológica, que permite hoy día tener un buen conocimiento sobre el origen, movimiento y localización de las aguas subterráneas.

En la actualidad, el volumen de agua subterránea extraída a escala mundial se estima en torno a los 600 o 700 km³/año, de los que aproximadamente el 70% están destinados a usos agrícolas, el 25% a usos urbanos y un 5% a usos industriales. Las variaciones son, lógicamente, muy grandes de unos países a otros. Aunque su utilización es predominante en el regadío, su uso para satisfacer la demanda de agua potable es esencial en muchas regiones. Aproximadamente la mitad del agua de uso urbano en el mundo es de origen subterráneo.

Los mayores incrementos en las últimas décadas en la utilización de aguas subterráneas se han producido en países en vías de desarrollo con clima árido o semiárido, como, por ejemplo, Arabia Saudí, Egipto, Libia o Túnez. En estos países se está recurriendo a la denominada *minería del agua subterránea*, pues la parte predominante del recurso utilizado es de carácter no renovable.



Fig. 2.- Colocación de la rejilla de un pozo profundo para el abastecimiento de Madrid. (Foto: García Agustín, 1974).

La información existente sobre los usos del agua en general, y de la subterránea en particular, es bastante deficiente. Lo ideal sería tener relacionado cada uso (agricultura, usos urbanos, industria, energía) con su procedencia (superficial o subterránea), pero en muchos países no se dispone de estos datos, y cuando existen, su calidad suele ser dudosa. La terminología utilizada sobre recursos y usos de agua es a menudo ambigua, y en ocasiones contradictoria. Esto ha de tenerse en cuenta a la hora de valorar las cifras existentes, que en muchas ocasiones pueden transmitirnos una *ilusoria precisión*.

En España se estima la extracción anual de aguas subterráneas en unos 5 500 Mm³ (MIMAM, 2000), de los que el 80% se utilizan en regadíos y el resto en usos urbanos (17%) e industriales (3%).

A pesar del espectacular desarrollo que han tenido los aprovechamientos de aguas subterráneas en el último medio siglo, este recurso rara vez ha sido tenido en cuenta adecuadamente por los responsables de la política del agua. El caso de España es, en este sentido, paradigmático.

En España no se realizó la primera evaluación cuantitativa de los recursos y reservas de aguas subterráneas hasta los años sesenta, y ésta ni siquiera fue publicada en do-

cumentos oficiales. En la década de los setenta se publicaron otras evaluaciones por el Instituto Geológico y Minero de España y otros autores. El anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional de 1993 incluía una evaluación de los recursos de aguas subterráneas, y de sus usos y problemas, lo que supuso un avance en relación con la situación anterior, aunque presentaba errores notables. El Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 2000) trata más extensamente la problemática de las aguas subterráneas y actualiza su evaluación. Sin embargo, en opinión frecuente entre los miembros del Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE, 1999), todavía presenta notables deficiencias.

En los últimos treinta años ha habido avances significativos en la consideración de las aguas subterráneas en la política nacional del agua en España, pero la situación todavía dista bastante de ser aceptable. El proyecto de investigación realizado por la Fundación Marcelino Botín desde 1998 ha contribuido significativamente a objetivar el papel que las aguas subterráneas tienen en la economía y en la ecología española (cf. Llamas *et al.*, 2000; Custodio, 2000; Llamas *et al.*, 2001). Posiblemente estos trabajos contribuyeron eficazmente a los relevantes cambios introducidos en la versión definitiva del Plan Hidrológico Nacional (*BOE*, 6 de julio de 2001) en relación con la propuesta inicial presentada por el Ministerio de Medio Ambiente al Consejo Nacional del Agua en septiembre de 2000 (cf. Llamas, 2001b).

EL USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: EL CONCEPTO DE SOBREEXPLORACIÓN

Cualquier consideración sobre la sostenibilidad en el uso de los recursos subterráneos conlleva necesariamente un análisis del concepto de sobreexplotación (*overdraft, safe yield, sustainable yield*). En este sentido, algunos autores destacan la confusión que existe en torno al mismo (Bredehoeft, 1997; Custodio, 2000; Foster, 2000; Llamas, 1992; Sophocleous, 1997). Entre las ideas erróneas más habituales destacan las siguientes:

- a) La consideración de la recarga media de los acuíferos como una constante, cuando se ha demostrado que la recarga puede resultar afectada de forma importante (normalmente al alza) por la explotación de los acuíferos.
- b) La interpretación errónea de la tendencia a un descenso en el nivel piezométrico como una indicación evidente de extracción de agua subterránea por encima de los recursos renovables, olvidando que se puede estar en una situación de régimen transitorio hacia un nuevo estado de equilibrio.

Dada la dificultad de definir el concepto en términos hidrogeológicos, una posibilidad es definir como acuífero sobreexplotado aquel en que los costes económicos, socia-

les y medioambientales derivados de su utilización intensiva son mayores que los beneficios que genera.

A continuación se tratan distintos aspectos que deberían tenerse en cuenta a la hora de realizar este análisis comparativo, tal como se presentan en Llamas *et al.* (2000).

BENEFICIOS DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los beneficios derivados del uso de las aguas subterráneas son de tipo económico, social, hidrológico y ecológico.

Abastecimientos

Las aguas subterráneas son fuente de agua potable para la mitad de la población mundial. El fácil acceso a dicho recurso ha facilitado la disponibilidad de agua potable a amplios sectores de la población mundial. Esto ha sido particularmente importante en países en vías de desarrollo. En algunas zonas, la dependencia de las aguas subterráneas como fuente de agua potable es mucho mayor, particularmente en áreas rurales y de población dispersa sin acceso a redes urbanas de distribución. Así, por ejemplo, en determinados estados de Estados Unidos más del 80% de la población se abastece de pozos. En la India rural, el 80% de la población cubre sus necesidades domésticas con aguas subterráneas. En España, el 22% de los municipios de más de 20 000 habitantes se abastecen de aguas subterráneas, mientras que al menos el 70% de los municipios menores utilizan las aguas subterráneas como fuente de agua potable (MIMAM, 2000).

Usos industriales

El agua subterránea es también importante para muchas industrias. Supone una fuente de agua fiable y continua, evita los riesgos de corte de suministro en tiempos de sequía y es más económica.

Regadío

En muchos países áridos y semiáridos, como España, el principal uso del agua subterránea es el regadío. A escala mundial, el 70% de las extracciones se destinan al regadío. Al igual que en el caso de los usos industriales, las aguas subterráneas constituyen un factor de producción generador de riqueza y empleo.

Existen todavía pocos estudios específicos que analicen el papel económico que las aguas subterráneas desempeñan en el regadío. Los análisis disponibles apuntan a una mayor productividad de los regadíos con aguas subterráneas respecto a aquellos que utilizan aguas superficiales.

Un estudio realizado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía en 1999 ponía de manifiesto que, en Andalucía, los regadíos con aguas subterráneas

son 3.4 veces más productivos y generan casi el doble de empleo, por unidad de superficie regada, que los regadíos con aguas superficiales. La parte superior de la tabla I muestra sus resultados. Hay que tener en cuenta que este estudio calcula la dotación media a partir de los volúmenes de agua aplicados en cada explotación agraria. En el caso de las aguas superficiales, estas dotaciones son sensiblemente inferiores a las realmente tomadas en los embalses, debido a las pérdidas que se producen a lo largo de los canales de distribución.

Tabla I. Comparación del regadío con aguas superficiales y subterráneas en Andalucía

indicador para el regadío	origen del agua de los regadíos			relación subterránea/superficial
	subterránea	superficial	conjunta	
superficie (10^3 ha)	210	600	810	0.35
dotación media en parcela (m^3/ha)	4 000	5 000	4 700	0.8
producción específica (10^3 pta./ha)	1 500	550	800	2.7
producción total (10^9 pta.)	300	325	625	0.9
productividad del agua (pta./ m^3)	360	110	160	3.3
empleo generado (UTA/ 100 ha)	23	13	15	1.8
empleo total (10^6 UTA)	50	75	125	0.67
dotación media en origen (m^3/ha)	4 000	7 400	6 500	0.54
productividad del agua (pta./ m^3) ³	360	70	120	5.1
empleo generado (UTA/ $10^6 m^3$) ³	58	17	25	3.4

Fuente: Llamas et al. (2000).

A diferencia del trabajo de la Junta de Andalucía, el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 2000) considera la dotación media en cabecera y estima unas dotaciones medias, sin diferenciar entre aguas superficiales y subterráneas, de 6 704 y 6 499 m^3/ha por año para las cuencas del Sur y del Guadalquivir, respectivamente, aquellas en las que se enmarca principalmente el trabajo de la Junta de Andalucía. Podemos asumir que las dotaciones en parcela para aguas subterráneas estimadas en el trabajo de la Junta (3 981 m^3/ha por año) son bastante aproximadas, ya que se producen pocas pérdidas en la distribución. Si se utiliza este dato y los de dotación conjunta que da el Libro Blanco, se pueden calcular unas dotaciones medias más realistas de 7 364 m^3/ha por año para los regadíos con aguas superficiales.

Como puede verse en la parte inferior de la tabla I, la productividad de las aguas subterráneas resulta ser así cinco veces superior a la de las aguas superficiales. Se puede observar también la relación entre los empleos generados por metro cúbico de agua consumido, que son más del triple para las aguas subterráneas.



Fig. 3.- Medición del nivel del agua en un pozo en La Mancha. (Foto: M. R. Llamas, 1995).

Este estudio para Andalucía confirma la hipótesis mantenida por diversos autores, en el sentido de que la productividad económica obtenida por metro cúbico de agua utilizada con los regadíos de aguas subterráneas en España es del orden de cuatro o cinco veces mayor que la obtenida con aguas superficiales. Parece que la hipótesis también puede aplicarse a otros países. Así, por ejemplo, se estima que las aguas subterráneas son responsables del 70-80% de la producción agrícola en la India, mientras que únicamente aportan el 30% del agua dedicada al regadío. Es decir, el rendimiento económico de un metro cúbico de agua subterránea es unas seis veces más alto que el de un metro cúbico de agua superficial.

En la tabla II se presenta una visión comparativa de los regadíos en España y Andalucía, en la que se puede ver la importancia relativa de estos últimos en el total nacional. En las publicaciones oficiales consultadas no hay

Tabla II. Comparación de los regadíos de España y Andalucía

indicador	España		Andalucía	
	España	Andalucía	España	Andalucía
superficie ($10^3 km^2$)			505	87
población (10^6 hab.)			39	7
indicador regadío	aguas superficiales		aguas subterráneas	
	España	Andalucía	España	Andalucía
superficie (10^3 ha)	2 400	600	1 000	210
dotación media (m^3/ha)	8 200	7 400	4 800	4 000
dotación total (km^3)	20	4.4	4.5	0.85
producción específica (10^3 pta./ha)	?	550	?	1 500
producción total (10^9 ptas.)	?	325	?	300
empleo (UTA/ 100 ha)	?	13	?	23
empleo total (10^3 UTA)	?	75	?	50
			600	125
			1 200	1 500
			625	

Fuente: Llamas et al. (2000).

información que diferencie entre las productividades y los empleos obtenidos en regadíos con aguas superficiales o con subterráneas. Los valores han sido obtenidos a partir de datos recogidos de forma más o menos dispersa en diversas publicaciones oficiales, procurando confrontar varias fuentes. En ocasiones existen diferencias entre las distintas fuentes para los mismos datos. Conviene tener en cuenta que en algunas ocasiones los datos están agregados por comunidades autónomas, mientras que en otros casos los datos están desglosados por cuencas hidrográficas. Para el caso de Andalucía, la superficie de la comunidad autónoma comprende, de forma aproximada, el conjunto de las cuencas del Sur, Guadalquivir y Guadiana II. Los límites no coinciden exactamente, lo que en algunos casos puede justificar pequeñas diferencias en los datos.

La mayor productividad de las aguas subterráneas no debe atribuirse a una superioridad intrínseca de las mismas. Las causas se deben buscar en el mayor control y garantía de suministro que proporcionan, especialmente en tiempo de sequía, y en el mayor dinamismo que ha caracterizado al agricultor que ha buscado fuentes propias de agua, y que ha soportado los costes totales de su captación, bombeo y distribución. Estas hipótesis, formuladas al comienzo del Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín, quedaron ampliamente confirmadas en las siguientes etapas del proyecto (cf. Llamas *et al.*, 2001; Hernández-Mora y Llamas, 2001; Martínez y Llamas, 2000).

Beneficios hidrológicos

Otro de los beneficios potenciales de la explotación de las aguas subterráneas es el incremento de la recarga neta de aquellos acuíferos que en condiciones naturales tienen el nivel freático próximo a la superficie del terreno. El descenso de dicho nivel, como consecuencia de los bombeos, puede traducirse en:

- Una reducción de la evapotranspiración.
- Un incremento de la recarga proveniente de la precipitación directa que era rechazada en condiciones naturales.
- Un incremento de la recarga inducida desde las corrientes de aguas superficiales.

Un ejemplo de esta situación es el aumento de los recursos disponibles debido a una explotación intensiva de aguas subterráneas en el alto Guadiana, donde se ha estimado que el aumento medio de los recursos en la actual situación, perturbada por el bombeo intensivo, puede ser del orden de un tercio de los recursos medios disponibles en condiciones no perturbadas. Como se indica en el siguiente capítulo, es importante tener en cuenta la afección negativa que la caída del nivel freático puede tener sobre los ecosistemas acuáticos dependientes.

Beneficios ecológicos

Por último, cabe destacar los potenciales beneficios ecológicos que pueden resultar de la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas. Una buena gestión conjunta puede eliminar la necesidad de construir nuevas infraestructuras hidráulicas, conservando de este modo la integridad hidrológica y ecológica de ríos y arroyos.

IMPACTOS DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como se ha dicho, los beneficios anteriores han de ser valorados y comparados con los posibles efectos negativos derivados de la explotación de las aguas subterráneas. Se pueden clasificar en cinco grupos estos posibles efectos negativos (Llamas *et al.*, 2000).

Descenso de los niveles piezométricos

Los descensos progresivos y continuados del nivel de agua en los pozos de bombeo pueden conducir a un descenso de los caudales obtenidos o incluso al secado de los pozos. Además, el aumento de los costes energéticos, debidos a la extracción del agua a mayor profundidad, puede hacer económicamente inviable la explotación de los pozos.



Fig. 4.- Medición de la humedad del suelo en La Mancha. (Foto: M. R. Llamas, 1993).

A menudo se tiende a considerar como sobreexplotado un acuífero en el que se aprecia una tendencia de descenso de niveles durante una serie de años, sin considerar aspectos esenciales como las características hidrogeológicas y el tamaño del acuífero o la secuencia climática.

Así, debe considerarse que, cuando se bombea en un acuífero libre y extenso, el tiempo necesario para alcanzar una nueva situación de equilibrio de los niveles piezométricos puede ser del orden de décadas o siglos, o incluso milenarios si la transmisividad es muy baja (Custodio, 2000; Bredehoeft *et al.*, 1997). Por otra parte, si el acuífero es confinado y de gran extensión, los descensos de niveles no

suponen una disminución importante del almacenamiento, sino un cambio en las condiciones elásticas del sistema.

Con respecto a la secuencia climática, hay que tener en cuenta que en países semiáridos, como España, la recarga puede ser significativa sólo cada cinco o diez años. El descenso continuo de niveles durante un periodo seco, con valores muy bajos de la recarga y altos de los bombeos, puede no ser representativo de una situación a largo plazo.

Degradación en la calidad del agua subterránea

El problema de la calidad del agua subterránea y su protección contra la contaminación van a ser elementos claves en su gestión durante las próximas décadas (Llamas *et al.*, 2001). En este sentido, ya una declaración oficial de la Unión Europea (DOCE, 25, noviembre, 1996) señalaba que la contaminación de las aguas subterráneas era el principal problema de la política del agua en Europa. La descontaminación de un acuífero suele ser un proceso muy largo y costoso, y a veces prácticamente imposible.

Los factores que pueden producir un deterioro en la calidad del agua subterránea no están relacionados, en su mayor parte, con la extracción del recurso, sino que se deben a otras causas, como la utilización de productos químicos en la agricultura o las filtraciones de residuos de actividades urbanas, industriales y mineras.

En los casos en que el deterioro es ocasionado por la explotación de las aguas subterráneas, el problema suele deberse a una inadecuada ubicación de las captaciones, y no necesariamente a la cantidad de agua subterránea extraída (Custodio, 2000). Esto suele suceder en zonas costeras de regiones áridas o semiáridas, en las que el cambio de gradiente hidráulico debido a los bombeos puede originar la intrusión de agua salina. Las soluciones técnicas para combatir esta intrusión han sido ensayadas con éxito y desde hace varias décadas en diversas regiones del mundo, entre las que destacan California e Israel.

Problemas de subsidencia o colapso del terreno

La extracción de agua subterránea puede producir cambios en el estado tensional del terreno que, de forma ocasional, originen o contribuyan a crear problemas de subsidencia o colapso.

En el caso de acuíferos kársticos, el descenso o la oscilación del nivel piezométrico puede producir el colapso de las cavidades que pudieran existir. La extracción de agua subterránea, con el consiguiente incremento de dichos descensos u oscilaciones, puede contribuir al aumento de los colapsos, cuya predicción certera no es fácil.

En el caso de arcillas o limos depositados recientemente, y por lo general poco consolidados, el bombeo del acuífero produce también un descenso en la presión del agua intersticial, con una consiguiente consolidación progresiva de los sedimentos que puede conducir a una lenta y significativa subsidencia del terreno.

Esta situación se ha producido en algunos acuíferos formados por sedimentos jóvenes, como en Ciudad de México o en Venecia. La importancia de este fenómeno, que generalmente no afecta a zonas muy extensas, suele estar más relacionada con la situación del acuífero que con el valor cuantitativo de la subsidencia. Así, las subsidencias debidas a la extracción de aguas subterráneas en Bangkok o en el golfo de México, en zonas costeras, tienen mayor importancia que la producida en casos como el del Central Valley de California, donde se registraron descensos del terreno de hasta 7 m.

Los problemas de subsidencia o colapso del terreno son muy escasos en España. En los alrededores de los Ojos del Guadiana se han producido fenómenos de subsidencia general y de colapsos localizados. Estos fenómenos han sido consecuencia de la combustión espontánea de las turberas que se formaron en esta antigua zona de descarga del acuífero de La Mancha occidental. El origen de esta combustión está en la desecación total de las turberas y suelos orgánicos como consecuencia de los fuertes descensos del nivel piezométrico.

Aunque la importancia de la subsidencia o la probabilidad de colapsos está relacionada con la disminución en la presión del agua, y ésta a su vez con la cantidad de agua subterránea extraída, la existencia de estos fenómenos frecuentemente se debe más a factores geotécnicos que a una gran extracción de agua en relación con los recursos renovables del acuífero.

Afección a los cursos de agua conectados con el acuífero

La explotación de aguas subterráneas puede, en algunos casos, modificar sustancialmente el funcionamiento hidrogeológico de un sistema. En ocasiones, descensos del nivel piezométrico hacen variar el sentido de la conexión acuífero-río. De este modo, zonas en las que el río era alimentado por la descarga del acuífero se convierten en áreas en las que es el acuífero el que recibe la recarga del río, que puede llegar a secarse completamente, excepto durante períodos húmedos.

Un claro ejemplo de esta situación se da en la cuenca alta del río Guadiana. Los descensos en el nivel piezométrico han desconectado muchos tramos de río que antes recibían la descarga del acuífero y que ahora son *perdedores*, recargando al acuífero. Esto provoca que tramos de los ríos Záncara, Cigüela y Guadiana, que en situación natural llevaban siempre agua, permanezcan secos ahora durante buena parte del año.

Impactos ecológicos en los ecosistemas acuáticos

De modo análogo a lo descrito en el punto anterior, un descenso del nivel piezométrico puede producir afecciones de distinto grado en áreas de importancia medioambiental. Los efectos negativos que pueden producirse son de varios tipos: reducción de caudal o secado de manan-

tiales, disminución de la humedad del suelo a un nivel en el que la vegetación freatofítica no puede sobrevivir, desaparición parcial o total de humedales conectados hidráulicamente al acuífero en situación natural e, incluso, cambios microclimáticos debidos a una reducción de la evapotranspiración. La importancia de estas afecciones requiere un estudio particular en cada caso, que valore todos los efectos considerados, las posibilidades de reversibilidad de la situación y las consecuencias de las posibles opciones, a menudo dificultadas por la existencia de intereses contrapuestos.

La cuenca alta del Guadiana ofrece una clara muestra de afección medioambiental producida por un fuerte descenso de los niveles piezométricos, con la desaparición de manantiales como los que daban lugar a los Ojos del Guadiana y de numerosos humedales en el acuífero de La Mancha occidental.

La evaluación de los posibles impactos y beneficios enunciados es fundamental a la hora de planificar el desarrollo sostenible de las aguas subterráneas, ya que la hidrogeología no sólo permite prever y cuantificar gran parte de estas afecciones, sino que en la mayoría de los casos permite mitigarlas de forma muy importante mediante un correcto planeamiento de las captaciones y de las extracciones.

EL CASO ESPECIAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NO RENOVABLES

Como se ha dicho anteriormente, el concepto de sobreexplotación va asociado al de sostenibilidad. En este sentido, muchos autores consideran que la extracción de agua subterránea no debería exceder los recursos renovables. Sin embargo, en algunas regiones áridas parece claro que las extracciones son más altas que la recarga media, que es prácticamente nula por la escasa precipitación en el área. Éste es el caso de acuíferos situados bajo desiertos de Arabia Saudí, Argelia, Libia, Egipto o Yemen.

En opinión de algunos autores, esta *minería* del agua subterránea supone una actitud carente de ética hacia las siguientes generaciones. Por ejemplo, un autor de la República Sudafricana afirma: «En esencia, el pensamiento actual en el sector es que se necesita desarrollar estrategias para asegurar que los recursos de agua subterránea sean utilizados dentro de su capacidad de renovación. Se reconoce, no obstante, que la cuantificación de los niveles de uso sostenible requiere una amplia investigación».

Por otro lado, otros autores, como Lloyd, sostienen que la visión tradicional de considerar que los países áridos deben desarrollarse en relación con los recursos de agua renovables es errónea, ya que la ética de la sostenibilidad de los recursos de agua a largo plazo debe considerarse desde la perspectiva de continuas mejoras tecnológicas.

Cabe destacar que mientras algunos autores escriben frecuentemente acerca de la insostenibilidad de los recur-



Fig. 5.- Ojos del Guadiana. Situación no perturbada en 1968. (Foto: M. R. Llamas).

sos de agua subterránea, pocos consideran la insostenibilidad de los embalses de aguas superficiales en las regiones áridas, ya que la vida útil de la mayoría de los embalses de África del Norte se sitúa entre cuarenta y doscientos años, debido a su colmatación.

La minería del agua subterránea puede ser una opción racional y ética si se cumplen las siguientes condiciones:

- Llevar a cabo una valoración hidrogeológica correcta que garantice que, con las cifras previstas de extracción, el acuífero puede suministrar agua en un plazo largo, por ejemplo entre cincuenta y doscientos años, la misma vida útil que muchos embalses en África del Norte.
- Analizar con detalle el impacto ecológico producido por la extracción de agua subterránea y la viabilidad económica del proyecto, incluyendo aspectos como los potenciales impactos en zonas del acuífero situadas bajo otros países.
- Informar a los beneficiarios del agua extraída, ya sean agricultores o usuarios urbanos, que se está haciendo una minería del agua y, por lo tanto, que el recurso así obtenido se agotará en un plazo de tiempo determinado.
- Prever nuevos sistemas de suministro de agua, necesarios en el futuro, cuando la extracción de agua subterránea ya no sea posible, como por ejemplo las plantas desaladoras.

En la actualidad hay ciertas regiones en las que se practica la minería del agua subterránea y en las que la primera condición mencionada se cumple, aunque no parece que las otras tres condiciones hayan sido adecuadamente consideradas.

En Arabia Saudí, los principales acuíferos (hasta los 300 m de profundidad) contienen un mínimo de 2 000 km³ de agua dulce. El último periodo lluvioso con una importante recarga natural en esta región se produjo hace unos 20 000-30 000 años. La extracción actual es

de unos 15 o 20 km³/año, por lo que este bombeo podría ser mantenido durante más de cien años. Otros autores consideran que el agua subterránea en el acuífero de las arenas del Nubia, localizado bajo el desierto occidental de Egipto, contiene más de 200 km³ de agua dulce. La extracción máxima proyectada es de 1 km³/año, por lo que este bombeo podría mantenerse sin problemas durante unos dos siglos.

En California, los planes de agua han logrado, desde hace más de tres décadas, el equilibrio entre demanda y oferta mediante la *sobreexplotación* de acuíferos, entendida como bombeo de recursos subterráneos no renovables. Esta teórica sobreexplotación era hace treinta años de unos 5 km³/año. En el último Plan de Agua de California (CWRD, 1998) dicha sobreexplotación ha sido reducida a aproximadamente 1.5 km³/año. No obstante, el concepto y los datos referentes a sobreexplotación son bastante confusos en dichos planes.

Una política hidrológica razonable y ética en lo que se refiere a las aguas subterráneas, especialmente en las regiones supuestamente sobreexplotadas, requiere una mejora significativa, tanto en la obtención de datos hidrogeológicos como en su difusión al gran público.

Un mejor conocimiento de los recursos permitirá tomar decisiones adecuadas, ya que de lo contrario se puede pasar «de un extremo a otro, y las soluciones sugeridas por los defensores de una subexplotación malthusiana de los acuíferos podrían resultar tan dañinas para el desarrollo social como ciertos tipos de explotación excesiva» (Collin y Margat, 1993).

ASPECTOS INSTITUCIONALES DE LOS APROVECHAMIENTOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La importancia que las aguas subterráneas tienen, tanto como fuente de agua potable y de regadío como en el mantenimiento de muchos ecosistemas acuáticos, requiere un análisis detallado de los retos que presenta su gestión. En este sentido destacan cuatro aspectos: la multiplicidad e individualismo de los usuarios; el carácter de las aguas subterráneas como bien de propiedad común; la relativa escasez de datos hidrogeológicos fiables; y las nuevas demandas de la sociedad sobre la gestión de los recursos naturales en general y del agua en particular.

Los aprovechamientos de aguas subterráneas se caracterizan por la existencia de cientos e incluso miles de usuarios que dependen de un mismo acuífero. Su desarrollo ha sido el resultado de la iniciativa particular de individuos, pequeñas o medianas industrias y municipios, con escasa participación del sector público. Esta iniciativa particular otorga un mayor dinamismo a los sectores a los que afecta el uso de las aguas subterráneas, como se vio en el caso del regadío. Sin embargo, la multiplicidad e individualismo de los usuarios dificulta la coordinación de los mismos a la hora de establecer planes comunes de gestión.

Una dificultad añadida deriva de la consideración de los acuíferos como *bienes de propiedad común*. Estos bienes se caracterizan por la dificultad de impedir el acceso al recurso a nuevos usuarios; su carácter de bien consumutivo, de modo que, una vez utilizada una parte del bien, esa parte ya no está disponible para otros usuarios; y la interdependencia entre las actuaciones de los usuarios, que afectan a las posibles actuaciones o aprovechamientos futuros de los demás. La gestión adecuada de este tipo de bienes es difícil, ya que los usuarios, actuando independientemente con la finalidad de maximizar su propia utilidad, no toman en consideración el bien común. Las propuestas han sido tradicionalmente de dos tipos. En un extremo se propone la propiedad individual del recurso, con énfasis en el libre intercambio del mismo (mercado de aguas). En el otro extremo estaría la demanialización de las aguas subterráneas, con el fin de centralizar su gestión en un ente público, ya que los usuarios son incapaces de organizarse para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del recurso.

Al igual que otros autores (Ostrom, 1992), se estima que estas soluciones no son necesariamente apropiadas. La experiencia en diversos países ha demostrado que no es el régimen jurídico de propiedad del recurso lo que garantiza su adecuada administración, sino el modelo de gestión que se establezca.

El carácter individualista del desarrollo de las aguas subterráneas es, en parte, causa del olvido que tradicionalmente han sufrido por parte de los organismos públicos responsables de la administración del agua. El resultado ha sido, en muchos casos, la ausencia de series de datos suficientemente amplios y fiables. Aunque en muchos países existen organismos especializados en la investigación y seguimiento de las aguas subterráneas, la escasez o falta de adecuación de los datos a las necesidades de gestión es todavía uno de los retos fundamentales para su gestión sostenible.

Adicionalmente a las características de las aguas subterráneas que resultan en retos específicos, la gestión del agua en general se enfrenta hoy en día a unas demandas de la sociedad que hacen que los modelos tradicionales necesiten renovarse (Congreso Ibérico, 1998). En este sentido destacan: la necesidad de incorporar la conservación de los ecosistemas acuáticos a las decisiones de gestión, la expectativa de mayores oportunidades de participación efectiva por parte de diversos grupos de interés y del público en general, y la crucial importancia de adaptar los modelos de gestión a las necesidades locales. La evolución de la legislación de aguas en España y su siguiente administración sirve para ilustrar estos retos. Hasta 1985 las aguas subterráneas eran propiedad de aquel que las descubría o alumbraba. En determinados casos, como en el acuífero de La Mancha occidental en el alto Guadiana, la utilización intensiva del mismo por miles de usuarios independientemente había originado el deterioro de importantes humedales y un descenso notable (hasta 50 m) de los niveles freáticos. La Ley de Aguas

de 1985 trató de poner orden en la explotación de las aguas subterráneas mediante la demanialización de las mismas (artículos 1 y 2, Ley 29/1985), otorgando a las confederaciones hidrográficas poderes adicionales, como la posibilidad de declaración de sobreexplotación y la consiguiente regulación de las explotaciones (artículo 54, Ley 29/1985).

Como consecuencia del nuevo régimen jurídico, todos los aprovechamientos de aguas subterráneas existentes antes de la aprobación de la ley deberían registrarse en la confederación hidrográfica correspondiente. Su regularización y catalogación se entendía como condición previa a la explotación sostenible del recurso. Sin embargo, esta regularización no se ha conseguido. De algo más de medio millón de aprovechamientos que el Ministerio de Medio Ambiente estima que existen, únicamente han sido declarados el 60%, y menos del 30% han sido inscritos (MIMAM, 2000).

Un documento del Ministerio de Medio Ambiente estima que la clarificación jurídica de los pozos en acuíferos intensamente explotados exige una inversión del orden de 2 000 millones de pesetas. Por *clarificación jurídica* parecen entenderse las labores de inscribir legalmente las captaciones y determinar qué caudal de agua se puede extraer. En Llamas *et al.* (2000) se indicaba que esa cifra era demasiado baja, pues sólo para la clarificación jurídica de las explotaciones en los acuíferos del alto Guadiana, el Ministerio de Medio Ambiente contrató en 1998 una asistencia técnica por valor de unos 1 000 millones de pesetas. En Llamas *et al.* (2001), como consecuencia de los trabajos realizados en el Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín, se ha estimado que el coste total de la clasificación jurídica será del orden de 70 000 millones de pesetas y su realización requerirá bastantes años.

En lo que respecta a la gestión de los aprovechamientos intensivos, hasta la fecha quince acuíferos han sido declarados provisionalmente sobreexplotados, de los cuales únicamente tres lo han sido de forma definitiva. Independientemente de las declaraciones jurídicas de sobre-explotación, el MIMAM estima que entre 51 y 89 unidades hidrogeológicas presentan problemas derivados de su utilización intensiva (MIMAM, 2000). Sin embargo, la demanialización de las aguas no ha solucionado los problemas derivados de su utilización intensiva. Quince años después de la aprobación de la Ley de Aguas la situación en muchos acuíferos españoles sigue siendo conflictiva, como reconoce claramente el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 2000).

La Ley de Aguas y la Ley del Plan Hidrológico Nacional también contemplan la creación de Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas (CUAS) de manera obligatoria en los acuíferos declarados sobreexplotados. No existen datos para todo el territorio nacional de las CUAS actualmente en funcionamiento, ni sobre su efectividad. Sin embargo, en aquellas zonas donde se han constituido, sigue existiendo un alto grado de conflictividad entre los



Fig. 6.- Ojos del Guadiana en 1990. La zona se ha desecado como consecuencia de los bombeos. (Foto: M. R. Llamas).

usuarios, y entre éstos y la Administración (véase Hernández-Mora y Llamas, 2001).

En cierta medida, puede argumentarse que los cambios introducidos por la Ley de Aguas para mejorar la gestión de las aguas subterráneas fueron aprobados de manera centralizada y sin el necesario debate y consenso por parte de los usuarios. La falta de participación inicial y de cooperación posterior de los usuarios en muchos casos ha supuesto que los cambios introducidos por la nueva ley con respecto a las aguas subterráneas hayan sido prácticamente inoperantes, como viene a reconocer el Libro Blanco del Agua en España. Como una posible vía futura de actuación, en Llamas *et al.* (2000) y Llamas (2001) se propone la potenciación de las CUAS como verdaderas gestoras locales de los acuíferos, en colaboración con la Administración. La Ley del Plan Hidrológico Nacional parece apoyar claramente esta sugerencia.

En este sentido, y de modo muy esquemático, es interesante destacar lo ocurrido en California, donde las aguas subterráneas son esencialmente privadas. Las posibles actuaciones sobre los acuíferos declarados sobreexplotados no corresponden, en general, ni al Department of Water Resources de California ni a la Water Resources Control Board, que son los principales organismos con competencias en materia de aguas. Las actuaciones que exigen una gestión conjunta de las aguas subterráneas corresponden a organismos o asociaciones de ámbito local o regional. En 1994, el Congreso de California aprobó la denominada Ley AB3030, cuyo objetivo es incentivar la creación voluntaria de *groundwater management districts* (distritos de gestión de aguas subterráneas), que continuarán gestionándose en ámbito no estatal. Para algunos, esta falta de planificación central es una causa principal de los problemas del agua en California.

Las características particulares de las aguas subterráneas discutidas en este apartado ponen de manifiesto la necesidad de crear nuevas estructuras de gestión para este tipo de recursos. Estas innovaciones deben ir en el sentido de una mayor participación real por parte de los usuarios, así como en su adaptación a las necesidades y peculiaridades locales. El caso español demuestra que las reformas lega-

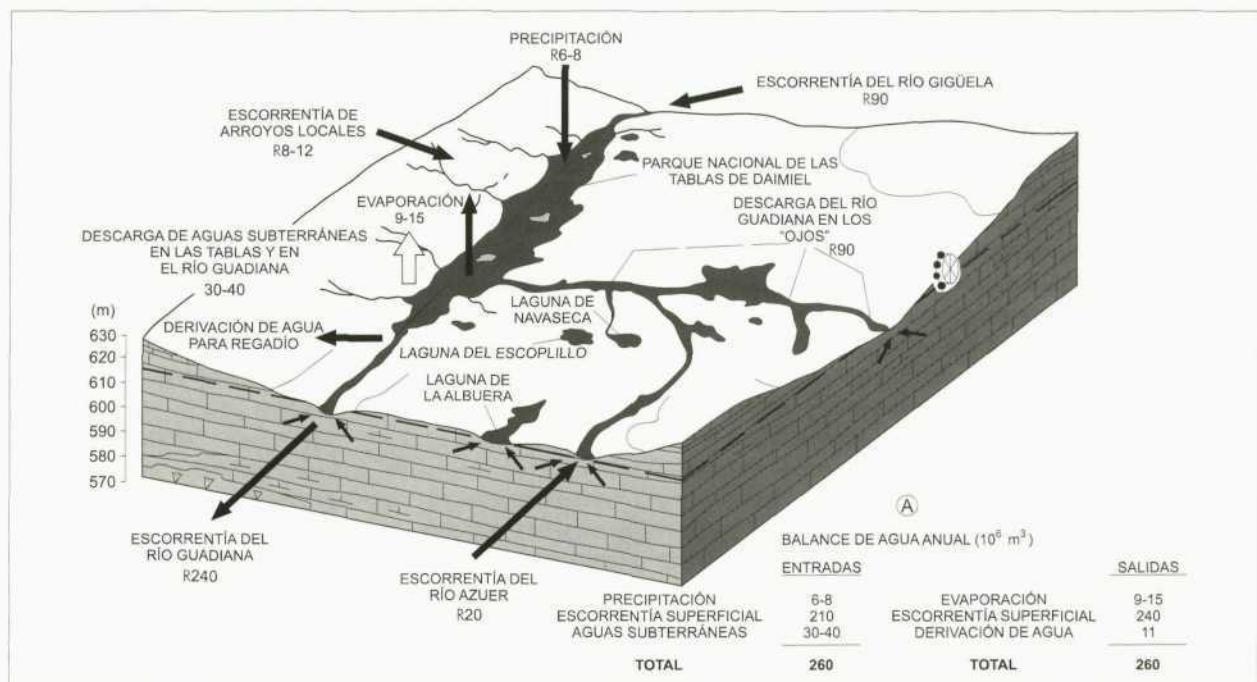


Fig. 7.- Bloque diagrama de la hidrogeología de las Tablas de Daimiel en situación poco perturbada, hacia 1960.

les pueden quedarse en pura teoría si no cuentan con el apoyo de los usuarios. La multiplicidad de usuarios hace esencial ese apoyo, ya que sin él la implementación de las reformas legales es prácticamente imposible.

Por otro lado, para facilitar esta participación es necesario contar con información fiable, y generalmente aceptada, sobre la situación actual y la evolución del recurso. Es necesario establecer redes de control y seguimiento que se adapten a las necesidades de gestión y facilitar la información obtenida a los usuarios y grupos de interés. En este sentido, el esfuerzo que el Ministerio de Medio Ambiente y las confederaciones hidrográficas han iniciado para difundir la información hidrológica a través de Internet puede suponer un avance importante.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO CAUSA RADICAL DE LOS ACTUALES CONFLICTOS HÍDRICOS ESPAÑOLES

En noviembre de 2000 este autor realizó, a petición del Ministerio de Medio Ambiente, un dictamen sobre el anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional presentado al Consejo Nacional del Agua en septiembre del mismo año.

Las cinco conclusiones siguientes sintetizan el contenido de ese dictamen, hecho público en varios foros:

- Continuación de la tradición histórica de una política esencialmente estructuralista que ha llevado a que España sea el país con más grandes presas por habitante (30 presas por cada millón de españoles).
- Generalizada falta de transparencia en los datos sobre el principal usuario del agua en España, el regadío.

- Como consecuencia de ello, en buena parte se han calculado unos déficits hídricos regionales muy exagerados.
- Poca atención a los impactos ambientales, excepto para insistir, con evidente exageración, en que el agua subterránea es un recurso muy frágil.
- Poco énfasis práctico en la necesidad de la participación de los ciudadanos en la gestión del agua, especialmente en las aguas subterráneas, lo que ha llevado a un notable caos jurídico y administrativo, y a la denominada *insumisión hidrológica* por parte de gran número de agricultores. Esta *insumisión* se inició principalmente en el SE, pero, *por contagio*, ya está extendida a muchos otros lugares.

El hecho de que las aguas subterráneas no hayan sido ni entendidas ni atendidas no sólo ha sido la causa principal de la actual situación social conflictiva, sino que puede hacer que el PHN aprobado en el Parlamento en julio de 2001 tenga una efectividad práctica mínima, excepto para aumentar los ingresos de un reducido grupo de españoles a costa de los Presupuestos Generales del Estado, es decir, del dinero de todos los españoles.

EL HIDROMITO DE LA ESPAÑA SEDIENTA

Probablemente la absoluta mayoría de los españoles está de acuerdo en que hay que *dar de beber al sediento*. Es una de las clásicas obras de misericordia de raíz evangélica.

Pero cabe preguntarse, ¿hay realmente sedientos en la España de hoy? La respuesta es claramente negativa. Las ter-

cermundistas restricciones de agua que hubo en la última sequía de 1990-1995 se debieron mucho más a la falta de organización que a la escasez del recurso. Esto se expone con claridad en un reciente número monográfico de la *Revista de la Real Academia de Ciencias* (Martínez y Llamas, 2000). No se puede olvidar que, en el conjunto de España, el agua para abastecimientos urbanos no llega al 15% del total utilizada.

Se dice, sin embargo, que esas zonas sedentarias existen principalmente por las demandas agrícolas. Ahora bien, la agricultura, especialmente la agricultura mediterránea moderna, es esencialmente una actividad económica y, en general, bastante contaminante. Cabe preguntarse hasta qué punto es lógico subvencionar un sector que, en estos momentos, se nutre en una parte muy considerable de emigrantes (legales o ilegales), pues muy pocos españoles quieren trabajar en esas tareas; en el que todavía se hace, en muchos casos, incluida la cuenca del Segura, un uso despilfarrador del agua, especialmente en los regadíos tradicionales, y en los que suele continuar el riego por gravedad.

Se nos dice, y posiblemente con razón, que los acuíferos de la cuenca del Segura han sido esquilados, depredados o sobreexplotados. Pero nadie parece dispuesto a analizar si esto es realmente así y, suponiendo que lo sea, cuál es la causa de esa *depredación*.

La causa es sencilla, como ya se explica en varias publicaciones del Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín (cf. Llamas, Hernández-Mora y Martínez, 2000). Aunque los agricultores paguen su coste directo completo (perforación del pozo, instalación de la bomba, energía y mantenimiento), la extracción de aguas subterráneas suele ser rentable en gran parte de España, y no sólo en las zonas de clima mediterráneo. Basta recordar, por ejemplo, las zonas regadas con aguas subterráneas en Ciudad Real, Albacete, Zaragoza y Valladolid. Lo que ha ocurrido, como en muchas ocasiones ha sido expuesto, es que las confederaciones hidrográficas, en general, han ignorado los aprovechamientos de aguas subterráneas, debido a la formación exclusiva en hidrología superficial de casi todos sus técnicos. A ello se ha sumado la escasez de medios económicos para poner en práctica los cometidos que les asignaba la ley de 1985. La situación actual, especialmente en la cuenca del Segura, aunque no de forma exclusiva, es de caos jurídico y administrativo, unida a una sensación de impotencia por parte de los responsables de la política hidráulica. Son significativas las declaraciones que en 1999 hizo el presidente de la Confederación Hidrográfica del Segura en su comparecencia ante la Comisión de Medio Ambiente del Congreso de los Diputados: «¿Qué quieren ustedes que haga? Yo no puedo poner un guardia civil en cada pozo» (cf. Llamas, 2001b).

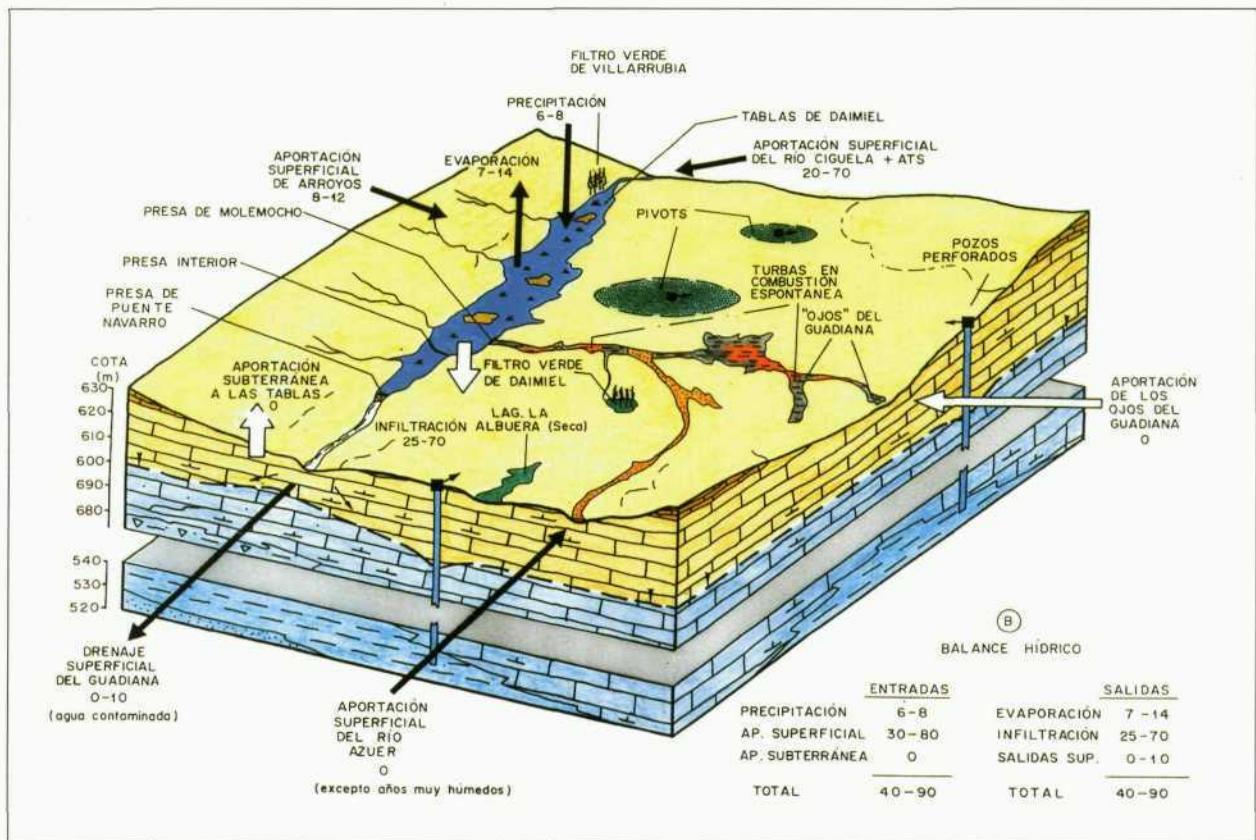


Fig. 8.- Bloque diagrama de la hidrogeología de las Tablas de Daimiel en situación perturbada por la extracción de agua subterránea, hacia 1990.

En síntesis, la aplicación de la Ley de Aguas de 1985, y de su reforma de 1999, no parece que haya tenido una aceptable efectividad para encauzar el uso de las aguas subterráneas.

Varios artículos de la Ley del Plan Hidrológico Nacional, por ejemplo, los 17, 18 y 29, exigen poner orden en este caos de las aguas subterráneas, pero no pocos dudan de la voluntad política de hacerlos cumplir.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL HIDROMITO DE QUE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA NO PUEDE PAGAR EL AGUA DE REGADÍO POR SER COMPETITIVA

En debates en torno al proyecto del Plan Hidrológico Nacional se ha puesto de manifiesto la todavía intensa difusión en España de las ideas de los tiempos de Joaquín Costa, es decir, de hace casi un siglo, en el sentido de que los agricultores no son capaces de pagar los costes reales (financieros y operación) de las obras necesarias para llevar el agua a sus campos. Éstas eran las ideas predominantes en casi todo el mundo hasta hace unos treinta años, cuando en Estados Unidos se desmontó el paradigma conocido vulgarmente como el *Pork Barrel Procedure*. Este paradigma, en España, equivale esencialmente a la aprobación de las denominadas *obras hidráulicas de interés general* (cf. Llamas, 1997 y 1999).

Pues bien, estudios diversos realizados en los últimos cinco o seis años en nuestro país han puesto de manifiesto con nitidez que este paradigma de la incapacidad de los agricultores para pagar el agua no es real, ni en teoría ni en la práctica. La mejor demostración de ello está en que en España los regadíos con aguas subterráneas, que son prácticamente siempre costeados por los agricultores, suelen tener la mejor agricultura. Esto ha sido puesto de manifiesto de forma palmaria en varios de los estudios ya publicados del Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín. Y esto no sólo para los regadíos de Andalucía (véanse tablas I y II), sino también para los regadíos continentales de La Mancha y de Aragón, y para los de la zona de Valencia (cf. Hernández-Mora y Llamas, 2001).

IMPERIOSA NECESIDAD DE CONSEGUIR DE FACTO UNA MEJOR GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA QUE TODO EL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL NO RESULTE UN PAPEL MOJADO

Es muy posible que muchas personas piensen que las cosas no pueden cambiar de modo acelerado, que se requiere un tiempo largo de transición para introducir la moderna cultura del agua, y que la situación económica del país permite continuar haciendo una utilización de las *subvenciones perversas*, pues gran parte de los votantes no entiende aún los nuevos paradigmas o tendencias en la política del agua. Sin duda, ahora todavía hay bastante gente –no bien informada– que considera que viene a dar lo

mismo que España tenga 1 350 grandes presas, en vez de las 1 200 que hay ahora. También mucha gente de la calle sigue pensando que no tiene sentido que el agua del Ebro vaya «inútilmente» al mar.

El problema esencial no reside en que se haga o no el trasvase del Ebro o en que se construyan los 130 nuevos embalses previstos en el PHN. El quid está en que esas soluciones van a resultar casi inútiles debido al caos actual en la gestión de las aguas subterráneas. Este caos se va a mantener, pues la iniciativa privada de los pequeños agricultores españoles es mucho más dinámica que nuestras anticuadas y lentas administraciones hidráulicas. La *insumisión hidrológica* va a continuar mientras no se dé un giro copernicano en la mentalidad de los planificadores del agua. Seguirá esa separación casi total entre el mundo de la administración hidráulica y el mundo de los usuarios del agua subterránea, formado especialmente por pequeños agricultores.

La posible solución a estos problemas está detalladamente expuesta en el libro *Aguas subterráneas: retos y oportunidades* (Llamas et al., 2001), y que por su longitud no se va a reproducir aquí. Esencialmente se basa en *convencer*, y no en *vencer*, a base de promover campañas de educación y de incentivar la creación de entidades para la gestión colectiva de los acuíferos.

CONCLUSIÓN FINAL

Las aguas subterráneas son un importante recurso apenas tenido en cuenta tanto por la sociedad civil como por los planificadores hidrológicos. Ese olvido es una causa subyacente, pero no despreciable, de la crispación social que produjo la presentación del proyecto del Plan Hidrológico Nacional y que ha continuado después de su aprobación como ley.

Evidentemente, el proyecto de ley del Plan Hidrológico Nacional ha sido aprobado de modo democrático y puede iniciarse e incluso llevarse a término la construcción de las grandes infraestructuras previstas (trasvase del Ebro y 130 nuevos embalses). Sin embargo, es poco evidente que ese plan vaya a resolver los problemas de *insumisión* o *caos hidrológico* que existen en el aprovechamiento de aguas subterráneas si no hay un empeño claro de hacer cumplir los artículos que se refieren a ellas. Los agricultores continuarán ignorando la lenta burocracia hidrológica actual. Dentro de diez años, la situación será todavía peor que la actual.

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROGEÓLOGOS-GRUPO ESPAÑOL (AIH-GE), *Jornadas sobre las Aguas Subterráneas en el Libro Blanco del Agua en España*, J. Samper y M. R. Llamas (eds.), Madrid, mayo de 1999, 224 págs.
- BREDEHOEFT, J. D., «Safe yield and the water budget myth», *Ground Water*, vol. 35, n.º 6, 1997, pág. 929.

- CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (CWRD), «The California Water Plan Update», *Bulletin* 160-198, Sacramento, California, 1998.
- COLLIN, J. J., y MARGAT, J., «Overexploitation of water resources: overreaction or an economic reality?», *Hydroplus*, n.º 36, 1993, págs. 26-37.
- CONGRESO IBÉRICO SOBRE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE AGUAS, *El agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua*, Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 1998, 888 págs. Congreso celebrado en Zaragoza el 14-18 de julio de 1998.
- CUSTODIO, E., «The complex concept of overexploited aquifer», *Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas*, serie A, n.º 2, Fundación Marcelino Botín, Santander, 2000, 62 págs.
- FOSTER, S., «Sustainable groundwater exploitation for Agriculture: Current Issues and Recent Initiatives in the Developing World», *Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas*, serie A, n.º 6, Fundación Marcelino Botín, Santander, 2000, 47 págs.
- HERNÁNDEZ-MORA, N., y LLAMAS, M. R. (eds.), *La economía del agua subterránea y su gestión colectiva*, Fundación Marcelino Botín y Mundi-Prensa, Madrid, 2001, 550 págs.
- LLAMAS, M. R., «Wetlands: An important issue in Hydrogeology», *Selected Papers on Aquifer Overexploitation*, vol. 3, Simmers et al. (eds.), Heise, Hannover, 1992, págs. 69-86.
- —, «Declaración y financiación de obras hidráulicas de interés general, mercado del agua, aguas subterráneas, planificación hidrológica», *Ingeniería del Agua*, vol. 4, n.º 3, 1997, 11 págs. Comentarios en relación con el borrador de mayo de 1997 de la reforma de la Ley de Aguas de 1985.
- —, «La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada», *El agua a debate desde la Universidad*, P. Arrojo y F. J. Martínez Gil (eds.), Institución Fernando el Católico (CSIC), Zaragoza, 1999, págs. 79-102.
- —, «Cuestiones éticas en relación con la gestión del agua en España», Discurso de Ingreso en la Real Academia de Doctores, Madrid, 2001a, 85 págs.
- —, «Comentarios para la Comisión de Medio Ambiente del Congreso de los Diputados en relación con la tramitación parlamentaria del proyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional», *El Plan Hidrológico Nacional a Debate*, P. Arrojo (coord.), Editorial Bakeaz, 2001b, págs. 269-285.
- —, HERNÁNDEZ-MORA, N., y MARTÍNEZ, L., «El uso sostenible de las aguas subterráneas», *Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas*, serie A, n.º 1, Fundación Marcelino Botín, Santander, 2000, 54 págs.
- —, FORNÉS, J., HERNÁNDEZ-MORA, N., y MARTÍNEZ CORTINA, L., *Aguas subterráneas: retos y oportunidades*, Fundación Marcelino Botín y Mundi-Prensa, Madrid, 2001, 529 págs.
- MARTÍNEZ CORTINA, L., y LLAMAS, M. R., «La gestión de las sequías en España. Papel de las aguas subterráneas», *Revista de la Real Academia de Ciencias*, vol. 94, n.º 2, Madrid, 2000, págs. 205-219.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (MIMAM), *El Libro Blanco del Agua en España*, Secretaría de Estado para Aguas y Costas, Madrid, 2000, 900 págs. aprox.
- Ostrom, E., *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, 275 págs.
- SOPHOCLEOUS, M., «Managing water resources systems: why 'safeyield' is not sustainable», *Ground Water*, vol. 35, n.º 4, 1997, pág. 361.