

USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS  
Aspectos éticos, tecnológicos y económicos  
Serie A, N° 1

**EL USO SOSTENIBLE  
DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

M. Ramón Llamas  
Nuria Hernández-Mora  
Luis Martínez Cortina

PAPELES DEL PROYECTO AGUAS SUBTERRÁNEAS

**M. Ramón Llamas.** Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Doctor en Ciencias Geológicas. Actualmente es Catedrático de Hidrogeología en la Universidad Complutense de Madrid y Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Trabajó durante quince años como Ingeniero de Caminos en el Ministerio de Obras Públicas. Luego se dedicó plenamente a la investigación y a la enseñanza universitaria. Ha impartido cursos regulares en siete universidades españolas y americanas. Es autor o co-autor de más de cuarenta libros o monografías y de unos trescientos artículos científicos. Fue Presidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (1984-89). Miembro de la Junta Directiva de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos. Coordinador del Grupo de Trabajo de la UNESCO sobre la Ética de los Usos del Agua. Miembro de la WATER COMMISSION de la fundación británica WORLD HUMANITY ACTION TRUST.

**Nuria Hernández-Mora.** Licenciada en Ciencias Económicas y Empresariales (ICADE, Madrid). Master en Política de Gestión de Recursos Naturales (Cornell University, Ithaca, N.Y. USA). Master (in progress) en Gestión de Recursos Hídricos (University of Wisconsin, Madison, USA). Colaboró con las ONGs *The Nature Conservancy* y *1000 Friends of Wisconsin*. Fue investigadora en el proyecto GRAPES (Groundwater and River Action Programme on a European Scale) de la Unión Europea. En la actualidad es colaboradora del Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín.

**Luis Martínez Cortina.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Trabajó en proyectos de estaciones depuradoras de aguas residuales, y en estudios de hidrogeología dentro de la cuenca alta del río Guadiana. Colaborador en los proyectos de investigación hidrogeológica EFEDA y GRAPES (Unión Europea). Co-autor del libro «De la noria a la bomba» En la actualidad es colaborador del Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín.

---

Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas  
José Javier Clúa, Director

Depósito legal: M. 6.073-2000

Impreso en REALIGRAF, S.L. Madrid, enero de 2000

---

**CONTENIDO**

RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	7
BOSQUEJO HISTÓRICO DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	8
EL USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: EL CONCEPTO DE SOBREEXPLOTACIÓN .....	11
Beneficios del aprovechamiento de las aguas subterráneas, 12 Impactos del aprovechamiento de las aguas subterráneas, 18	
EL CASO ESPECIAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NO RENOVABLES .....	22
ASPECTOS INSTITUCIONALES DE LOS APROVECHAMIENTOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	25
LA <i>HIDROESQUIZOFRENIA</i> COMO OBSTÁCULO AL DESARROLLO RACIONAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ..	30
Los conceptos erróneos o hidromitos relacionados con el agua, 30 Las subvenciones perversas, 33 La falta de educación hidrogeológica, 34 La organización legal/administrativa, 35 La invisibilidad y falta de valor estético de las aguas subterráneas, 35	
ALGUNAS SOLUCIONES PARA LOGRAR UN DESARROLLO SOSTENIBLE .....	36
El uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, 36 Información y Educación, 37 Participación, 40 Técnicas de resolución de conflictos, 43	
CONCLUSIONES .....	44
BIBLIOGRAFÍA .....	47

**Palabras clave:**

agua subterránea  
sobreeplotación  
uso intensivo  
uso conjunto  
gestión sostenible

## **EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

### **RESUMEN:**

Las aguas subterráneas han sido históricamente un recurso poco conocido y mal entendido en muchos países, tanto por los organismos encargados de formular la política de aguas como por el público en general. El resultado hasta hace pocos decenios fue su escasa utilización y, en muchos casos, su pobre administración. El espectacular desarrollo que ha experimentado la utilización de las aguas subterráneas en la segunda mitad de este siglo ha sido llevado a cabo por particulares, con escasa participación del sector público. Este desarrollo no ha estado planificado, por lo que, a pesar de traer importantes beneficios, también ha acarreado en ocasiones problemas significativos. Lo que la vigente legislación española define como sobreexplotación de acuíferos, no es sino la expresión legal y administrativa con la que se pretenden resolver los problemas creados por una deficiente administración de las aguas subterráneas. Una adecuada gestión de los recursos hídricos de un país suele requerir la gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas. Resulta necesario mejorar los aspectos relacionados con la educación y la información hídricas, para permitir un mejor conocimiento del papel que las aguas subterráneas desempeñan, así como establecer modelos participativos que garanticen su adecuada gestión.

*ABSTRACT:*

*Groundwater resources have historically been a barely known and largely misunderstood resource, both by water managers and the public-at-large. The result is their being underutilized and, in many cases, poorly managed. The spectacular development of groundwater resources that has taken place over the past few decades has been driven by private interests, with little involvement of the public sector. This development has for the most part been unplanned, resulting in significant problems. The concept of overexploitation is the legal and/or administrative expression of the problems that result from aquifer mismanagement. Adequate management of a region's water resources requires the conjunctive management of surface and groundwater resources. Significant educational efforts are necessary to educate policy makers and the public-at-large about the role of groundwater. It is also important to develop institutional models that allow for the effective participation of all users and stake-holders in decision-making processes in order to guarantee sustainable management of the resource.*

---

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El agua, esencial para la existencia de cualquier tipo de vida, juega 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*. Veremos que es ésta 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 discuten las características particulares de las aguas subterráneas que presentan retos para su gestión sostenible. Tras un intento de aclarar las causas de la escasa atención que se ha dado a las aguas subterráneas, se hacen propuestas para mejorar su gestión.

## **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 difundirse 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 occidental no alcanzó hasta finales del siglo XIX, y debido a la prospección de petróleo, profundidades superiores a 300 metros. (Custodio y Llamas, 1983). En lo que a España respecta, pueden encontrarse pozos excavados de hasta 300 metros de profundidad en Canarias, construidos a finales del siglo pasado o principios de éste.

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 presente siglo se han producido tres hechos clave que han motivado un fuerte crecimiento 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 ha regadas a principios de siglo



a más de 250 millones de ha en la actualidad. La conjunción de estos factores principales ha hecho que el uso de agua dulce se haya multiplicado en este tiempo por siete (Gleick, 1998).

Este gran crecimiento de la demanda ha podido ser satisfecho gracias, en buena medida, al espectacular desarrollo de las aguas subterráneas desde mediados de siglo.

Entre los principales factores que han contribuido a ello pueden citarse, según Llamas y Custodio (1999): a) la invención de la bomba de turbina, que permite extraer fácilmente agua a grandes profundidades y con caudales de hasta centenares de l/s; b) la mejora y abaratamiento de las técnicas de perforación de pozos; y 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.

Hoy en día, el volumen de agua subterránea extraída a escala mundial se estima en torno a los 600-700 km<sup>3</sup>/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 (Shiklomanov, 1997).

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 es de carácter no renovable.

Hay que tener en cuenta que 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 estos datos no se tienen en muchos países, 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* (Gleick, 1993).

En España, se estima la extracción anual de aguas subterráneas en unos 5.500 Mm<sup>3</sup> (MIMAM, 1998 b), 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 realiza la primera evaluación cuantitativa de los recursos y reservas de aguas subterráneas hasta los años sesenta (Llamas, 1996), y ésta ni siquiera es publicada en documentos 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 (1993), presentaba 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 (Llamas, 1994). El borrador del Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998 b) trata más extensamente la problemática de las aguas subterráneas en España y actualiza su evaluación. Sin embargo, en opinión del Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE, 1999), todavía presenta notables deficiencias.

Por lo tanto, aunque en los últimos treinta años ha habido avances significativos en la consideración de las aguas subterráneas en la política nacional del agua en España, la situación todavía dista bastante de ser aceptable.

## **EL USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: EL CONCEPTO DE SOBREEXPLOTACIÓN**

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, 1992; Foster, 1992; Llamas, 1992 a y b; 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 de 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 aquél en que los costes económicos, sociales y medioambientales derivados de su utilización intensiva son mayores que los beneficios que genera.

A continuación presentamos distintos aspectos que deberían tenerse en cuenta a la hora de realizar este análisis comparativo.

## **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*

Según Shiklomanov (1997) 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 EE.UU. más del 80 % de la población se abastece de pozos (USGS, 1998). 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, 1998 b).

### *Usos industriales*

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

### *Regadío*

En muchos países áridos y semiáridos, como por ejemplo 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 aún pocos estudios específicos que analicen el papel económico que las aguas subterráneas desempeñan en el regadío. Sin embargo los análisis existentes apuntan a una mayor productividad de los regadíos con aguas subterráneas comparados con aquellos que utilizan aguas superficiales.

Un reciente estudio realizado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (Corominas, 1999), pone 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 1 muestra los resultados de este estudio. Hay que tener en cuenta que este estudio calcula la dotación media a partir de los volúmenes de agua aplicados en explotación agraria. En el caso de las aguas superficiales, estas dotaciones son sensiblemente inferiores a la realmente tomada en cabecera de los embalses, debido a las pérdidas que se producen a lo largo de los canales de distribución.

A diferencia del trabajo de la Junta de Andalucía, el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998 b) 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<sup>3</sup>/ha/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<sup>3</sup>/ha/año) son bastante aproximadas, ya que se producen pocas pérdidas en la distribución. Si utilizamos este dato y los de dotación conjunta que da el Libro Blanco, podemos calcular unas dotaciones medias más realistas de 7.364 m<sup>3</sup>/ha/año para los regadíos con aguas superficiales.

Como puede verse en la parte inferior de la Tabla 1, la productividad de las aguas subterráneas resulta ser así 5 veces superior a la de las aguas superficiales. Se puede observar también la relación entre los empleos generados por m<sup>3</sup> de agua consumido, que son más del triple para las aguas subterráneas.

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 4 ó 5 veces mayor que la obtenida con aguas superficiales (Llamas y Custodio, 1999; Barraqué, 1997). Parece que la hipótesis también puede aplicarse a otros países. Así, por ejemplo en la India, se estima que las aguas subterráneas son responsables del 70-80 % de la producción agrícola (Dains y Pawar, 1987), mientras que únicamente aportan el 30 % de todo el 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 2 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 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, procurándose 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 (MAPA, 1998), mientras que en otros casos los datos están desglosados por Cuencas Hidrográficas (MOPT, 1993; MIMAM, 1998). 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.

**Tabla 1. Comparación del regadío con aguas superficiales y subterráneas en Andalucía**

Indicador para el regadío	Origen del agua de los regadíos			relación <u>subterránea</u> superficial
	subterránea	superficial	conjunta	
superficie (10 <sup>3</sup> ha) <sup>1</sup>	210	600	810	0,35
dotación media en parcela (m <sup>3</sup> /ha) <sup>1</sup>	4.000	5.000	4.700	0,8
produc.específica (10 <sup>3</sup> pta/ha) <sup>1</sup>	1.500	550	800	2,7
producción total (10 <sup>9</sup> pta)	300	325	625	0,9
productividad del agua (pta/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	360	110	160	3,3
empleo generado (UTA/100 ha) <sup>1</sup>	23	13	15	1,8
empleo total (10 <sup>3</sup> UTA)	50	75	125	0,67
<i>dotación media en origen (m<sup>3</sup>/ha)</i>	<i>4.000<sup>1</sup></i>	<i>7.400<sup>3</sup></i>	<i>6.500<sup>2</sup></i>	<i>0,54</i>
<i>productividad del agua (pta/m<sup>3</sup>)<sup>3</sup></i>	<i>360</i>	<i>70</i>	<i>120</i>	<i>5,1</i>
<i>empleo generado (UTA/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)<sup>3</sup></i>	<i>58</i>	<i>17</i>	<i>25</i>	<i>3,4</i>

<sup>1</sup> Corominas (1999)

Los datos consideran la dotación media en parcela

<sup>2</sup> MIMAM (1998 b)

Los datos consideran la dotación media en origen

<sup>3</sup> Elaboración propia a partir de Corominas (1999) y MIMAM (1998 b), considerando la dotación media en origen. (Todas las cifras redondeadas)

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, 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.

### *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: a) una reducción de la evapotranspiración; b) un incremento de la recarga proveniente de la precipitación directa que era rechazada en condiciones naturales; y c) 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 Cruces et al. (1998) estiman 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.



**Tabla 2. Comparación de los regadíos de España y Andalucía**

Indicador	España		Andalucía			
superficie (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	505		87			
población (10 <sup>6</sup> hab)	39		7			
INDICADOR REGADÍO	aguas superficiales		aguas subterráneas		conjunto	
	España	Andalucía	España	Andalucía	España	Andalucía
superficie (10 <sup>3</sup> ha)	2.400 (2)	600 (4)	1.000 (2)	210 (4)	3.400 (2)	810 (4)
dotación media (m <sup>3</sup> /ha)	8.200 (5)	7.400 (5)	4.800 (3)	4.000 (4)	7.200 (1-3)	6.500 (1)
dotación total (km <sup>3</sup> )	20 (5)	4,4 (5)	4,5 (3-5)	0,85 (5)	24,5 (5)	5,25 (5)
producción específica (10 <sup>3</sup> pta/ha)	?	550 (4)	?	1.500 (4)	400 (5)	800 (4)
producción total (10 <sup>9</sup> pta)	?	325 (5)	?	300 (5)	1.200 1.500 (2)	625 (5)
empleo (UTA/100 ha)	?	13 (4)	?	23 (4)	18 (5)	15 (4)
empleo total (10 <sup>3</sup> UTA)	?	75 (5)	?	50 (5)	600 (1)	125 (5)

Fuentes: (1)- Borrador del Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998); (2)- Borrador del Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008 (MAPA, 1998); (3)- Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional (MOPT, 1993); (4)- Inventario de Regadíos de Andalucía 96-97. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (Corominas, 1999); (5)- Elaboración propia a partir de los datos anteriores. (?) - Datos no conocidos. (Todas las cifras redondeadas)

## **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. Podemos clasificar en cinco grupos estos posibles efectos negativos (Llamas, 1998 b):

### *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.

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 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 milenios si la transmisividad es muy baja (Custodio, 1992 y 1993; Bredehoeft et al., 1982). 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 (Llamas, 1992 c).

Con respecto a la secuencia climática, hay que tener en cuenta que en países semiáridos como España la recarga puede ser significativa sólo cada 5 ó 10 años. El descenso continuo de niveles durante un período 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, 1991; Salameh, 1996). En este sentido, una declaración oficial de la Unión Europea (DOCE, 25.XI.96) señalaba que la contaminación de las aguas subterráneas era el principal problema de la política del agua en Europa. Hay que tener en cuenta que 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 aplicación 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 1992 y 1993; Llamas, 1992 c). 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 (Custodio y Bruggeman, 1987).

### *Problemas de subsidencia o colapso del terreno*

La extracción de agua subterránea puede producir cambios en el estado tensional del terreno (LaMoreaux, 1991; Sharp, 1991), que ocasionalmente originen o contribuyan a crear problemas de subsidencia o colapso del terreno.

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 Central Valley de California, donde se registraron descensos del terreno de hasta 7 metros (Llamas, 1992 c).

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 (García y Llamas, 1992).

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 manantiales, 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 (Cruces et al, 1998).

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 pueden mitigarse de forma muy importante con 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. Este es el caso de acuíferos situados bajo desiertos de Arabia Saudí, Argelia, Libia, Egipto, o Yemen (Margat, 1999).

En opinión de algunos autores, esta *minería* del agua subterránea supone una actitud carente de ética hacia las siguientes generaciones. Por ejemplo, Lazarus (1997) afirma: «En esencia, el pensamiento actual en el sector es que se necesitan 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, autores como Lloyd (1997) sostienen que la visión tradicional de considerar que los países áridos deben des-

arrollarse 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.

Con una gestión adecuada, muchos países áridos serían capaces de utilizar sus recursos por encima de las previsiones futuras y sin grandes reestructuraciones.

Cabe destacar que mientras algunos autores escriben acerca de la frecuente insostenibilidad de los recursos de agua subterránea, pocos consideran la insostenibilidad de los embalses de aguas superficiales en las regiones áridas.

En este sentido, Bembiblia et al. (1996) consideran que la vida útil de la mayoría de los embalses de Africa del Norte está entre 40 y 200 años, debido a su colmatación.

En nuestra opinión, 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 50 y 200 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 mencionada primera condición se cumple, aunque no parece que las otras tres condiciones hayan sido adecuadamente consideradas.

En Arabia Saudí, de acuerdo con Dabbagh y Abderrahman (1997), los principales acuíferos (hasta los 300 m de profundidad) contienen un mínimo de 2.000 km<sup>3</sup> de agua dulce. El último período lluvioso con una importante recarga natural en esta región se produjo hace unos 20.000–30.000 años. La extracción actual es de unos 15-20 km<sup>3</sup>/año, por lo que este bombeo podría ser mantenido durante más de 100 años. Idris y Noir (1990) consideran que el agua subterránea en el acuífero de las areniscas del Nubia, localizado bajo el desierto occidental de Egipto, contiene más de 200 km<sup>3</sup> de agua dulce. La extracción máxima proyectada es de 1 km<sup>3</sup>/año, por lo que este bombeo podría mantenerse sin problemas durante unos dos siglos.

En California, desde hace más de tres décadas, los Planes de Agua han logrado el equilibrio entre demanda y oferta mediante la *sobreexplotación* de acuíferos, entendida como bombeo de recursos subterráneos no renovables. Esta teórica sobreexplotación hace 30 años era de unos 5 km<sup>3</sup>/año. En el último Plan de Agua de California (CWRD, 1998) dicha sobreexplotación ha sido reducida a aproximadamente 1,5 km<sup>3</sup>/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, podría resultar tan dañina 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 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 vimos que era 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*<sup>1</sup>. Estos bienes se caracterizan por (Yan Tang, 1994): la dificultad de impedir el acceso al recurso a nuevos usuarios; su carácter de bien consuntivo, 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

---

<sup>1</sup> Esta terminología no debe entenderse desde una perspectiva jurídica referida al régimen de propiedad de las aguas subterráneas. Los bienes de *propiedad común* o *common property resources* pueden ser de propiedad tanto particular como demanial. El término se refiere a las características de su uso, no de su propiedad.

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), creemos 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 y origen 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 (por ejemplo el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, el United States Geological Survey, o el British Geological Survey), 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 (Acreman, 1999; USGS, 1998).

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 hace que los modelos tradicionales necesiten renovarse (Congreso Ibérico, 1998; Fort, 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 consiguiente administración, sirve para ilustrar estos retos.

Hasta 1985 las aguas subterráneas eran propiedad de aquél 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 actuando 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, 1998 b).

Un documento del Ministerio de Medio Ambiente (1998 a) 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 pueden extraer. Probablemente esa cifra sea 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 mil millones de pesetas.

En lo que respecta a la gestión de los aprovechamientos intensivos, hasta la fecha 15 acuíferos han sido declarados provisionalmente sobreexplotados, de los cuales únicamente dos lo han sido de forma definitiva. Independientemente de las declaraciones jurídicas de sobreexplotación, el MIMAM estima que

entre 51 y 89 unidades hidrogeológicas presentan problemas derivados de su utilización intensiva (MIMAM, 1998 b). Sin embargo, ni la demanialización de las aguas ni la centralización de la gestión de los acuíferos problemáticos ha solucionado los problemas derivados de su utilización intensiva. Catorce 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, 1998 b).

La nueva ley también contempla 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 usuarios, y entre éstos y la Administración.

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 LBA (MIMAM, 1998 b). Una posible vía futura de actuación sería la potenciación de las CUAS, como verdaderas gestoras locales de los acuíferos en colaboración con la Administración.

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 deno-

minada 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 (Bachman et al., 1997).

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 legales 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.

## **LA HIDROESQUIZOFRENIA COMO OBSTÁCULO AL DESARROLLO RACIONAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Este apartado intentará contribuir a clarificar las causas de la escasa atención que tradicionalmente se ha dedicado a las aguas subterráneas por las administraciones hidráulicas de muchos países. Es una actitud generalizada que ya en 1972 un hidrólogo americano definió como *hidroesquizofrenia* (Nace, 1973). Entre ellas pueden destacarse las siguientes:

### **Los conceptos erróneos o *hidromitos* relacionados con el agua**

La gestión del agua de muchos países se ha visto influida por algunos conceptos erróneos, que han llegado a constituir auténticos *hidromitos* o falsos paradigmas. Estos han contribuido a que se haya subestimado el papel que las aguas subterráneas pueden desempeñar en la política hidrológica, particularmente en lo que se refiere a un uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales. Custodio y Llamas (1997) han presentado con cierto detalle la génesis y evolución de un conjunto de hidromitos en España. Aquí se van a tratar tres de ellos, especialmente significativos a efectos del presente artículo.

#### *a) El falso paradigma de la escasez general de agua ante las demandas futuras*

Las estimaciones de demanda futura de agua han sido exageradas en el pasado. Gleick (1998) presenta un interesante análisis histórico sobre las previsiones realizadas por diversos autores para el año 2000. Estas han ido decreciendo desde las primeras estimaciones correspondientes a 1967 (Nikitopoulos) –con una previsión para el año 2000 de casi 7.000 km<sup>3</sup>/año–, hasta las más recientes de 1997 (Shiklomanov), en que la demanda prevista se estimaba en unos 4.000 km<sup>3</sup>/año. La previsión de Shiklomanov se refiere al agua total utilizada incluyendo, por ejemplo, los usos hidroeléctricos. Si se consideran sólo los usos

propiamente consuntivos, la cifra descendería a unos 2.500 km<sup>3</sup>/año. Además, esta previsión puede ser excesiva al estimar su autor un importante aumento de la demanda en Norteamérica para los próximos años, cuando los últimos datos oficiales del U.S.G.S. (Solley, 1997) han puesto de manifiesto un descenso del uso del agua en este país de un 15 % entre 1980 y 1995. Wood (1999) ha analizado recientemente esta disminución, que en buena parte parece deberse a la mejor gestión del agua, pues la población de los EE.UU. en ese período de tiempo ha aumentado en un 19 % y el nivel económico también ha crecido sensiblemente.

En este mismo sentido, el último Plan Hidrológico de California de 1998 (CWRD, 1998) no considera que desde 1995 a 2030 vaya a aumentar la demanda total de agua, aunque se espera que la población de California pase de unos 30 a unos 45 millones de habitantes. Todo hace pensar que una situación análoga se produce en otros países industrializados.

Por ejemplo, en las ciudades de Madrid y Murcia el consumo de agua urbano se mantiene prácticamente estable desde hace unos quince años (MIMAM, 1998 b). Durante ese período no ha habido una disminución de la población, ni de la actividad industrial o el progreso económico, habiéndose incrementado en Murcia el número de abonados en más de un 50 %. Esta reducción del consumo per cápita se atribuye principalmente a una mejor gestión del agua.

En resumen, parece que existe una clara tendencia a la sobreestimación en la previsión de demandas futuras de agua. En nuestra opinión, esto puede deberse por una parte a la confusión que existe entre necesidad y demanda de agua, pues cuando el agua es casi gratis la demanda puede ser infinita, y por otra al despilfarro de agua tanto en usos urbanos como agrícolas, debido principalmente al bajo precio del agua que pagan los usuarios.

Cuando el agua es de origen subterráneo las previsiones excesivas o el despilfarro tienden a disminuir, en gran medida debido a que los usuarios de aguas subterráneas suelen pagar su coste total y por tanto, tienden a usarlas más racionalmente.

b) *El hidromito de la insostenibilidad del uso del agua subterránea*

Muchos piensan, equivocadamente, que el uso de las aguas subterráneas en los países áridos o semiáridos no es confiable pues, al cabo de cierto tiempo, todo pozo se seca o saliniza. Es cierto que algunos pozos se secan por ser poco profundos o por estar en zonas marginales del acuífero, y que existen pozos que se salinizan por intrusión de aguas salinas próximas, especialmente en las zonas costeras. Pero no se debe generalizar a partir de casos específicos.

En la mayor parte de los casos se trata de aprovechamientos no planificados convenientemente. Con un diseño adecuado de los campos de pozos, se podría extraer el mismo volumen de agua subterránea sin causar prácticamente problemas. No conocemos ningún caso documentado en el que un acuífero de tamaño medio o grande (por ejemplo, de más de 1.000 km<sup>2</sup>) se haya secado o salinizado a causa de una extracción excesiva de aguas subterráneas, sin que una adecuada planificación de las extracciones haya conseguido remediar la situación. Así por ejemplo, en las conferencias monográficas sobre la sobreexplotación de acuíferos, organizadas por Naciones Unidas (Custodio y Dijon, 1991) y por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (Simmers et al, 1992), no se presentaron ejemplos de dichos problemas.

c) *El hidromito de que toda extracción de agua subterránea roba agua, de modo instantáneo, a una masa de agua superficial más o menos próxima*

Este *hidromito* se basa en la idea errónea de que, dado que la mayor parte de la recarga que reciben los acuíferos va a parar a los ríos, no tiene sentido plantear su aprovechamiento, especialmente si hay embalses o derivaciones aguas abajo. Según este planteamiento, esas captaciones roban el agua a los usuarios de aguas abajo, con las implicaciones legales que ello conlleva.



El principal error de este planteamiento es no considerar las características específicas de los acuíferos, que no tienen transmisividad infinita ni funcionan como los embalses superficiales. El tamaño e inercia de la mayoría de los acuíferos hace que funcionen como hiperembalses con volúmenes almacenados muchas veces superiores a la recarga anual que reciben. El impacto producido por los bombeos puede tardar días, pero también décadas o siglos en afectar a los cursos de agua superficial (Custodio, 1992 y 1993; Llamas, 1994). El funcionamiento del sistema debe analizarse en cada caso.

Theiss (1940) ya hizo ver que al agua bombeada se le podía asociar una de las tres procedencias siguientes: a) el agua almacenada en el acuífero; b) la disminución del flujo subterráneo que bajo condiciones naturales va a un río, lago o mar, o del agua que se evapotranspira desde la zona saturada próxima a la superficie del terreno, especialmente en humedales y bosques de galería; c) el aumento de la recarga directa (procedente de la lluvia) en los sitios en que antes era rechazada por estar la zona saturada muy próxima a la superficie del terreno.

La importancia de este *hidromito* es tal, que ha llegado a influir en la política hidráulica de algunos países. En España, por ejemplo, el Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional (MOPTMA, 1993; Llamas, 1994), hablaba de los usos indirectos de las aguas subterráneas refiriéndose a las extracciones de agua en acuíferos conectados con ríos.

### **Las subvenciones *perversas***

Una de las causas principales de la *hidroesquizofrenia* radica en que los aprovechamientos de aguas subterráneas suelen tener una protección económica o subvención despreciable, en comparación con las importantes ayudas procedentes de fondos públicos que tienen la casi totalidad de las grandes obras hidráulicas (Llamas, 1997).

Desde hace tres años, la Comisión de la Unión Europea está trabajando en la elaboración de una Nueva Directiva-Marco sobre el Agua, que incluye un artículo exigiendo que el benefi-

ciario del agua pague todos los costes incurridos para proporcionarle ese agua (incluidas también las externalidades). Este artículo del *full cost recovery* ha encontrado una fuerte oposición en algunos estados miembros de la Unión Europea y es difícil predecir cómo quedará su redacción final.

La oposición se debe, en buena parte, a los agricultores de los estados miembros mediterráneos, que sostienen que sus regadíos no pueden ser competitivos si tienen que pagar el coste real del agua.

Esto no es necesariamente así, ya que los regantes con aguas subterráneas pagan normalmente el coste total del agua que utilizan y sacan mayores rendimientos. Hay que advertir, sin embargo, que algunas externalidades, como los impactos ecológicos, no suelen ser tenidos en cuenta.

Por otro lado, como Myers y Kent (1998) exponen, las subvenciones a las grandes obras hidráulicas no sólo son perjudiciales para la economía sino también para el medio ambiente. A pesar de ello, los grupos interesados en que se mantenga ese sistema tradicional de agua de regadío cuasi gratuito son muchos, fuertes y variados en casi todos los países.

### **La falta de educación hidrogeológica**

La Hidrogeología es un saber científico relativamente joven. Durante las dos o tres últimas décadas, el número de investigadores y profesores universitarios dedicados a la Hidrogeología ha aumentado considerablemente. Hoy día hay más de 60 profesores estables de Hidrogeología en la Universidad española, habiéndose ocupado la primera plaza en 1971. Como contrapunto, hay que hacer constar la reducida atención prestada a esta enseñanza en buena parte de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingeniería Civil de nuestro país. Esto es importante, si se tiene en cuenta que la política del agua suele estar dirigida por ingenieros civiles.

## **La organización legal/administrativa**

Para algunos, en muchos países son causas importantes de *hidroesquizofrenia* las siguientes: a) las aguas subterráneas no son de dominio público, sino que esencialmente pertenecen al dueño del terreno en el que está localizada la correspondiente captación; b) la administración hidráulica está dividida entre varias Agencias o Departamentos. La solución propuesta es, por lo tanto, la centralización de la gestión en un ente público. Como se vio en el apartado institucional, la idea de que la existencia de una Administración única del agua y su declaración como dominio público pueden resolver todos los problemas es excesivamente simplista. Es indudable que la situación administrativa y legal de las aguas subterráneas tiene un impacto en su gestión, pero la solución no pasa necesariamente por tener una única Administración, ni por declarar legalmente todas las aguas de dominio público.

## **La invisibilidad y falta de valor estético de las aguas subterráneas**

Hace ya algunos años que las Naciones Unidas declararon el 22 de marzo, día mundial del agua. El lema del día del agua en 1998 fue: «El Agua Subterránea: un recurso invisible que hay que proteger». La *invisibilidad* del agua subterránea es una de las principales causas de *hidroesquizofrenia* por varios motivos. En primer lugar, hace que las aguas subterráneas no tengan uno de los principales atributos que tienen las aguas superficiales: su estética o notable belleza plástica, que ha hecho que el agua sea objeto de poesía, y profusamente utilizada en los rituales y liturgias de muchas religiones. Por ello, el conocimiento del gran público sobre el agua subterránea, que no se ve, suele ser escaso. La gran belleza plástica que tienen algunas grandes obras hidráulicas (excepto en los tiempos de sequía) hace que su inauguración sea algo que goce de gran predicamento entre los políticos. ¡Qué duda cabe de que la imagen de la apertura de la compuerta de un gran canal o el des-

agüe de fondo de una presa es mucho más vistosa que la pequeña caseta que protege la cabeza de un pozo!

Esto suele conducir a que, en estos tiempos en que la televisión juega un papel tan importante, sean más atractivas las grandes obras hidráulicas superficiales a soluciones equivalentes basadas en las aguas subterráneas.

### **ALGUNAS SOLUCIONES PARA LOGRAR UN DESARROLLO SOSTENIBLE**

El contenido de este artículo ha puesto de manifiesto que muchos de los conceptos que tradicionalmente han regido la gestión del agua en general, y de las aguas subterráneas en particular, necesitan renovarse. Esta renovación va en el sentido de un uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, una mayor participación de los usuarios en la gestión del recurso, la búsqueda de alternativas en la resolución de los conflictos que afectan a la gestión del agua, y de un mayor énfasis en la educación de los usuarios en particular y del público en general.

#### **El uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas**

El uso combinado de aguas superficiales y subterráneas funciona en muchos sitios desde hace años (Sahuquillo, 1991). Sin embargo, no es frecuente que se lleve a la práctica de un modo generalizado, planeado y controlado por las agencias responsables de la gestión de recursos hídricos. Lo que suele existir es un uso alternado, es decir, sólo cuando fallan las aguas superficiales, como en períodos de sequías, se acude a las aguas subterráneas.

El uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas es aparentemente un concepto fácil de entender (McClurg, 1996). En tiempos de abundancia se usa el agua superficial sobrante para recargar artificialmente los acuíferos. En los tiempos de

sequía, se bombean esas aguas almacenadas en los acuíferos. La idea es simple, pero su puesta en práctica es difícil, compleja, y a menudo fuente de conflictos. Las cuestiones técnicas sobre la capacidad del acuífero para recibir y guardar el agua de recarga deben ser adecuadamente estudiadas, pero no suponen una especial dificultad. Los principales problemas suelen ser de tipo económico, legal y político. ¿Quién debe autorizar los volúmenes de agua superficial que se destinan a la recarga? ¿Quién se hace cargo del coste y de la operación de las obras para realizar la recarga? ¿Quién tiene derecho a utilizar el agua recargada? ¿Qué tipo de organización controla y dirige la gestión?

Este tipo de cuestiones ha retrasado la puesta en práctica de la recarga artificial en muchas regiones, a pesar de reconocerse que es el método más eficaz para mejorar la garantía del suministro de agua, poco costoso comparado con otras alternativas, y más aceptable desde el punto de vista ambiental.

No obstante, la recarga artificial no es el único método, ni necesariamente el mejor, para la utilización conjunta. Una opción es la aplicada en el Salt River Project, en Arizona (Lluria y Fisk, 1994). En este caso, las aguas subterráneas *naturales* sólo se bombean en los años secos. En los años húmedos se utilizan las aguas superficiales dejando que el acuífero se recupere de modo natural. Esta es la alternativa propuesta para el abastecimiento de la región de Madrid, en lugar de acudir a la construcción de nuevos embalses en otras regiones (Llamas et al, 1996).

### **Información y Educación.**

La ciencia hidrogeológica tiene, como mayor obstáculo para su difusión, la barrera de unas inercias establecidas, que han tratado a las aguas subterráneas como un recurso oculto y misterioso. Esto ha dado lugar a unas ideas erróneas o hidromitos descritos anteriormente. En este contexto no es sorprendente que exista un desconocimiento generalizado sobre el papel fun-

damental que las aguas subterráneas desempeñan en cuanto a valores medioambientales, en la producción de alimentos o en la garantía del agua para beber.

Un buen conocimiento a todos los niveles (administración y usuarios) del funcionamiento y características de las aguas subterráneas es imprescindible para conseguir una explotación racional del recurso y su gestión conjunta con las aguas superficiales. Este conocimiento debe partir de extensos programas de información y educación.

Con respecto a la *información*, hay que tener en cuenta que la transparencia y el fácil acceso a los datos medioambientales demandados por los usuarios, constituyen un derecho reconocido en la Directiva de la Unión Europea 90/313, traspuesta a la legislación española en la Ley 38/1995. Este derecho no es suficiente por sí mismo, pues la utilidad de dicha información depende de lo fácilmente entendible y accesible que sea para los usuarios.

En este sentido, debe procurarse que la información llegue a todos los sectores interesados a través de la forma y medios más adecuados para cada uno, lo que exige un esfuerzo de diversificación importante. Algunas de las posibilidades más interesantes para diversificar esta información podrían ser: la difusión a través de Internet, la información pública con reuniones y encuentros en zonas especialmente afectadas por la gestión del recurso, la existencia de centros de interpretación, la difusión de publicaciones y folletos de diversos tipos, la colaboración de organizaciones no gubernamentales, y la presentación pública de Proyectos de investigación.

Los sistemas de información existentes hoy día permiten facilitar el suministro de datos sobre extracciones, calidad del agua, niveles piezométricos y otros, de una forma clara y rápida para todos los usuarios.

Los programas de *educación* son imprescindibles para romper las barreras y desconocimientos antes citados. Estos programas deben tratar de abarcar también a todos los sectores de la población, desde la educación primaria y secundaria, donde un buen conocimiento de los aspectos básicos relacionados con el ciclo hidrológico en todas sus fases resulta esencial, hasta los

responsables de grupos u organismos directamente relacionados con la gestión del recurso.

La necesaria participación de todos los sectores implicados en la gestión del agua, de la que se tratará en el siguiente apartado, ha de tener como punto de partida un conocimiento de todos los valores, conceptos e información hidrogeológica que intervienen en el desarrollo de un acuífero. Esto es especialmente importante cuando el acuífero presenta algún problema relacionado con su explotación. Entre las iniciativas que se pueden considerar desde un punto de vista educativo, pueden citarse las siguientes:

- Preparación de carteles, folletos y videos educativos sobre los valores del agua, el ciclo hidrológico y otros proyectos específicos.
- Talleres de trabajo sobre la educación en los recursos hídricos para profesores de enseñanza primaria y secundaria.
- Cursos y conferencias para dirigentes y miembros de los diferentes sectores relacionados con el uso del agua.
- Encuentros y reuniones de científicos y gestores del recurso para intercambiar información sobre nuevas tecnologías, métodos avanzados de gestión, etc.
- Mesas redondas con participación de miembros de diferentes grupos de usuarios, para conocer y discutir los diferentes puntos de vista.

Afortunadamente, la difusión de programas educativos sobre el agua, y más específicamente sobre aguas subterráneas, está aumentando y extendiéndose, aunque sin llegar a ser todavía suficiente (Llamas, 1999). Como ejemplo puede destacarse la «Guía sobre el agua subterránea» elaborada en California por la Water Education Foundation (1998). Esta misma organización (Sudman, 1997), así como el U.S. Geological Survey (URL <http://www.usgs.gov>), han difundido otros folletos y programas educativos. En Europa, el Stockholm Environment Institute

(URL <http://www.waterplanet.se>), está promoviendo un ambicioso programa relativo al agua, tanto superficial como subterránea. En España aún queda mucho por hacer en cuanto a programas que den un debido tratamiento a las aguas subterráneas, aunque también ha habido algunas iniciativas tanto públicas como de otro tipo de organizaciones. Un buen ejemplo es el programa educativo que en la actualidad lleva a cabo el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) conjuntamente con la Fundación Marcelino Botín.

### **Participación**

La efectividad de los programas de gestión de aguas requiere la participación de todos aquellos que se vean afectados por dichas políticas en todos los aspectos y etapas del diseño e implementación de dichos programas. Mientras que la necesidad de participación de los usuarios en los organismos de gestión del agua no es un concepto novedoso, esta participación suele estar limitada a determinados grupos de interés o a determinados aspectos de la gestión. Por lo tanto dicha participación no es realmente efectiva. Dadas las características de los acuíferos desde una perspectiva institucional, que fueron discutidas anteriormente, es evidente que la participación de los usuarios y diversos grupos de interés es imprescindible para su correcta y eficaz gestión. En general se pueden distinguir tres fases en la evolución de la forma en que se incorpora la participación del público en los procesos de toma de decisiones. Diversos países se encuentran en distintas fases de esta evolución.

En un primer momento, participación se entiende únicamente como la necesidad de educar e informar al público sobre las decisiones de gestión. En este sentido la participación no es tal, sino que es una comunicación unidireccional donde se informa al público de decisiones y planes de gestión que ya están asumidos y en fase de implementación. Por lo tanto, el público no tiene gran capacidad de intervención ni de influir en los procesos de toma de decisiones. En esta primera fase, la infor-



mación se pone a disposición del público pero no se hacen esfuerzos por diseminarla ni por recoger sus opiniones.

En una segunda fase la comunicación entre las agencias que gestionan los recursos y el público tiene dos direcciones. Las agencias informan al público pero al mismo tiempo recogen opiniones del mismo, que pueden, hasta cierto punto, influir en la toma final de decisiones.

En este sentido el proceso es más participativo aunque en última instancia sigue siendo el sector público el responsable de tomar las decisiones, y la participación del público generalmente se limita a presentar sus opiniones. En general, en esta segunda fase, el proceso de toma de decisiones sigue estando dirigido por las agencias públicas. La aprobación en la mayoría de los países industriales de leyes que obligan al análisis del impacto ambiental de las acciones emprendidas por el sector público (National Environmental Policy Act en Estados Unidos, Real Decreto Legislativo 1302 /1986 de Evaluación de Impacto Ambiental en España) introdujo al público de manera activa en los procesos de toma de decisiones.

En España nos encontramos a caballo entre la primera y segunda fase. La legislación vigente obliga a la administración pública a facilitar los datos ambientales a aquellas personas que los soliciten. Por otro lado, los estudios de impacto ambiental permiten formular alegaciones a los proyectos que se presenten. En el caso específico de la gestión de aguas, las Confederaciones Hidrográficas están estructuradas con órganos participativos de gestión (Asamblea de Usuarios, Juntas de Explotación, etc.) en los que los usuarios tienen una cuota de participación establecida. Sin embargo, esta participación parece insuficiente. Por un lado, los representantes del sector público tienen clara mayoría. Por otro lado, la representación está limitada a los usuarios con derechos reconocidos, por lo que se excluye casi totalmente a usuarios no consuntivos, como los intereses conservacionistas o los usos recreativos. Las cuotas de participación están relacionadas con las cuotas de utilización del recurso, por lo que los regantes suelen tener un peso predominante dentro del grupo de usuarios. Por último, las Confederaciones han hecho muy poco esfuerzo por extender las

oportunidades de participación más allá de los usuarios legalmente reconocidos del recurso, por lo que el público en general queda excluido de los procesos de toma de decisiones. Por ejemplo, no parece que ninguna Confederación Hidrográfica tenga una oficina de información abierta al público en general, ni que edite alguna publicación periódica informando de su gestión, como por ejemplo suelen hacer las Agences de l'Eau de Francia.

En una tercera fase, las agencias gestoras pasan de informar y recibir información del público a decidir con el público (Delli Priscoli, 1998). El proceso se convierte de este modo en realmente participativo. El esfuerzo requerido por parte de las agencias gestoras es significativo, como también lo son los posibles riesgos resultantes. Así, una vez que los diferentes grupos han manifestado su opinión se presenta el reto de cómo conciliar las visiones opuestas. Es en este momento cuando surge la necesidad de establecer mecanismos válidos de resolución de conflictos con el fin de encontrar soluciones aceptables para todos.

Aunque el esfuerzo es mayor, una vez alcanzada una solución aceptada por todos, la implementación de estas soluciones o planes de gestión será posible. Pocos países se encuentran en esta última fase. Quizá los Estados Unidos o Gran Bretaña se acerquen más debido a su larga tradición y experiencia en programas de participación en la gestión del agua.

Algunas condiciones para asegurar la efectiva participación del público en procesos de toma de decisión en la gestión del agua son las siguientes (Acreman, 1999):

- *Identificar los grupos de interés.* Un primer paso en cualquier programa de participación es la identificación de los grupos de interés relevantes. Debe realizarse un esfuerzo adicional para incluir a todas las partes afectadas, no únicamente a aquellos grupos representados tradicionalmente. En algunos casos pueden existir personas o intereses que no están suficientemente organizados, lo cual dificulta su inclusión.
- *Asegurar que la participación es colaborativa, no meramente consultiva.*

- *Crear un foro para el intercambio de información, expectativas y opiniones.*
- *Asegurar que el público está bien informado durante todas las fases del proceso.*
- *Adaptar los programas de participación a las costumbres de los diferentes países.*

### **Técnicas de resolución de conflictos**

Complejidad y variabilidad son características inherentes a la gestión de los recursos hídricos, especialmente en zonas áridas y semiáridas donde estos recursos son escasos. Al mismo tiempo, las crecientes demandas de la sociedad en el sentido de una gestión del agua económicamente eficiente y medioambientalmente responsable, hace necesaria una mayor participación de la sociedad civil en los procesos de toma de decisiones, tal y como se vio anteriormente. Por lo tanto, resulta imprescindible establecer mecanismos eficientes para hacer frente a situaciones complejas y de conflictos.

Los mecanismos alternativos de resolución de conflictos ofrecen herramientas interesantes para hacer frente a los conflictos relacionados con la gestión del agua. Vamos aquí únicamente a sugerir dos de ellos: la negociación y la mediación. La negociación se refiere a un proceso voluntario en el cual las partes se reúnen para alcanzar soluciones aceptables para ambas (Bingham y Orenstein, 1997). La mediación es un proceso de negociación en el cual un mediador neutral participa en las discusiones proponiendo opciones válidas para todos. Estas estrategias facilitan la participación de todas las partes interesadas, la consideración de un amplio abanico de posibilidades y la búsqueda e implementación de planes de gestión consensuados y aceptados.

## CONCLUSIONES

Varios factores han hecho posible el significativo aumento de la utilización de las aguas subterráneas durante la segunda mitad de este siglo, especialmente en las zonas áridas y semiáridas. Podemos clasificarlos en tecnológicos, gracias a la invención de la bomba de turbina, las mejoras en las técnicas de perforación y el gran avance de los conocimientos científicos sobre el origen, movimiento y localización de las aguas subterráneas; económicos, debido a que el coste real del agua subterránea es normalmente barato en relación con los beneficios obtenidos por su uso; y sociológicos, destacando en este sentido que el desarrollo de las aguas subterráneas puede llevarse a cabo fácilmente por agricultores privados, industrias o pequeños municipios, sin necesidad de la financiación o asistencia técnica de la Administración Pública del Agua.

Este desarrollo ha generado beneficios de diversos tipos: económicos, sociales, hidrológicos y ecológicos. Puede destacarse su enorme importancia en la mejora de la calidad de vida de muchas regiones, al permitir el acceso al agua potable de forma barata y fiable. La importancia económica de las aguas subterráneas en el regadío es fundamental. Su productividad económica suele ser muy superior a la de las aguas superficiales, y genera más puestos de trabajo por volumen de agua consumido. Por el contrario, la falta de control y de planificación que ha caracterizado a este desarrollo ha ocasionado algunos problemas, entre los que se pueden citar los siguientes: excesivo descenso del nivel de agua en los pozos; degradación de la calidad del agua debido a diversos factores como contaminación puntual o difusa desde la superficie, o bien por la intrusión de agua salina de acuíferos adyacentes; subsidencias del terreno o colapsos inducidos por la extracción de aguas subterráneas; impacto sobre las corrientes de agua superficiales y el comportamiento hidrológico del sistema; impacto en humedales y otros ecosistemas acuáticos.

La consideración de sobreexplotación de un acuífero debe partir de un análisis comparativo de los beneficios e impactos

negativos derivados de su utilización, valorando todos los aspectos citados anteriormente. Por otra parte, la *minería* del agua subterránea llevada a cabo en algunas regiones del mundo con importantes reservas subterráneas y recarga casi nula, puede ser una opción racional y ética si se cumplen una serie de condiciones: la garantía de suministro en un plazo suficientemente largo (50–200 años); la viabilidad económica y ecológica de las extracciones; la adecuada información a los usuarios; y el planeamiento de futuros sistemas de suministro de agua.

La gestión de las aguas subterráneas presenta retos especiales. La coordinación entre los miles de interesados que generalmente existen en un acuífero de tamaño medio o grande es difícil y a menudo inexistente. Esto puede explicarse por el hecho que la cooperación no era imprescindible al comienzo del desarrollo, por la usual tendencia existente entre los agricultores al individualismo, y también por la falta de voluntad para promover esta coordinación por parte de las *autoridades del agua*. En este sentido, algunos autores consideran que la declaración legal de las aguas subterráneas como de dominio público es condición *sine qua non* para lograr una gestión sostenible o aceptable de las mismas.

Sin embargo, este planteamiento está lejos de ser evidente. La solución no está en realizar una gestión centralizada de los acuíferos, sino en fomentar la solidaridad en su utilización como un bien común.

La gestión de las aguas subterráneas debería recaer principalmente en todos aquellos grupos con algún interés en los acuíferos, bajo la supervisión de la correspondiente Administración hidrológica.

Para lograr una gestión integral más racional del agua, cada vez más demandada por la sociedad, es necesario romper unas inercias establecidas, y en algunos casos, fuertes intereses creados. En este sentido, existen en torno al agua en general, y al agua subterránea en particular, una serie de conceptos erróneos o *hidromitos*, que han contribuido a que se haya subestimado el papel que las aguas subterráneas pueden desempeñar en la política hidráulica.

Son especialmente negativas las importantes subvenciones con fondos públicos destinadas a la construcción de grandes obras hidráulicas para el regadío con aguas superficiales.

La aplicación progresiva del principio *«el usuario paga el coste completo»* podría poner en claro la falta de viabilidad de los grandes proyectos hidráulicos, tanto desde una perspectiva económica como por sus impactos medioambientales. Si se tuvieran en cuenta estos criterios, los planificadores y gestores prestarían con toda probabilidad una atención adecuada al planeamiento, control y gestión de las aguas subterráneas.

Las medidas necesarias para conseguir mejorar la gestión integral del agua, una de cuyas bases ha de ser la adecuada utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas, han de comenzar por un mayor esfuerzo en programas de educación e información a todos los niveles. La participación efectiva en los procesos de toma de decisión de todos los implicados es fundamental para lograr un uso más eficiente del recurso.

En las últimas décadas se ha alcanzado una mayor concienciación sobre el papel que están desempeñando las aguas subterráneas en la política hidrológica de muchos países. Sin embargo, esa concienciación todavía no parece haber llegado con la fuerza necesaria a los núcleos más importantes de toma de decisiones. La coyuntura socio-económica mundial (privatización de muchos servicios hídricos, desarrollo sostenible, preocupación ecológica, reducción del déficit público), es la adecuada para que en los próximos años se puedan dar pasos importantes para conseguir un mejor desarrollo y control de las aguas subterráneas.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Acreman, M.C.(Ed.) (1999). "Guidelines for the sustainable management of groundwater-fed catchments in Europe". Report of the Groundwater and River Resour. Action Progr. on a European Scale (GRAPES) to the EU Commission (ENV4-CT 95-0186). Inst. of Hydrology, Wallingford, UK.
- Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español (AIH- GE) (1999). Jornadas sobre las Aguas Subterráneas en el Libro Blanco del Agua en España, Madrid, Mayo 1999. J. Samper y M.R. Llamas, ed. 224 p.
- Bachman, S., Hauge, C., Neese, K. y Saracino, A. (1997). "California Groundwater Management", Groundwater Resources Association of California, Sacramento. California, 145 pp.
- Barraqué, B. (1997). "Groundwater management in Europe; regulatory, organisational and institutional change". Proceedings of the International Workshop: how to cope with degrading groundwater quality in Europe. Stockholm, 21-22 October 1997, 16 pp.
- Bembiblia, M., Margat, J., Vallée, D. y Glass, B. (1996). "Water in the Mediterranean Region". Blue Plan for the Mediterranean. Regional Activity Centre, Sophia-Antipolis. France, 91 pp.
- Bingham, G. y Orenstein, S.G. (1997). "The role of negotiation in Managing Water Conflicts". RESOLVE, Washington, D.C.
- Bredehoeft, J.D. (1997). "Safe yield and the water budget myth" Ground Water, vol. 35, No. 6, pp. 929.
- Bredehoeft, J.D., Papadopulos, S.S. y Cooper, H.H. (1982). "The water-budget myth (Scientific Basis of Water Management)", Studies in Geophysics, National Academy of Sciences, pp. 51-57.

- California Department of Water Resources (CWRD) (1998). "The California Water Plan Update", Bulletin 160-98. Sacramento. California.
- Collin, J.J. y Margat, J. (1993). "Overexploitation of water resources: overreaction or an economic reality?" *Hydroplus*, nº 36, pp. 26-37.
- Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas (1998). "El Agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua". Congreso celebrado en Zaragoza, 14-18 de julio de 1998. Institución "Fernando el Católico". Zaragoza. 888 pp.
- Corominas, J. (1999). "Papel de las aguas subterráneas en los regadíos". en *Jornadas sobre las Aguas Subterráneas en el Libro Blanco del Agua en España*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos- Grupo Español. pp. 65-79.
- Cruces de Abia, J., Fornes, J., Casado, M., Hera A. de la, Llamas, M.R. y Martínez, L. (1998), "El marco natural, agua y ecología" en *De la Noria a la Bomba. Conflictos sociales y ambientales en la cuenca alta del río Guadiana*, (Cruces et al., ed.). Editorial Bakeaz, Bilbao, pp. 17-130.
- Custodio, E., (1992). "Hydrogeological and hydrochemical aspects of aquifer overexploitation". In *Selected Papers in Hydrogeology* (Simmers et al, ed.), International Association of Hydrogeologists, Heise, Hannover, vol. 3, pp. 3-28.
- Custodio, E. (1993). "Aquifer intensive exploitation and overexploitation with respect to sustainable development". *Proceedings of the International Conference on Environmental Pollution*. European Centre for Pollution Research, vol. 2, pp. 509-516.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983) "Hidrología Subterránea", Editorial Omega, Barcelona. 2 vol. 2390 pp.
- Custodio, E. y Bruggeman, K.A. (1987). "Groundwater problems in coastal areas". *Studies and Reports in Hydrology*, Nº 45, UNESCO , Paris, 576 pp.



- Custodio, E. y Dijon, R. (1991). "Groundwater overexploitation in developing countries". Report of an U.N. Interregional Workshop, UN.INT/90/R43, 116 pp.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1997). "Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos "Hidromitos" en España", en: En Defensa de la Libertad. Homenaje a Víctor Mendoza, Instituto de Estudios Económicos, Madrid, pp. 167-179, ISBN : 84-88533-29-2.
- Dabbagh, A.E. y Abderrahman, W.A. (1997). "Management of groundwater resources under various irrigation water use scenarios in Saudi Arabia". The Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 22, N°. IC, pp. 47-64.
- Dains, S.R. y Pawar J.R. (1987). "Economic Returns to Irrigation in India". New Delhi, Report prepared by SDR Research Groups Inc. For the US Agency for International Development.
- Delli Priscoli, J. (1998). "Public involvement, conflict management, and dispute resolution in water resources and environmental decision making". In: Public Involvement and Dispute Resolution. Institute for Water Resources. U.S. Army Corps of Engineers. Virginia. pp. 45-62.
- Fort, D. (chair) (1998). "Water in the West: Challenge for the Next Century". Report of the Western Water Policy Review Advisory Commission. Published by the National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- Foster, S. (1992). "Unsustainable development and irrational exploitation of groundwater resources in developing nations. An overview". In Selected Papers on Overexploitation (Simmers et al., ed.), Intern. Assoc. of Hydrogeologists, Heise, Hannover, vol. 3, pp. 321-336.
- García, M. y Llamas, M.R. (1992). "Aspectos hidrogeológicos en relación con la génesis y combustión espontánea de las turbas en los Ojos del Guadiana". Actas del III Congreso de Geología de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología . Salamanca. Tomo 2, pp. 285-289.

- Gleick, P. (1993). "Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources", Oxford University Press, 493 pp.
- Gleick, P. (1998). "The World's Water 1998/1999. The biennial report on freshwater resources". Island Press, California. 308 pp.
- Idris, H. y Noir, S. (1990). "Present groundwater status in Egypt and environmental impacts". *Environmental Geology and Water Sciences*, vol. 16, nº 3, pp. 171-177.
- LaMoreaux, P.E. (1991). "Environmental effects to overexploitation in karst terrane". *Proceed. IAH XXIII. Intern. Congress, Vol. I*, pp. 103-113.
- Lazarus, P. (1997). "Towards a regulatory framework for the management of groundwater in South Africa". Draft for the Directorate of Geohydrology, South Africa, 67 pp.
- Llamas, M.R. (1991). "The future of groundwater: a forecast of its exploitation and quality compared with past exploitation". In: *XXI Journées de l'Hydraulique (Sophia-Antipolis, 29-31 Janvier, 1991)*, Les Eaux Souterraines et la Gestion des Eaux, pp. IV.2.1.- 8.
- Llamas, M.R. (1992 a). "La surexplotation des aquifères: aspects techniques et institutionnels". *Hydrogéologie, Orleans*, núm. 4, pp. 139-144.
- Llamas, M.R. (1992 b). "Wetlands: An important issue in Hydrogeology". In *Selected Papers on Aquifer Overexploitation*, (Simmers et al., ed.), vol. 3, Heise, Hannover, pp. 69-86.
- Llamas, M.R. (1992 c). "La sobreexplotación de agua subterránea. ¿Bendición, maldición o mito?". En *Riegos y Drenajes*, nº 61, pp. 17-33.
- Llamas, M.R. (1994). "El Plan Hidrológico Nacional y las Aguas Subterráneas. Otro punto de vista". *Revista de Obras Públicas*, Marzo, pp. 13-16.

- Llamas, M.R. (1997). "Declaración y financiación de obras hidráulicas de interés general, mercado del agua, aguas subterráneas, planificación hidrológica" (Comentarios en relación con el Borrador de Mayo de 1997 de Reforma de la Ley de Aguas de 1985), en *Ingeniería del Agua*, vol. 4, nº 3, 11 pp.
- Llamas, M.R. (1998 a). "Las políticas agrarias y del agua en España", en *Vida Rural*, año V, nº 3, 3 pp.
- Llamas, M.R. (1998 b). "Groundwater overexploitation", *Proceeding of the UNESCO Congress on "Water in the 21<sup>st</sup> Century: a looming crisis?"*, Paris, 2-5 June 1998, vol. 2, preprint 20 pp.
- Llamas, M.R. (1999), "La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada" en "El agua a debate desde la Universidad", (ed. Arrojo, P. y Martínez Gil, F.J.), pp. 79-102. Institución Fernando el Católico (CSIC), Zaragoza.
- Llamas, M.R., Villarroya, F. y Hernández, M.E. (1996). "A Causes and Effects of Water Restrictions in Madrid during the Drought of 1991/1993", *Hydrology and Hydrogeology of Urban and Urbanizing Areas*. American Institute of Hydrology, pp. WQD-10-19.
- Llamas, M.R. y Custodio, E. (1999), "Aguas Subterráneas", *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, Fundació CIDOB Barcelona, Nº. 45-46, pp. 35-57.
- Lloyd, J.W.(1997). "The future use of aquifers in water resources management in arid areas". *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 22, Nº. IC, pp. 33-45.
- Lluria, M.R. y Fisk, M. (1994). "A large aquifer storage facility for the Phoenix area", in *Proceedings of the Second International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, American Society of Civil Engineers, Orlando, 10 pp.

- Margat, J. (1999). "Utilisations et abus des eaux souterraines dans les pays méditerranéens" en: *El Uso Intensivo de las Aguas Subterráneas, Aspectos Ecológicos, Tecnológicos y Éticos*, preprint 23 pp.
- McClurg, S. (1996). "Maximizing groundwater supplies", *Western Water*, Water Education Foundation, May/June 1996, pp. 4-13.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (1995). "Avance del Plan Nacional de Regadíos". Memoria. Octubre 1995.
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (1998 a). "Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados". Serie Monografías, Secretaría de Estado para Aguas y Costas. Madrid, 66 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (1998 b). "Borrador del Libro Blanco del Agua en España", Secretaría de Estado para Aguas y Costas, Madrid, 900 pp. aprox.
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (MOPTMA) (1993). "El Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional". D. G. de Obras Hidráulicas. Madrid.
- Myers, N. y Kent, J. (1998). "Perverse Subsidies: their nature, scale and impacts", International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.
- Nace, R.L. (1973). "On a 1972 American Water Resources Association Meeting", *Ground Water*, Vol. 11, Nº. 1, pp. 48-49.
- Ostrom, E. (1992). "Governing the commons: The evolution of institutions for collective action". Cambridge University Press, Cambridge. 275 pp.
- Sahuquillo, A. (1991). "La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en la mitigación de la sequía", *Revista de la Real Academia de Ciencias*, Madrid, vol. 85, pp. 275-291.

- Salameh, E. (1996). "Water quality degradation in Jordan". Royal Society for the conserv. of Nature. Amman, 179 pp.
- Sharp, J.M. (1991). "Aquifer overexploitation and reservoir depressurization and their effects in low-lying coastal areas: examples from the Gulf of Mexico Basin". Proceed. IAH, XXIII. International Congress, Vol. I, pp. 167-170.
- Shiklomanov, I., ed. (1997). "Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world". Informe E/CN. 17/1997/9. Publicado por la Organización Meteorológica Mundial. 88 pp.
- Simmers, I., Villarroya, F., y Rebollo, L.F. (editors) (1992). "Selected papers on overexploitation". Hydrogeology. Selected Papers, vol. 3, Heise, Hannover, 392 pp.
- Solley, W.B. (1997). "Preliminary estimates of water use in United States". Open-file report, 97-645, U.S. Geological Survey, pp. 1-6.
- Sophocleous, M. (1997). "Managing water resources systems: why 'safeyield' is not sustainable". Ground Water, vol. 35, No. 4, pp. 361.
- Sudman, R.S. (1997). "California's water problems", Water Education Foundation, Sacramento. California, 56 pp.
- Theiss, C.J. (1940). "The source of water derived from wells. Essential factors controlling the response of an aquifer to development", Civil Engineering, n° 10, pp. 277-280.
- United States Geological Survey (USGS) (1998). "Strategic Directions for the U.S. Geological Survey Ground-Water Resources Program". A report to Congress. Water Resources Division. Reston, Virginia. 14 pp.
- Water Education Foundation (1998). "Layperson's guide to Groundwater", Sacramento, California, 20 pp.

Wood, W.W. (1999). "Water use and consumption; what are the realities?", *Ground Water*, Vol. 37, nº 3, pp. 321-322.

Yan Tang, S.(1994). "Institutions and Collective Action: Self Governance in Irrigation". ICS Press, San Francisco. 146 pp.