

**REVISTA CIDOB d'AFERS
INTERNACIONALS 45-46.
Agua y desarrollo.**

Aguas subterráneas.
Ramón Llamas y Emilio Custodio

Aguas subterráneas

*Ramón Llamas y **Emilio Custodio

EL AGUA SUBTERRÁNEA COMO FACTOR DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La descarga de las aguas subterráneas a través de manantiales constituyó un elemento básico para la supervivencia de los primeros seres humanos y también para su progresivo desarrollo. El hombre fue aprendiendo a aprovechar mejor esas aguas mediante la excavación de zanjas, pozos y galerías subterráneas. Sin embargo, este tipo de aprovechamientos hídricos no exigió la cooperación o el acuerdo de colectivos humanos relativamente grandes.

En contraste, la construcción, operación y mantenimiento de las obras necesarias para aprovechar las aguas superficiales exigió la cooperación de grupos humanos de cierta magnitud. Suele admitirse que esta cooperación fue un poderoso factor para el nacimiento de la sociedad urbana o cívica. Son las frecuentemente denominadas civilizaciones hidráulicas que se desarrollan en las proximidades de grandes ríos en zonas áridas o semiáridas, como en los valles de los ríos Nilo, Tigris y Eúfrates, Amarillo y Azul, Indus, etc. Un estudio clásico es el de Biswas (1970). Los nómadas de aquellas zonas se fueron asentando en aquellos valles más o menos periódicamente fertilizados por las inundaciones naturales de los ríos. El ingenio humano consiguió producir inundaciones artificiales mediante la construcción de pequeños pozos y canales. Con toda probabilidad este uso del agua conduciría a disputas y conflictos, como ocurre también hoy, pero finalmente el sentido común se suele imponer para llegar a acuerdos a fin de hacer un mejor uso de este recurso, de forma que todos salgan ganando. No es ocioso

* Catedrático de Hidrogeología. Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid.
Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias.

**Catedrático de Hidrología Subterránea. Departamento de Ingeniería del Terreno. Universitat
Politécnica de Catalunya. Académico Correspondiente de la Real Academia de Ciencias.

recordar que uno de los textos legales más antiguos –el Código Hammurabi– que estuvo en vigor unos 1700 años antes de Cristo, era un código de aguas para regular la explotación de los canales de regadío y la navegación en Mesopotamia.

Esta diferencia entre los aprovechamientos cuasi individuales (de las aguas subterráneas) y colectivos (de las aguas superficiales) ha sido la norma general hasta nuestros días. Puede decirse que todos los grandes sistemas hidráulicos, desde los regadíos de Mesopotamia y los grandiosos acueductos romanos, hasta las grandes obras de América del Norte realizadas por el *Bureau of Reclamation*, se han basado en el uso de aguas superficiales o de las captadas directamente de grandes manantiales. Quizá la única excepción significativa fueron los grandes sistemas de galerías filtrantes (khanats) de Persia. Esta situación ha cambiado notablemente desde mediados de este siglo, debido a un espectacular aumento en el uso de las aguas subterráneas.

Este aumento se ha debido especialmente a tres factores que, con cierto orden de prioridad, son: la invención de la bomba de turbina, que permite extraer con facilidad agua de pozos tubulares desde profundidades elevadas, siendo posible caudales de varios a algunos centenares de l/s; la gran mejora y abaratamiento de las técnicas de perforación de pozos, y el progreso de la ciencia hidrogeológica, que está contribuyendo decididamente a suprimir la idea de que el origen, movimiento y localización de las aguas subterráneas es algo inasequible, misterioso y propio de zahoríes (cf. Custodio y Llamas, 1975, cap. 5.1). De hecho, estas aguas son susceptibles de evaluación cuantitativa con incertidumbres similares o menores que el agua en las otras fases del ciclo hidrológico.

En general, este gran desarrollo de las aguas subterráneas ha sido muy positivo, pues ha contribuido por una parte a reducir de modo muy significativo la escasez de alimentos y, por otra parte, ha facilitado el suministro de agua potable a centenares de millones de seres humanos, tanto en las zonas rurales y económicamente deprimidas, como en países altamente industrializados.

Sin embargo, este espectacular aumento en el uso de las aguas subterráneas se ha efectuado con frecuencia al margen de las instituciones públicas nacionales responsables de las grandes estructuras hidráulicas, que bien por falta de conocimientos hidrogeológicos, bien por inercias institucionales o por otros motivos, han tenido una participación reducida en la planificación y control de esos aprovechamientos de aguas subterráneas, cuando no opuesta.

Esta tan generalizada situación a nivel mundial explica que en algunas zonas la extracción de aguas subterráneas haya dado lugar a diversos tipos de problemas (Custodio, 1996, 1997a), entre los que cabe mencionar: la degradación de la calidad de las aguas bombeadas, principalmente en las zonas costeras, pero también en el interior del continente; el descenso excesivo de los niveles de agua en los pozos y en el acuífero, incluso con situaciones de agotamiento, y todo ello acompañado de un incremento de costes; la afección a cursos de aguas superficiales o lagos; la subsidencia o colapso del terreno, y los impactos ecológi-

cos en ecosistemas acuáticos, principalmente en los humedales. Estos potenciales efectos negativos del desarrollo del uso de las aguas subterráneas, si somos realistas, han sido frecuentemente exagerados hasta convertirlos en auténticos “hidromitos”. Es como atribuir a la humanidad la condición de enfermiza, cuando sólo algunas personas tienen fiebre.

Los motivos de estas exageraciones van desde las inercias institucionales, hasta las luchas por mantener una política de subvenciones, cuyo efecto es el de tergiversar la economía, a veces enriquecer a unos pocos a expensas de la comunidad y, por otro lado, crear un sector social poco productivo cuyo mayor esfuerzo es el de la pugna por mantener esos ingresos atípicos. Ahora bien, cerrar los ojos a la existencia de los efectos negativos asociados a la explotación del agua subterránea constituiría otra actitud igualmente perniciosa e inadmisibles, incompatible con el objetivo de conseguir un desarrollo sostenible no sólo de los recursos hídricos subterráneos, sino también de los superficiales, pues la interacción entre unos y otros es hoy indiscutible. A lo largo de las páginas que siguen se intenta presentar los aspectos más relevantes de esta problemática, así como sus posibles soluciones. No se va a tratar aquí de la sostenibilidad o ética del aprovechamiento o explotación de aguas subterráneas no renovables (a un plazo de siglos). Este tema tiene especial interés en algunos países, especialmente del norte de África y del Oriente Próximo, y presenta muchos puntos en común con la minería (véase Llamas, 1998b).

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES: ASPECTOS FISICOQUÍMICOS

La unidad de ciclo hidrológico fue ya científicamente establecida hace unos trescientos años y ha sido ampliamente demostrada; aunque esto no impide que, en amplios sectores de la sociedad, las aguas subterráneas estén todavía rodeadas de un halo de misterio, el cual es atribuible al desconocimiento derivado de una formación insuficiente y falta de información. Probablemente en casi todos los países todavía hay más zahoríes (o brujos del agua) que hidrogeólogos. El ámbito social y legal va cambiando pero, en general, muy lentamente. Fetter (1994, pp. 523-524) informa de una decisión judicial del año 1861 en el Estado Norteamericano de Ohio en la que la Audiencia, en relación con el agua subterránea en el caso de “Frazier versus Brown”, sentenció lo siguiente: “Debido a que la existencia, origen, movimiento y curso de tales aguas, así como de las causas que gobiernan y dirigen su movimiento son tan secretos, ocultos y escondidos, un intento de

establecer cualquier tipo de normas legales con respecto a estas aguas, sería prácticamente imposible”. Hubo sentencias parecidas en otros estados. Sin embargo, las cosas parecen ir cambiando. Según el mismo autor, en otro pleito también en la Audiencia del Estado de Ohio, en 1984 –es decir, más de un siglo después- en el caso de “Cline versus American Agregates” sentenció: “El conocimiento científico en el campo de la Hidrología en la década pasada ha avanzado hasta el punto que las superficies freáticas y los manantiales son más fácilmente descubribles. Este conocimiento puede establecer la relación entre la causa y el efecto de la extracción de agua subterránea y el nivel del agua. De este modo, la responsabilidad puede ser objetivamente asignada gracias a estos avances que faltaban lamentablemente cuando esta Audiencia sentenció sobre el caso ‘Frazier’ hace más de un siglo”. Si esto ha ocurrido en uno de los países tecnológicamente más avanzados, no es de extrañar la situación en otros muchos países.

Puede darse también otra postura extrema: la de considerar que las aguas subterráneas, al ser parte del ciclo hidrológico, puedan gestionarse de forma similar a las aguas superficiales, ignorando que tienen comportamientos muy diferentes, y de ahí las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas y la posibilidad de su tratamiento complementario. Esa asimilación en el tratamiento puede conducir a actuaciones desafortunadas, que es lo que básicamente ha ocurrido en España con la nueva Ley de Aguas de 1985. Esta Ley fue hecha desde una óptica dominante de gestión y uso de aguas superficiales. Su aplicación a las aguas subterráneas –a las que declaró de dominio público- está teniendo múltiples problemas (cf. Custodio y Llamas, 1997). Parece, pues, conveniente destacar algunas diferencias entre el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas que tienen especial incidencia para conseguir una gestión adecuada de este recurso. Estas diferencias no sólo se refieren al comportamiento hidrológico, sino también a los aspectos socioeconómicos. A continuación se tratan los primeros aspectos, dejando para el apartado siguiente los segundos.

En la mayor parte de los acuíferos, las aguas subterráneas se mueven con gran lentitud. Su velocidad casi siempre es inferior a 1 m/día. En cambio, las aguas superficiales fluyen en los ríos con velocidades del orden de 100 km/día, es decir, son unas 100.000 veces más rápidas que las aguas subterráneas. Ahora bien, el flujo de aguas superficiales o subterráneas que fluye a través del terreno puede no ser tan distinto ya que el agua superficial circula por unos cauces de sección muy pequeña, en comparación a la sección del acuífero a través de la cual fluyen las aguas subterráneas.

En cambio, el volumen de agua almacenada en superficie (lagos, embalses artificiales y ríos) es muy pequeño en comparación con el volumen de agua dulce almacenada en los primeros dos o tres kilómetros de la corteza terrestre. Con frecuencia, en muchos países el agua dulce subterránea almacenada y extraíble en los acuíferos suele ser del orden de diez a cien veces superior al agua almacenada en los lagos naturales y/o en los embalses hechos por el hombre; tal es, por ejemplo, el caso de California, donde

hoy es generalmente admitido que el agua dulce extraíble almacenada en sus acuíferos es del orden de veinte veces superior al agua máxima que puede ser almacenada en los embalses superficiales con una capacidad del orden de 50 km³ (WEF, 1998). En España, el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, en publicación) da una cifra de 47 km³ de capacidad de embalse superficial útil y las reservas subterráneas, en los primeros 100 a 200 metros, se estiman en 125 hm³ (Navarro et al., 1989). Teniendo en cuenta que en muchas áreas ya son habituales pozos de algunos centenares de metros de profundidad, llevar esa cifra a 300 o más km³ parece razonable, o sea, unas 6 veces el volumen de embalse, por lo menos, y eso teniendo en cuenta la existencia de hiperembalses que gran parte del tiempo permanecen casi vacíos.

Esto hace que el tiempo medio de permanencia de una partícula de agua en un embalse o lago superficial y en un acuífero sea muy distinto; desde semanas o meses en un lago, a decenios y hasta milenios en la mayor parte de los acuíferos. Este almacenamiento sensiblemente mayor del agua subterránea en los acuíferos concede a este recurso una gran inercia, de modo que los acuíferos o embalses subterráneos sufren menos la variabilidad del clima. Esta característica de las aguas subterráneas es muy importante desde el punto de vista práctico, especialmente al programar acciones para mitigar los efectos de la sequía (cf. Brumbaugh et al., 1994; Dzieglewski et al., 1993; Llamas, 1997). En muchas regiones como California y España, a pesar del gran sistema existente de embalses de aguas superficiales, se suelen plantear serios problemas de escasez de agua si se producen tres o cuatro años seguidos de sequía; sin embargo, para ese mismo plazo de tiempo los cambios en la mayor parte de los acuíferos o embalses subterráneos suelen ser poco relevantes. Cada día hay una mayor conciencia de que hablar de caudales o aportaciones medias (superficiales) en una cuenca hidrográfica tiene poco sentido desde el punto de vista de mitigar las secuencias secas que, en los climas mediterráneos, pueden bien durar 4 o más años seguidos. Por ejemplo, ya en la actualización del Plan Hidrológico de California de 1993, y también en la de 1998, se distinguen dos situaciones: una normal y otra en tiempo de sequía (CDWR, 1998). En una planificación hídrica racional, las disponibilidades de agua para los distintos usos, incluidos los ecológicos y estéticos, y con consideración de la calidad, deben ir acompañadas de la garantía deducida del estudio de la variabilidad real, incluidas las interferencias.

Pretender controlar la irregularidad de las aportaciones fluviales mediante la construcción de nuevos embalses puede no ser viable, tanto desde el punto de vista económico y ecológico como del hidrológico, ya que, aparte de los problemas de ocupación territorial y efectos en la flora y fauna, incluida la pesca, en los grandes embalses las pérdidas hiperanuales por evaporación pueden ser muy significativas. Se estarían construyendo embalses en los que una parte relevante del agua almacenada sería evaporada sin producir un uso económico (parece ser el caso del mayor embalse español, cf. Arrojo et al., 1997) y, al mismo tiempo, se podrían provocar trastornos muy serios en las aguas localizadas más

abajo. Shiklomanov (1998) estima que estas pérdidas por evaporación en los embalses son mayores que los usos mundiales para abastecimiento e industria.

Otra diferenciación muy relevante entre las aguas superficiales y subterráneas es su vulnerabilidad a la contaminación y su posible recuperación una vez contaminadas. Como es bien sabido, las aguas superficiales son muy sensibles a los vertidos de sustancias tóxicas. Considerando que una partícula de agua (contaminada o no) viaja en un río con una velocidad típica del orden de 100 km/día, esto supone, por ejemplo, que un vertido tóxico en la cabecera del río Rin en Suiza estaría en la desembocadura del río en Holanda en un par de semanas, aproximadamente. En cambio, las aguas subterráneas contaminadas se mueven con extraordinaria lentitud y antes de que un vertido contaminante en un acuífero, por ejemplo, por fugas de un tanque de gasolina, aparezca en un manantial, pozo o río, pueden fácilmente transcurrir algunos años. En ocasiones, cuando se ha detectado una contaminación de aguas subterráneas, el agente causante de la contaminación –por ejemplo, una filtración de un tanque enterrado de sustancias tóxicas- puede no existir física o legalmente.

La descontaminación de un acuífero suele ser un proceso muy largo y muy costoso, y a veces prácticamente inviable. En una declaración de la Unión Europea (DOCE, 25.XI.96) se indicaba que la contaminación de las aguas subterráneas era el principal problema de la política del agua en Europa. Esa contaminación suele deberse esencialmente a los usos del terreno, entre los que la fertilización agrícola y la ganadería suelen ser importantes agentes. Tal es el caso de la severa contaminación por nitratos que padecen numerosos acuíferos en el Reino Unido, Holanda, Dinamarca y Alemania. En estos países el regadío (con aguas superficiales o subterráneas) es muy reducido, pero el uso agropecuario del territorio es muy intensivo. En España la situación es similar, aunque con un peso importante de la contaminación derivada del regadío en el medio rural, en áreas urbanas y periurbanas (Custodio, 1992 b), a veces con problemas serios de vertidos y fugas o de recuperación de niveles cuando se abandonan campos de pozos (Custodio, 1997).

Otro “hidromito” frecuente entre los ingenieros hidráulicos clásicos es el de suponer que todo bombeo de aguas subterráneas afecta de modo prácticamente instantáneo a un curso de agua o a un lago o embalse. Se olvida que el factor de afectación de un pozo a un río o lago es aproximadamente proporcional al inverso al cuadrado de la distancia del pozo al río y al coeficiente de almacenamiento del acuífero y proporcional a la transmisividad del acuífero (cf. Custodio, 1992a y 1993). Esto puede suponer en muchos casos que un bombeo situado a unos kilómetros de distancia de un río, en un acuífero libre y no muy permeable, puede tardar bastante años antes de que el caudal extraído afecte sensiblemente al río. En cambio, si se trata de un pozo muy próximo a un curso de agua y de un acuífero muy permeable, la afección al río será sensible al cabo de pocas horas. En resumen, cada caso hay que estudiarlo de modo individual, sin caer en peligrosas simplificaciones o generalizaciones, además de tener en cuenta que las extracciones estacionales

no son simplemente aditivas al existir las reservas subterráneas y el factor de afectación. Así, es posible diseñar una estrategia para extraer agua para riego de un acuífero sin afectar riegos con aguas superficiales aguas abajo, ya que la interferencia puede coincidir fuera de la época de riego, cuando ya no hay demanda.

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS APROVECHAMIENTOS CON AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS: ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS

Normalmente, los grandes proyectos hidráulicos con aguas superficiales han sido promovidos, proyectados, construidos y financiados por agencias públicas y con dinero público. Eso ha acostumbrado a exigir largas negociaciones previas. Los usuarios de esas aguas, si son muchos (como suele suceder en los proyectos de regadío) han tenido que asociarse previamente de algún modo. Así, el tiempo transcurrido para que uno de esos grandes proyectos esté en pleno funcionamiento puede ser fácilmente de treinta años o más.

Como contraste, la explotación de las aguas subterráneas ha sido, por lo general, fruto de la iniciativa privada, de los pequeños municipios o de las industrias. El número de captaciones en un acuífero con cierto grado de aprovechamiento puede fácilmente ser entre 1 y 5 pozos por km². Esto quiere decir que en un acuífero de 1.000 km² de extensión superficial (un tamaño no muy grande) existen unos varios miles de usuarios o beneficiarios que, por lo general, explotan ese recurso sin ninguna coordinación entre ellos, entre otras razones porque son ellos mismos los que han financiado todos los gastos para la construcción, la operación y el mantenimiento de sus pozos.

Es bien conocido que los regadíos con aguas superficiales suelen ser poco eficaces. La FAO considera (cf. Klohn et al., 1998) que en los cultivos de regadío las plantas sólo utilizan el 40% del agua destinada. Esto es debido a una serie de causas, entre las que destaca el hecho de que el precio muy bajo del agua superficial de regadío no induce a su buen uso. Es cierto que no toda el agua excedente se pierde inútilmente, pues una parte significativa vuelve a los cursos de agua, bien sea casi directamente por los drenajes, bien a través de los acuíferos; de este modo, ese agua puede ser aprovechada por otros usuarios de aguas localizadas más abajo. Sin embar-

go, no hay duda de que este no es un buen procedimiento, ya que a lo largo de ese “reciclaje del agua” aumenta notablemente su contenido en sales y sustancias contaminantes. La cuenca del río Segura en España y la del río Colorado en los Estados Unidos son dos casos clásicos de empeoramiento de la calidad de sus aguas por los flujos de retorno de los regadíos.

En general, parece que en los países meridionales de la Unión Europea el inventario del aprovechamiento de las aguas subterráneas es bastante deficiente. Por ejemplo, la actual Ley de Aguas de España de 1985 quiso organizar el Catálogo (de aguas privadas, anterior a la Ley) y el Registro (de aguas públicas), pero después de trece años la situación de ambos inventarios de aprovechamientos de aguas subterráneas tiene un retraso considerable (Llamas, 1997; MIMAM, 1998). En otros muchos países semiáridos menos desarrollados es lógico suponer que la situación puede ser todavía peor.

En los países en vías de desarrollo, los regadíos con aguas superficiales a veces han contribuido a la propagación de enfermedades como la malaria, la filariasis y la esquistosomiasis (Klohn et al., 1998). Este problema no se da prácticamente nunca en los regadíos con aguas subterráneas, y es una de las razones por la que los abastecimientos urbanos e industriales suelen preferir el agua subterránea, que está exenta de gérmenes patógenos si las captaciones están bien construidas y mantenidas.

En los últimos años, y quizá de modo más intenso desde la última gran sequía de California (sucedida entre 1987 y 1992), se viene hablando con mucha frecuencia de la oportunidad de introducir un “mercado del agua” como forma de resolver o mitigar los conflictos organizados por la escasez de este recurso, especialmente en períodos de sequía. El tema en sí es complejo, y afecta especialmente a las aguas de dominio público, es decir, a las superficiales. Cuando las aguas subterráneas son de propiedad privada, ese mercado del agua ya existe. Tal era en España la situación de la mayor parte de los aprovechamientos de aguas subterráneas realizados antes de la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985. Un buen análisis del funcionamiento de estos mercados del agua en España, y especialmente en el archipiélago canario, podría tener un notable interés, aun tratándose de mercados imperfectos y con un funcionamiento *gris*. En 1997 el Ministerio de Medio Ambiente español presentó una propuesta de modificación de la Ley de Aguas de 1985 para, entre otras cosas, permitir, bajo cierto control, la existencia de mercados del agua (cf. Llamas, 1997), que están encontrando bastante resistencia en no pocos sectores sociales. Sin entrar en detalles, según Howitt (1998), uno de los autores que más ha tratado este tema, “los mercados del agua tienen un fuerte y creciente papel que jugar en la resolución de los conflictos hídricos, pero constituyen sólo una parte del proceso de resolución y no su sustituto. De hecho, los mercados del agua rara vez surgen de modo espontáneo sino que, por lo general, emergen como parte de una negociación para resolver un problema político o hidrológico”.

¿QUÉ SE SABE SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS?

La documentación sobre los usos del agua suele ser incoherente, confusa e irregular, y los datos socioeconómicos en relación con la política del agua son escasos (UN, 1997, p. 127). Esto también ocurre en los países de la Unión Europea, como se ha puesto nuevamente de manifiesto en las múltiples reuniones técnicas organizadas por la propia UE con objeto de llegar a una política común de aguas. Existe un esfuerzo por parte de la Agencia Europea de Medio Ambiente y de la Conferencia Europea de Estadística para resolver este problema, que en cierto modo ya fue solucionado hace más de un par de décadas por los Estados Unidos, donde cada cinco años el *U.S. Geological Survey* publica una detallada estimación de los usos del agua en ese país. En Solley et al. (1993) puede verse la última estadística completa publicada referente a 1990, y en Solley (1997) la estimación preliminar del uso del agua en 1995.

Al ser tan deficiente la información sobre los usos del agua en general, y de la subterránea, en particular, no se ha considerado oportuno tratar de resumir en una tabla los usos del agua subterránea de acuerdo con lo que dicen algunas enciclopedias clásicas, como las de van der Leeden (1990) o Gleick (1993). Sería contribuir a difundir la “ilusoria precisión” que tienen esos datos, de acuerdo con Gleick (1993).

Es frecuente que en muchos de los últimos trabajos de carácter internacional sobre la crisis del agua o sobre el desarrollo hidrológico sostenible que ha publicado Naciones Unidas no se distinga entre el uso de las aguas superficiales y las subterráneas. Por ejemplo, en el “Comprehensive Assessment of the Fresh Water Resources of the World: Report of the Secretary General” (UN, 1997) no se diferencian convenientemente los usos de las aguas subterráneas de los de las aguas superficiales.

Se plantea, pues, un difícil dilema: ¿cómo hacer una previsión de los usos del agua futuros cuando se conocen tan mal los usos del agua actuales? La solución a corto plazo no parece fácil. Hay que huir tanto de optimismos infundados como de “profecías maximalistas”. Por ejemplo, en el ya mencionado informe de las Naciones Unidas (N.U., 1997, p. 84) se dice: “aunque hay una gran incertidumbre acerca de las necesidades futuras de agua, es claro que todos los sectores tendrán una demanda creciente y que ya hay stress en muchas regiones del mundo”. Shiklomanov (1998) estima que la demanda de agua del 1995 al 2025 aumentará un 38% en el mundo, y un 20% en América del Norte.

Sin embargo, casi al mismo tiempo, Solley (1997), refiriéndose a los usos del agua en los Estados Unidos, dice lo siguiente: “Los usos totales en 1995 fueron un 2% menores que en 1990 y un 10% menores que en 1980, que fue el año de uso más alto en los Estados Unidos. Estas estimaciones indican que el uso del agua decreció de 1980 a 1995, aunque la población continuó aumentando en el mismo período”. Evidentemente, la

situación de los Estados Unidos no es extrapolable a la del resto de los países, pero sí es una llamada de atención a la hipótesis de que los usos van a continuar aumentando como hasta ahora, especialmente si comienza a imponerse la idea de que los usuarios deben pagar, al menos, una parte significativa de las obras hidráulicas necesarias para llevarles el agua. Cuando el precio es casi nulo la demanda es casi infinita. Esto no ocurre en los regadíos con aguas subterráneas. Por ello es tan importante tener datos fidedignos (hidrológicos, económicos y sociológicos) sobre estos regadíos. Ese análisis debería realizarse en todos los países, pero de modo especial en aquellos de pocos recursos económicos y de escasos recursos hídricos. En estos estados, según Naciones Unidas (UN, 1997, p. 84) “es claro que la escasez de recursos hídricos será un factor limitante, pues en ellos será difícil y caro aumentar los recursos disponibles mediante la construcción de nuevos embalses superficiales”. Ni siquiera se hace una alusión al posible papel de las aguas subterráneas para resolver esos problemas. Estas informaciones no facilitan un correcto enfoque del problema, y alientan posturas alarmistas, en buena parte innecesarias.

Gleick (1993) presentó un interesante análisis histórico de algunas de las previsiones de futuras demandas (que no necesidades) de agua realizadas por algunos de los autores más citados y que correspondían, en general, a trabajos patrocinados por organismos internacionales. Es interesante hacer notar que las demandas previstas hace apenas veinte años han quedado reducidas a casi la mitad en la última previsión de Shiklomanov (1998), y esta proyección todavía es, probablemente, muy exagerada.

ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LA UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como ya se ha dicho, el aprovechamiento de las aguas subterráneas ha experimentado un notabilísimo aumento en la segunda mitad de este siglo en todos los países, pero en particular en los países de clima árido o semiárido, tanto si son industrializados (España, Italia, los estados de California y Tejas, etc.) como si están en proceso de desarrollo (India, China, Irán o México).

Este desarrollo ha producido unos beneficios socioeconómicos indudables, pues ha facilitado el aprovechamiento de agua potable a aproximadamente la mitad de la población mundial, y también la producción de alimentos en zonas económicamente deprimidas como la India o China, donde el problema de las hambrunas no sólo prácticamente ha desaparecido, sino que incluso alguno de estos países se ha convertido en exportador de alimentos básicos. Es significativo que hace ya más de diez años

Dains and Pawar (1987) estimaban que el 70% u 80% de la producción agrícola de la India dependía del agua subterránea.

Por lo general, hay pocos datos específicos y cuantitativos sobre los aprovechamientos de aguas subterráneas, pero a veces se encuentran interesantes excepciones. Por ejemplo, Klohn et al. (1998), expertos de la FAO, dicen lo siguiente: “Aunque los sistemas más grandes de regadío se hacen con aguas superficiales, el agua subterránea tiene un papel estratégico. Como su garantía de suministro es mayor que la de las aguas superficiales, los regadíos basados en agua subterráneas suelen tener un mayor rendimiento. El agua subterránea constituye también un recurso de reserva cuando la sequía reduce la disponibilidad de agua superficial. Los agricultores acceden al agua y la extraen de modo individual, y por ello tienen su gestión directa con la correspondiente atención a su mantenimiento y a los costes. El agua subterránea normalmente es sana, y no implica peligro de enfermedades hídricas. El acceso al agua subterránea es con frecuencia un factor crítico, que permite a las poblaciones rurales salir de la pobreza, pues este recurso puede ser conseguido cerca de donde va a ser utilizado”.

La situación en España parece confirmar esta afirmación (cf. Llamas, 1998a). El regadío total en España es de 3,5 millones de hectáreas. De éstas, 2,5 millones se riegan con aguas superficiales y utilizan unos 20 km³/año de agua, es decir, una dotación de 8.000 m³/ha. El millón de hectáreas restante se irriga con aguas subterráneas, con un bombeo de 4 a 5 km³/año, es decir, con una dotación de unos 4.500 m³/ha. Pero con esos 4 o 5 km³ de agua se produce más en valor monetario y en puestos de trabajo, que con los 20 km³ de aguas superficiales. Así pues, en España el rendimiento socio-económico de los regadíos con aguas subterráneas viene a ser unas cuatro o cinco veces superior al de los regadíos con aguas superficiales. La planta no distingue entre agua superficial y agua subterránea; la diferencia está en la forma de gestión y en el interés en el uso eficiente. Mientras en unos lugares hay quejas y conflictos por el pago de las exiguas tasas de las aguas superficiales, en áreas vecinas se paga al coste total de la extracción de aguas subterráneas de pozos profundos, a veces incluso con un tratamiento de reducción de salinidad, y el resultado es económicamente competitivo.

Ahora bien, el aprovechamiento de las aguas subterráneas no es una panacea que puede resolver todos los problemas hídricos. Basta citar, por ejemplo, su escasa incidencia en la mitigación de inundaciones. Existe una relativamente abundante literatura sobre los efectos o impactos negativos que puede tener la utilización de las aguas subterráneas (cf. Custodio, 1992a, 1993, 1996, 1997a; Bachman et al., 1997; McClurg, 1996; Sudman, 1997, por ejemplo).

De acuerdo con Llamas (1998 b), estos impactos o efectos negativos pueden clasificarse en estos cinco grupos:

- descenso de los niveles del agua en los pozos de bombeo, que puede conducir a la pérdida de caudal e incluso a su desecación, o a una exigencia de energía de elevación que haga que el aprovechamiento sea económicamente inviable;

- degradación de la calidad química, al inducir la entrada de aguas superficiales o subterráneas de inferior calidad. Este proceso es especialmente frecuente en los acuíferos costeros;
- subsidencia o colapso del terreno, debido al cambio en la situación de tensiones en el terreno generada por las alteraciones en la presión de agua producidas por los bombeos;
- afección a los caudales de los cursos de agua conectados con el acuífero;
- impacto ecológico en los ecosistemas acuáticos (especialmente en humedales y bosques en galería), debido al descenso del nivel freático.

Con objeto de tomar las decisiones adecuadas, estos indudables posibles efectos negativos deben compararse con los beneficios antes mencionados, al igual que se hace en cualquier proyecto de desarrollo o de ingeniería. Buena parte de los impactos negativos aludidos son consecuencia de la naturaleza de los acuíferos y totalmente previsibles, así como cuantificables y, por lo tanto, se pueden y deben asumir. Si no se hace así, se comete un error, con frecuencia por ignorancia, y el hecho de culpar de las desviaciones a las aguas subterráneas es actuar irresponsablemente. En este contexto, con demasiada frecuencia se alude a la “fragilidad” de las aguas subterráneas, y se ha difundido así el “hidromito” (cf. Custodio y Llamas, 1997) de que el agua subterránea es un recurso especialmente delicado. El hecho que los gestores del agua suelen considerar que normalmente es preferible –cuando sea posible– acudir a soluciones basadas en el empleo de aguas superficiales, se deriva de una visión sesgada, de una falta de análisis de alternativas, de ideas preconcebidas, de un conocimiento inadecuado o de otros intereses menos confesables. No deja de ser llamativo el énfasis que se pone en resaltar los aspectos negativos de la explotación de las aguas subterráneas, y la vehemencia que se da a los ejemplos, frente al disimulo con que se tratan los a veces notables aspectos negativos del uso de las aguas superficiales.

Los autores de este trabajo no conocen todavía ningún caso en el que la explotación intensiva de un acuífero de tamaño medio o grande haya terminado en un desastre económico o social. La excepción puede ser la salinización de algunas zonas costeras, pero este proceso casi siempre está causado por una mala ubicación de los pozos, y no por una extracción excesiva. Y esto es así tanto en los países industrializados como en los en vías de desarrollo, como se puso de manifiesto en las jornadas que sobre este tema organizaron las Naciones Unidas en Canarias (cf. Custodio y Dijon, 1991), y que se comentan en Custodio (1994) y Custodio y Bruggeman (1987).

En contraste, aunque es poco frecuente encontrar literatura científica sobre los problemas originados en aprovechamientos con aguas superficiales, los casos de proyectos de regadíos con estas aguas que han resultado un fracaso económico o ecológico parecen ser numerosos. Quizá la excepción sea la desecación del Mar Aral, sobre la que se ha producido abundante literatura. Ello se debe quizá no sólo a la espectacularidad y gravedad

del impacto ecológico, sino a que la nueva situación política de la zona no facilita mantener el problema en silencio. Pero existen otros muchos casos análogos. Por ejemplo, el costoso regadío de Chira-Piura en Perú quedó seriamente perjudicado debido a la reducción del volumen de su principal embalse, el de Poechos. La capacidad inicial de esta presa (unos 1.000 millones de m³) quedó sensiblemente reducida, poco después de su construcción al comienzo de la década de los ochenta, debido a los sedimentos aportados tras las primeras inundaciones relacionadas con el fenómeno de *El Niño*. Algunas referencias de interés de otros casos similares pueden encontrarse en Turner y Rabelais (1991) y Vörösmarty et al. (1997a y b).

Klohn et al. (1998) y otros autores suelen indicar que el principal fracaso de los sistemas de regadío suele ser el encharcamiento y/o la salinización de los suelos. El World Resources Institute (citado en Klohn et al., 1998) considera que hay en el mundo entre 80 millones y 110 millones de hectáreas de terreno cultivable, o sea, esta organización supone que entre el 25% y el 35% de toda la superficie agrícola mundial regada está afectada por problemas de encharcamiento y/o salinización de suelos, y ello es debido a un mal drenaje junto con una aplicación excesiva de agua de regadío. En su reciente informe oficial sobre el agua, las Naciones Unidas (N.U., 1997) aluden repetidas veces al serio problema de la salinización y el encharcamiento de suelos en los regadíos mal diseñados, pero consideran que los terrenos afectados son sólo el 20% de los 250 millones de hectáreas que se irrigan en todo el mundo. Este hecho, por otra parte, es bien conocido desde hace muchos años (cf. Custodio y Llamas, 1975) y, en ocasiones, como en los regadíos del Punjab (Pakistán), el problema se ha resuelto haciendo descender el nivel freático mediante la extracción de agua subterránea que, a su vez, se emplea para regar.

El proceso de la salinización y encharcamiento de los suelos (a consecuencia de regadíos con aguas superficiales mal diseñadas) no es un fenómeno exclusivo de países en vías de desarrollo. Así, por ejemplo, los problemas de salinización de suelos y de impacto ecológico en los regadíos de la vertiente occidental del Valle de San Joaquín, en California, han dado lugar a una abundante literatura científica y sociológica (cf. Sudman, 1998; Tanji, 1991; CWRD, 1998), pero sigue sin encontrarse todavía una solución clara. En algunas ocasiones, la raíz del problema está en que para “demostrar” que los proyectos son económicamente atractivos se suele “olvidar” el sistema de drenaje; los problemas suelen aparecer unos años después de la inauguración. Según Klohn (1998), el drenaje agrícola requiere una organización social eficaz. Por eso, según este autor, funciona en el norte de Europa, se aplica con dificultad en los Estados Unidos y ha dejado de funcionar en los países excomunistas, donde las grandes explotaciones colectivas han sido entregadas a los agricultores, pero sin haber resuelto el problema del drenaje. En España aún falta un estudio que aborde esta problemática y extraiga enseñanzas de las actuaciones fallidas o con problemas.

EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS SISTEMAS HÍDRICOS. USO CONJUNTO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Como corolario del conocimiento científico de la unidad del ciclo hidrológico y de los nexos que existen entre las aguas meteóricas, las aguas superficiales y subterráneas continentales y las oceánicas, desde hace al menos tres o cuatro décadas se viene escribiendo con frecuencia del gran interés del uso combinado (o conjunto, o alternado) de las aguas superficiales y subterráneas. De hecho, el uso combinado o, más frecuentemente, alternado de ambas aguas funciona en muchos sitios y desde hace muchos años (cf. Llamas, 1969; Sahuquillo, 1991). El área de Barcelona es un buen ejemplo de esto desde la década de los cuarenta (cf. Custodio, 1986). Sin embargo, en muy pocas regiones del mundo, a escala mediana o grande, ese uso conjunto se lleva a la práctica de un modo generalizado, planeado, dirigido y controlado por alguna agencia responsable de la gestión de recursos hídricos.

Hoy en día existen numerosos programas informáticos preparados para facilitar a los gestores métodos “racionales” para poner en práctica una utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas (por ejemplo, Andreu y Sahuquillo, 1987; Hantush y Mariño, 1989; Basagaoglu y Mariño, 1998). Sin embargo, en muy pocos lugares esos sistemas se aplican de un modo planificado. Lo que existe en muchos sitios es un uso alternado, es decir, sólo cuando fallan las aguas superficiales (que suelen resultar casi gratis para los usuarios, pues pagan todos los contribuyentes) se acude a las subterráneas, lo que supone para los agricultores un coste mayor. Esto suele suceder en las sequías.

Como dice McClurg (1996), el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas es aparentemente un concepto fácil de entender. 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 y compleja, y a menudo es fuente de conflictos. Esto no quiere decir que no haya sido puesto en práctica, y desde hace tiempo, en algunas regiones, como en el sudeste de Estados Unidos por el *Metropolitan Water District of Southern California* y el *Arizona Water Banking Authority*, y a nivel español en el Baix Llobregat, Barcelona (Custodio, 1986). Las cuestiones técnicas sobre la capacidad del acuífero para recibir y almacenar el agua recargada deben ser adecuadamente estudiadas, pero es un aspecto técnico que admite diversas soluciones, en unos casos simples y en otros más o menos sofisticadas (Custodio, 1986). Los problemas de fondo 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, en relación con la gestión, han retrasado durante muchos años la puesta en práctica de la recarga artificial en todo el mundo, a pesar de reconocer que ese es un método eficaz para mejorar la garantía del suministro de agua, con un coste razonable y, en general, aceptable desde el punto de vista ambiental. Por el contrario, en boca de los medios de comunicación ha nacido el “hidromito” de que la recarga artificial es la panacea que lo soluciona todo, desprestigiando su valor técnico y de gestión, y transformando un medio en un fin. Lamentablemente, no son frecuentes los planteamientos en los que ni se apunta la fuente de agua, ni su calidad, ni la posibilidad del subsuelo de actuar como almacén, ni quién y cómo se ha de gestionar.

La recarga artificial es un instrumento, y no un fin, y no siempre es necesario. De hecho, el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas funciona en muchos lugares del mundo en los que las aguas subterráneas “naturales” sólo se bombean en los años secos y, en cambio, en los años húmedos se utilizan las aguas superficiales, dejando que el acuífero se recupere de modo natural. Esta es, por ejemplo, la situación propuesta para el abastecimiento de la región de Madrid, en lugar de acudir a la construcción de nuevos embalses en regiones alejadas (cf. Llamas et al., 1996). Esta solución ya se aplica en el denominado *Salt River Project*, en Arizona (cf. Lloria and Fisk, 1994).

Desde el punto de vista institucional y legal, las modalidades para gestionar un acuífero pueden ser muy variadas. Por ejemplo, en California, que es la región del mundo en la que antes y en mayor proporción se practica el uso conjunto, se distinguen actualmente (Bachman et al., 1997; WEF, 1998) hasta seis métodos diferentes de gestionar un acuífero.

La escasa utilización conjunta o alternada de las aguas superficiales y subterráneas a nivel general no es sino un lógico corolario de la escasa atención que tradicionalmente han dedicado a las aguas subterráneas las administraciones del agua de casi todos los países. Es una actitud (o “enfermedad”) generalizada, que ya en 1972 un hidrólogo americano definió como “hidroesquizofrenia” (cf. Nace, 1973), y que ha sido analizada con relativo detalle en el caso de España (cf. Llamas, 1985).

PRINCIPALES OBSTÁCULOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN UNA ADECUADA POLÍTICA DEL AGUA

En diversas ocasiones, y por diversos autores, se han tratado las causas de la falta generalizada de integración entre las aguas superficiales y las subterráneas. Estos motivos son variados, pero pueden clasificarse en los cuatro grupos siguientes: a) falta de educación

hidrogeológica; b) desafortunados incentivos económicos o subvenciones para las aguas superficiales; c) el sistema legal y administrativo de la gestión del agua; d) la “invisibilidad” del agua subterránea. Todos ellos han sido desarrollados con detalle en otros trabajos (cf. Custodio, 1995; Llamas, 1998 d). Ahora se va a insistir principalmente en el tema económico, que es el que parece más relevante. Se parte del hecho de que los aprovechamientos de aguas subterráneas suelen tener una protección económica o subvención mucho menor, a veces nula, en comparación con las importantes ayudas económicas procedentes de fondos públicos que han tenido y tienen la casi totalidad de las grandes obras hidráulicas.

Desde hace años, se ha venido insistiendo en que los aprovechamientos que utilizan aguas subterráneas suelen ser económicamente más ventajosos que los que emplean aguas superficiales. Sin embargo, para el usuario directo del agua esto muchas veces no es así, ya que los gastos de construcción (y en ocasiones también los de mantenimiento y operación del sistema) no son por cuenta del beneficiario de esa agua y, en caso que así sea, lo son en una pequeña proporción. Esos costes son transferidos al erario público por procedimientos más o menos directos. Esta situación no es específica de España, sino que ocurre en casi todos los países (cf. Dains and Powar, 1987; Myers and Kent, 1998; Llamas, 1998a y c).

La Comisión de la Unión Europea está preparando una Nueva Directiva-Marco sobre el Agua, que incluye un artículo exigiendo que el beneficiario debe pagar todos los costes que han hecho falta para proporcionarle esa agua, incluidas también las externalidades. Este artículo está encontrando una fuerte oposición en muchos estados miembros de la Unión Europea, y es difícil predecir cómo quedará su redactado final. Esta discrepancia está protagonizada principalmente por 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 así, al menos con carácter general, ya que los regantes con aguas subterráneas de esa misma área pagan normalmente el coste total del agua que utilizan y, por otra parte, esa agricultura con aguas subterráneas suele ser la más valiosa económicamente, como ya se ha dicho anteriormente. Además, como exponen Myers and Kent (1998), las subvenciones a las grandes obras hidráulicas no sólo son perjudiciales para la economía, sino también para el medio ambiente. Sin embargo, la influencia de los grupos interesados en que se mantenga ese sistema tradicional de agua de regadío quasi-gratuito son muchos y fuertes, como se ha escrito recientemente con referencia a España (cf. Llamas, 1997 y 1998a).

Finalmente, dada la relativa frecuencia con la que los medios de comunicación dan noticia de políticos y gestores que han recibido dinero ilegal por la adjudicación de grandes obras hidráulicas, no puede desecharse que en algunos casos la obtención de ese dinero sea un motivo para que esas personas prefieran las grandes obras hidráulicas a su equivalente solución en aguas subterráneas, que suponen inversiones mucho menores y además poco vistosas, y en las que buena parte del coste se traslada a la explotación.

Sin embargo, los factores económicos no siempre constituyen el núcleo de los problemas hídricos. Es bien sabido que con frecuencia los problemas del agua tienen un fuerte comportamiento emocional. Recientemente un conocido profesor de hidrogeología de Israel publicó un sugerente artículo titulado “Una fábula sobre el agua” (Issar, 1998). En él sostiene que las discusiones sobre el agua subterránea de la zona de los montes de Judea, que es objeto de diversas disputas entre israelíes y palestinos, tiene muy poca relevancia económica. En su “fábula” dice Issar que los 200 millones de metros cúbicos objeto de la polémica podrían ser sustituidos por agua del mar desalinizada, con un coste de unos 200 millones de dólares al año, lo que equivale al 0,4% del Producto Nacional Bruto, y que además estos 200 millones de dólares podrían ser recuperados con creces como consecuencia del acuerdo con los palestinos, si en virtud de éste se reduce sensiblemente el robo anual de unos 40.000 coches propiedad de israelíes, que suele atribuirse a los palestinos. No es probable que la tesis de Issar sea admitida por los responsables de Israel. Tampoco se puede ignorar que esta “emocionalidad” del agua puede ser manipulada con finalidades políticas o económicas.

La “invisibilidad” del agua es una de las principales causas de la mala gestión de las aguas subterráneas, por varios motivos. En primer lugar, hace que las aguas subterráneas en los acuíferos no tengan uno de los principales atributos que tienen las 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 casi todas las religiones. Por ello, el conocimiento del gran público sobre el agua subterránea suele ser reducido, y no suele identificar que muchas de las espectaculares manifestaciones del agua son manantiales, o sea, la descarga de acuíferos.

La gran belleza plástica que pueden exhibir 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 en televisión de un político abriendo la compuerta de un gran canal o el desagüe de fondo de una presa es mucho más vistosa que la pequeña caseta (puede haber cientos iguales) que protege la parte superior de un pozo!

Esto suele conducir a que, en estos tiempos en que los media, especialmente la televisión, juegan un papel tan importante, los políticos suelen preferir las grandes obras hidráulicas superficiales a las soluciones equivalentes basadas en las aguas subterráneas.

POSIBLES ACCIONES PARA CONSEGUIR UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

De lo anteriormente expuesto se deduce que las principales dificultades para que las Administraciones del agua (federales, estatales, locales) integren de modo práctico el uso conjunto (o alternado) de aguas superficiales y subterráneas son: la frecuente existencia de ideas equivocadas sobre el valor y la confiabilidad de las aguas subterráneas en amplios sectores de la sociedad, que van desde el personal técnico de las Administraciones hasta el gran público (si bien esta ignorancia varía mucho de un país a otro); y la presión de poderosos grupos económicos (agricultores, constructores, oficinas de ingeniería, etc.) que desean a toda costa que no desaparezca o disminuya la “cultura de la subvención”.

En las últimas décadas se ha alcanzado una mayor concienciación sobre el papel que están jugando las aguas subterráneas en la política del agua de muchos países. Sin embargo, esa concienciación todavía no parece haber llegado con la necesaria evidencia o fuerza a los núcleos más importantes de toma de decisiones a nivel internacional y nacional. La coyuntura socioeconómica mundial, tal como la describen Myers and Kent (1998) (tendencia a la privatización de muchos servicios hídricos, desarrollo sostenible, preocupación ecológica, reducción del déficit público, etc.) 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.

Para lograr esos objetivos se sugieren, con cierto carácter de prioridad, las acciones siguientes:

Primera acción: intervención más activa de los grupos profesionales de hidrogeólogos a nivel internacional (Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Asociación Internacional de Recursos Hídricos, etc.) y nacional (*National Groundwater Association*, Asociación Brasileña de Aguas Subterráneas, Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, etc.), con el objetivo de hacer llegar su voz a los medios de comunicación y también a los respectivos gobiernos (federales, estatales y locales). También habría que hacerse eco de estas actuaciones en ciertos organismos internacionales recientemente constituidos, como la *Water Global Partnership* (ligada al Banco Mundial), el Consejo Mundial del Agua y la Comisión Mundial de Grandes Presas.

Segunda acción: promocionar o fomentar los programas de educación sobre el agua para las escuelas primaria y secundaria, y procurar que en ellos se dé el debido peso al agua subterránea. Quizá, más que inventar programas nuevos, se trataría de adaptar a las necesidades locales algunos de los elaborados recientemente, como los ya mencionados del *U.S. Geological Survey*, de la *Water Education Foundation* o del *Stockholm Environment Institute*, o los que ha ido realizando el Instituto Tecnológico Geominero de España.

Tercera acción: exigir una mayor transparencia y facilidad de acceso a los datos hidrológicos, tanto superficiales como subterráneos, y de modo especial sobre los informes económicos y de impacto ambiental. Esta nitidez facilitaría la toma de conciencia social sobre la necesaria solidaridad en el uso de las aguas subterráneas.

Cuarta acción: exigir en la mayor medida posible que todo proyecto de aguas de cierta importancia tenga los correspondientes análisis de viabilidad económica, de alternativas y de impacto ecológico. Estos estudios deben hacerse no sólo a priori en los nuevos proyectos de obras, sino también “a posteriori y principalmente”, es decir, sobre aquellas grandes obras hidráulicas de cada país. Es de prever que la inercia burocrática no hará fácil conseguir este objetivo.

Quinta acción: impulsar la mayor participación de los agentes sociales afectados por los proyectos hidráulicos en los procesos para la toma de decisiones. Estos procesos, en general, deben ser de abajo arriba, y no de arriba abajo. Para la gestión de acuíferos parece imprescindible la constitución de Comunidades o Asociaciones de Usuarios de las aguas subterráneas. Éstas deben tener una gran autonomía, pero siempre bajo un cierto control de la oportuna administración del agua. Hay que aplicar prudentemente el principio de la subsidiaridad; lo que puede hacer un grupo social menor no debe hacerlo uno mayor. En cierto modo es válida aquí también la idea “*small is beautiful*” del conocido libro de Schumacher (1972).

Sexta acción: en las regiones áridas y semiáridas en las que el regadío es el principal usuario del agua –y generalmente el principal contaminador de los acuíferos– parece conveniente trabajar conjuntamente con los representantes de los agricultores, tanto en un nivel asociativo como científico y tecnológico.

Séptima acción: los cambios en la organización legal y administrativa de las aguas (superficiales y/o subterráneas) pueden contribuir a mejorar (o empeorar) la situación. Suelen ser los más fáciles de realizar, pero su eficacia será probablemente muy pequeña si no va precedida y/o acompañada por la mayoría de las acciones antes descritas. Las “legislaciones rígidas”, es decir, difíciles de variar, pueden resultar poco eficaces. Es conveniente encontrar medios que permitan introducir enmiendas y modificaciones a medida que la experiencia lo aconseje, y para esta labor el apoyo de los usuarios es esencial, así como una buena formación e información del gran público.

CONCLUSIONES

En las últimas décadas, el desarrollo del agua subterránea ha experimentado un notable aumento, especialmente en los países áridos y semiáridos. Este mayor uso del agua subterránea ha contribuido de modo muy significativo a reducir los problemas de falta de agua potable y de escasez de alimentos en muchos países en vías de desarrollo.

Por lo general, este progreso en el uso de las aguas subterráneas ha sido llevado a cabo por agricultores privados o por pequeños municipios, y financiado con fondos privados o municipales. Como contraste, las grandes obras hidráulicas con aguas superficiales se han sufragado con fondos públicos o mediante deuda exterior. Aunque pueden variar mucho de un país a otro, parece probable que la producción económica y el empleo procedente del regadío con aguas subterráneas, con frecuencia, son iguales o superiores a los del regadío con aguas superficiales, aunque el uso de agua sea notablemente menor. Parece urgente e importante que se obtengan pronto los oportunos datos socioeconómicos, para comprobar si estas hipótesis son válidas en la mayor parte de los países áridos o semiáridos.

Por lo general, la gestión planificada y el control de las aguas subterráneas han sido y continúan siendo inexistentes o rudimentarios. Esto puede haber dado lugar a determinados problemas sociales o ecológicos (por ejemplo, impactos en ecosistemas valiosos o intrusión de agua salina) que, en general, todavía no son relevantes si se comparan, por ejemplo, con los problemas de salinización y encharcamiento de suelos originados en los regadíos con aguas superficiales.

Los principales obstáculos para un mejor conocimiento y gestión de las aguas subterráneas provienen de ciertos grupos de interés económico y de la inercia institucional de algunas Administraciones del agua.

La actuación de asociaciones profesionales nacionales o internacionales ha contribuido a poner de manifiesto y a resolver estos problemas. Parece necesaria una actuación más enérgica y extensa en los próximos años, si se desea contribuir a un desarrollo sostenible de los recursos del agua en todo el planeta.

Referencias Bibliográficas

- Annan, K. (1998) "Secretary General Calls for Prevention of Groundwater Pollution", en *Message for World Water Day*, 22 March, United Nations, Press Release SG/SM/6496, OBV/40.
- Andreu, J., Sahuquillo, A. (1987) "Efficient Aquifer Simulation in Complex Systems", *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, 113 (1): 116-129.
- Arrojo, P., Fernández, J., Llamas, M.R., Díez, A. (1997) "Comentarios al artículo 'Explotación del embalse de La Serena' por J.A. Ceballos", *Revista de Obras Públicas*, Mayo: 70-78.
- Basagaoglu, H., Mariño, M.A. (1998) "Joint Management of Surface and Ground Water Supplies", *Ground Water* (en prensa).
- Biswas, A.K. (1970) *History of Hydrology*. Amsterdam: North Holland, Public. Co.
- Brumbaugh, R., Werick, W., Tuiz, W., Lunel, J. (1994) "Lessons Learned from the California Drought: Executive Summary", *IWR Report*, 94-NDS-6, U.S. Army Corps of Engineers: 1-36.
- Bachman, S., Hauge, C., Neese, K., Saracino, A. (1997) *California Groundwater Management*, Sacramento: Groundwater Resources Association of California, pp. 1-145.

- CDWR (1998) "California Water Plan Update: Executive Summary", en *Bulletin*, 160-98. Sacramento: California Department of Water Resources.
- Custodio, E. (1986). "Recarga artificial de acuíferos: avances y realizaciones", en *Bol. Servicio Geológico*, 46:1-176. Madrid: MOPU.
- Custodio, E. (1992a) "Hydrogeological and Hydrochemical Aspects of Aquifer Overexploitation", en *Selected Papers in Hydrogeology*, 3: 3-28 (Simmers et al., ed.). Hannover: International Association of Hydrogeologists.
- Custodio, E. (1992b) "Groundwater Pollution in Spain: General Aspects", *J. Inst. Water & Environmental Management*, 6(4): 452-458. London.
- Custodio, E. (1993) "Aquifer Intensive Exploitation and Over-Exploitation with Respect to Sustainable Development", *European Centre for Pollution Research*, 2:509-516.
- Custodio, E. (1994) "Coastal Aquifer Management and Remedial Measures from Saltwater Intrusion Induced by Overexploitation", IV Geoengineering Intern. Congress. Politécnico di Torino, III: 757-774.
- Custodio, E. (1995) "Explotación racional de las aguas subterráneas", *Acta Geológica-Hispánica. ICTJA-CSIC*, 30(1-3): 21-48 (Publ. 1996). Barcelona.
- Custodio, E. (1996) "Groundwater Problems in General and in Spain in Particular", *Elsevier*, 6(5): 68-83. European Water Pollution Control.
- Custodio, E. (1997 a) "La explotación de aguas subterráneas y su problemática asociada", *Hidrogeología*, 13: 111-127. Madrid: AEHS.
- Custodio, E. (1997 b) "Groundwater Quantity and Quality Changes Related to Land and Water Management Around Urban Areas: Blessings and Misfortunes", *Groundwater in the Urban Environment* (Ed. J. Chilton et al.). Balkema: 11-22.
- Custodio, E., Bruggeman, K.A. (1987) "Groundwater Problems in Coastal Areas", *Studies and Reports in Hydrology*, 45: 1-576. París: UNESCO.
- Custodio, E., Dijon, R. (1991) "Groundwater Overexploitation in Development Countries" *Report of an U.N. Interregional Workshop*, U.N. INT/90/R43: 1-116.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1975, 1983) *Hidrología Subterránea*, Barcelona: Editorial Omega, 2 vol., pp. 1-2350.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1997) "Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos "hidromitos" en España", en *En Defensa de la Libertad - Homenaje a Víctor Méndez*. Madrid: Instituto de Estudios Económicos, pp. 167-179.
- Custodio, E., Llamas, M.R., Villarroja, F. (1998) "The Role of The Spanish Committee of the International Association of Hydrogeologists in the Management and Protection Of Spain's Groundwater Resources", en *Hydrogeology Journal*, 6(3): 3-14.
- Daines, S.R., Powar, J.R. (1987) "Economic Returns to Irrigation in India", Report prepared by SRD Research Groups Inc. for the U.S. Agency for International Development.
- Dziegielewski, B., Garbarran, H.P., Langowski, J.F. (1993) "Lessons Learnt from the California Drought 1987-1992", en *IWR Report*, 93-NDS-5: 1-207 + 4 apéndices. Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers.

Aguas subterráneas

- Fetter, C.W. (1994) *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall: 1-641.
- Foster, S.S.D., Lawrence, A., Morris, B. (1998) "Groundwater in Urban Development", *World Bank Technical Paper*, 390: 1-55.
- Gleick, P. (1993) *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford University Press: 1-493.
- Hantush, M.S., Mariño, M.A. (1989) "Chance-Constrained Model for Management of Stream-Aquifer System", en *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115(3): 259-277. ASCE.
- Howitt, R. (1998) "Water Market-Based Conflict Resolution", Proceedings of 'First Biennial Rosemberg Forum on Water Policy', *Water Resources Report* 93, University of California, Davis: 49-58.
- Issar, A. (1998). "The Water as a Fable", *Ha'Aretz*, June 1998, Jerusalem (original en Hebreo, traducción del autor).
- Klohn, W.E., Appelgren, R.G., Ohlsson, L. (1998) "Water and Food", UNESCO Congress on "Water into the 21st Millenium: a Looming Crisis?", Paris 2-5 June 1998, vol. 2, preprint: 1-14.
- Llamas, M.R. (1969) "Combined Use of Surface and Ground Water for the Water Supply to Barcelona (Spain)", *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, XIV Année, 3: 119-136.
- Llamas, M.R. (1985), "Spanish Water Resources Policy: the Illogical Influence of Certain Physical and Administrative Factors", Mem. of the 18th International Congress of the International Association of Hydrologists, XVIII(2): 160-168.
- 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*, 4(3): 1-11.
- Llamas, M.R. (1998a) "Las políticas agrarias y del agua en España", en *Vida Rural*, V(3):1-3.
- Llamas, M.R. (1998b) "Groundwater Overexploitation", Proceeding of the UNESCO Congress on "Water in the 21st Century: a Looming Crisis?", Paris, 2-5 June 1998, vol. 2, preprint: 1-20.
- Llamas, M.R. (1998c) "The Limits of Classical Options in the Exploitation of Irregular Resources" en *Seminar The European Spatial Development Perspective*. Thessaloniki, Greece, 2-3 July 1998, preprint: 1-19.
- Llamas, M. R. (1998 d) "La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada", Actas del X Congreso de la Asociación Brasileña de Aguas Subterráneas, São Paulo, 9-11 September 1998, preprint: 1-29.
- Llamas, M.R., Villarroya, F., Hernández, M.E. (1996) "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: WQD-10-19.
- Lluria, M.R. and Fisk, M. (1994) "A Large Aquifer Storage Facility for the Phoenix Area", en Proceedings of the Second International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater. Orlando: American Society of Civil Engineers, preprint: 1-10.
- McClurg, S. (1996) "Maximizing Groundwater Supplies", en *Western Water*, May/June 1996: 4-13. Water Education Foundation.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998) *Programa de ordenación de acuífero sobreexplotados/salinizados*. Madrid: Secretaría de Estado para Aguas y Costas, pp. 1-66.

- Myers, N., Kent, J. (1998) *Perverse Subsidies: their Nature, Scale and Impacts*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- Nace, R.L. (1973) "On a 1972 American Water Resources Association Meeting", *Ground Water*, 11(1): 48-49.
- Navarro, A., Fernández Uría, A., Doblas, J.A. (1989) *Las aguas subterráneas en España*. Madrid: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, pp. 1-591 + tomo de planos.
- Sahuquillo, A. (1991) "La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en la mitigación de la sequía", *Revista de la Real Academia de Ciencias*, 85: 275-291, Madrid.
- Shiklomanov, I. (1998) *World Water Resources: a New Appraisal and Assessment for the 21st Century*. UNESCO, pp. 1-37.
- Solley, W.B. (1997) "Preliminary Estimates of Water Use in United States", *Open-File Report*, 97-645, U.S. Geological Survey: 1-6.
- Solley, W.B., Pierce, R.P., Perlman, H.A. (1993) "Estimated Water Uses in the United States in 1990", *U.S. Geological Survey Circular*, 1081: 1-76.
- Sudman, R.S. (1997) *California's Water Problems*. Sacramento: Water Education Foundation, pp. 1-56.
- Tanji, K.K. (1991) "Salinity, drainage and Trace Elements Problems in California's San Joaquin Valley West Side", en *Proceedings, Collaborative Research and Development Applications for Arid Lands* (K. Foster, ed.), Santa Barbara: Engineering Foundation Conferences, CA, August 2, 1991: 125-133.
- Turner, R.E., Rabelais, N.N. (1991) "Changes in Mississippi River Quality this Century and Implications for Coastal Food Wells", *Bioscience*, 41: 140-147.
- UN (1997) *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World: Report of the Secretary General*. United Nations, Commission on Sustainable Development, 7-15 April 1997, E/CN/17/1997/9: 1-35.
- Vörösmarty, C.J., Sharman, K., Fekate, B., Maybec, M. (1997a) "The Potential Impact of Neo-castorization on Sediment Transport by the Global Network of Rivers. Human Impact on Erosion and Sedimentation". *Inter. Ass. Hydrol. Sci., Publ.* 245: 261-319.
- Vörösmarty, C.J., Sharman, K., Fekate, B., Maybec, M. (1997b) "The Storage and Aging of Continental Runoff in Large Reservoir System of the World", *Ambio*, 26: 210-219.
- Van der Leeden, F., Troise, F.L., Todd, K.D. (1990) "Water encyclopedia", Lewis Publishers: 1-808.
- WEF (1998) *Layperson's Guide to Groundwater*. Sacramento: Water Education Foundation, pp. 1-20.