

Los acuíferos y su capacidad de almacenamiento. Una alternativa para mejorar la gestión hídrica

Juan Antonio López-Geta⁽¹⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España

C/ Ríos Rosas, 23.28003-Madrid

lopez.geta@igme.es

RESUMEN

En la gestión de los recursos hídricos se han planteado una serie de problemas que hay que subsanar, especialmente los que se refieren a la falta de garantía de suministro de los abastecimientos y a la recuperación de los acuíferos en mal estado. Su resolución puede estar en la aplicación de nuevas tecnologías, que sustituyan o complementen las que tradicionalmente se han aplicado, como la construcción de presas, con un cierto rechazo social por los posibles efectos ambientales que pueden llevar aparejadas y la dificultad de encontrar nuevas cerradas por las malas condiciones geológicas, geotécnicas o hidrogeológicas, o por la construcción de nuevos campos de sondeos de sondeos limitados por el mal estado en que se encuentran algunos acuíferos. En este artículo se presenta como una alternativa tecnológica, la utilización de la capacidad de almacenamiento de los acuíferos como embalse subterráneo, y en su caso como complementa a los superficiales, para incrementar los recursos disponibles y mejorar su garantía. Su aplicación se ve favorecida por su distribución geográfica, raro es el lugar donde no hay un acuífero más o menos grande. Aunque su aplicación es muy reducida en España, no ocurre en otros lugares del mundo. De ambos casos se exponen algunas experiencias.

Palabras clave: aguas subterráneas, almacenamiento subterráneo, gestión hídrica, acuíferos, recarga artificial.

1. INTRODUCCIÓN

La distribución de las aportaciones hídricas- supera los 110.000 hm³/años en España- responde al modelo recogido en la figura 1, donde se observa un superávit hídrico en los meses invernales y por el contrario un déficit en el periodo estival, coincidiendo esto último con las mayores demandas, especialmente la turística y la de regadío. Para alcanzar un equilibrio hídrico entre la demanda y las aportaciones, hay que recurrir al concepto de regulación hídrica, definida: «como el conjunto de operaciones que son necesarias para adaptar las escorrentías hídricas (superficial y subterránea), a las demandas, en un lugar y tiempo determinado (ANIM, 1978)». Esa regulación nos ha conducido a que en la actualidad, en España, existan más de 1.200 presas (Llamas, 1996 y 2003; López-Geta *et al.*, 2001a), con una capacidad de regulación del orden de los 55.000 hm³. Su crecimiento, como puede observarse en la figura 2, presenta su mayor pendiente a partir de la segunda mitad del siglo XX, (MIMAM, 2000). Paralelo a este aumento de la regulación superficial, nos encontramos con un aprovechamiento de las aguas subterráneas, que supera los 6.000 hm³/año (MOPTMA-MINER, 1994; Fornés, 2005; Fornés *et al.*, 2005; Yagüe *et al.*, 2003y López-Geta, 2000); cuya pendiente de crecimiento coincide con la de las aguas superficiales, como queda reflejado en la figura 3.

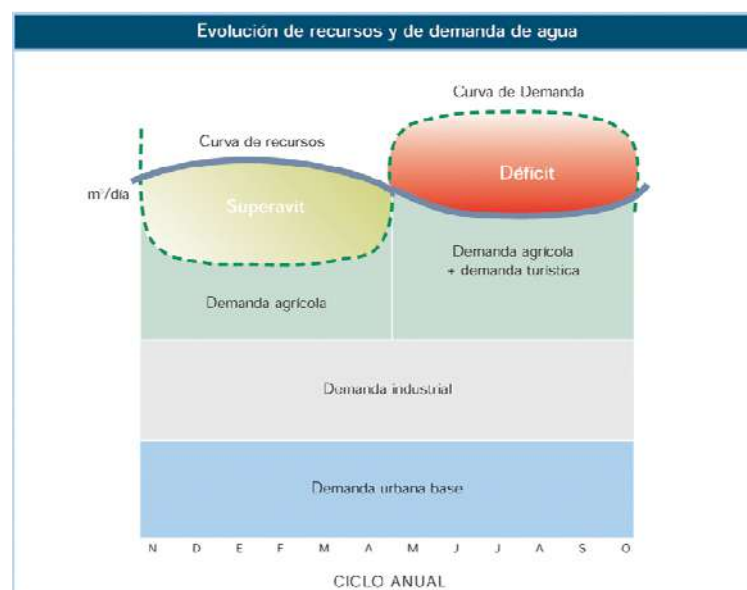


Figura 1. Curva de distribución de las aportaciones hídricas y de las demanda

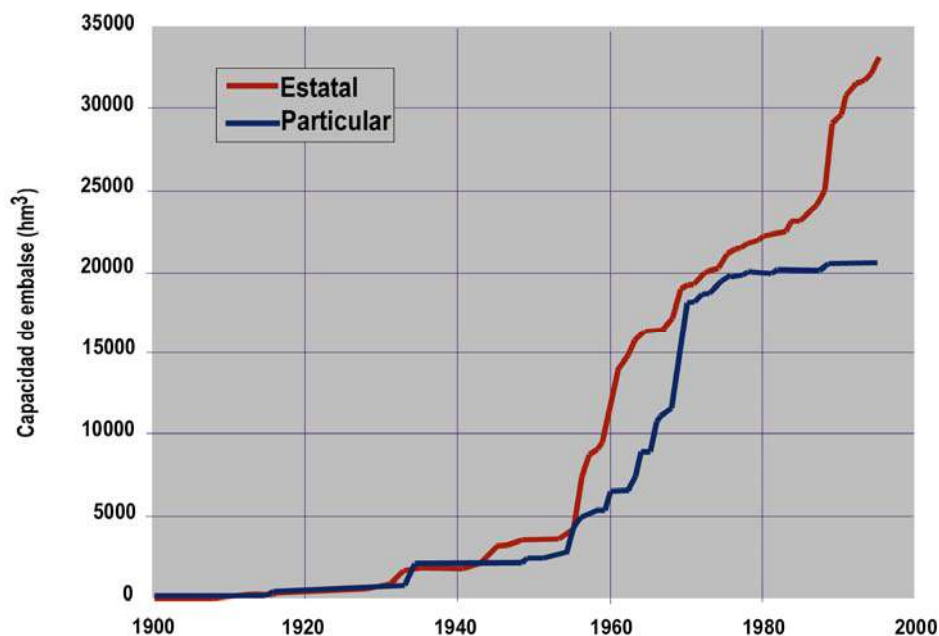


Figura 2. Evolución de la capacidad de regulación superficial (MIMAM, 2000)

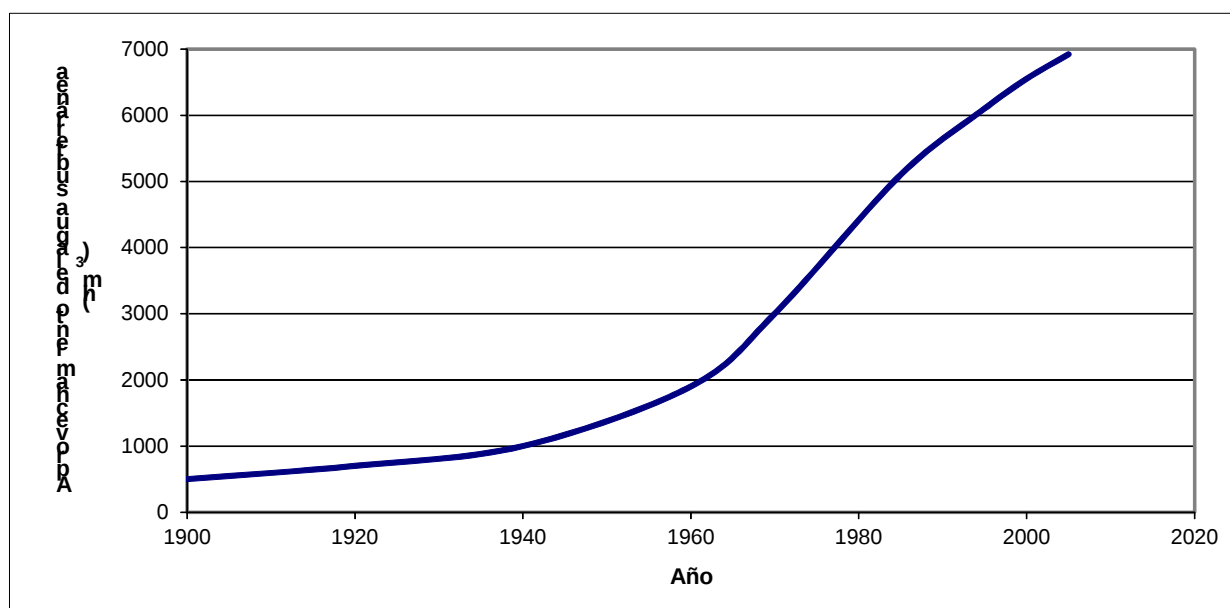


Figura 3. Evolución anual de los aprovechamientos de aguas subterráneas en hm^3

Con el transcurso de los años los recursos disponibles no han sido suficientes para cubrir el crecimiento de las demandas, especialmente en periodos de sequía o en determinadas zonas por escasez estructural (Ayala e Iglesias, 2000). Su solución se ha buscado en hacer una mejor gestión de la demanda, medida sin duda muy interesante, y en incrementar los recursos regulados mediante nuevas presas o un mayor aprovechamiento de las aguas subterráneas. En general estas dos últimas han encontrado un cierto rechazo social, motivado por sus posibles efectos ambientales y por el deterioro de muchos acuíferos, pendientes de su regeneración, cuantitativo y químico. Se plantea por tanto buscar nuevas alternativas tecnológicas que contribuyan a mejorar la situación.

En el caso de las aguas subterráneas, hasta el momento los acuíferos se han utilizado casi exclusivamente como fuente de suministro de agua y como tal han resuelto los problemas de muchas poblaciones y colaborado al desarrollo de ciertas actividades económicas. Sin embargo, no se ha utilizado una de sus principales características cómo es el de su capacidad de almacenamiento y el aprovechamiento planificado de sus reservas hídricas, estimadas, según ciertas fuentes, en 300.000 hm^3 . Su interés como embalse es que pueden ser incorporados como un elemento más de oferta en los diferentes sistemas de regulación (SER), constituidos por el binomio oferta-demanda, que operados simultáneamente y gestionados mediante modelos matemáticos de uso conjunto, aumentarán la capacidad de almacenamiento del SER - embalses hiperanuales-, y el volumen de agua almacenada procedente de las escorrentías superficiales, de las aguas residuales regeneradas y de las desaladas, sin afectar al medio ambiente y con menores

perdidas por evaporación. El resultado será un aumento del grado de garantía del SER (Sahuquillo, 1991; Shamir, 1993; López-Geta, *et al.*, 2004 y Sahuquillo, *et al.*, 2008). Hay que recordar que esta tecnología, en muy pocas ocasiones se ha puesto en práctica en España y en el resto de Europa, aunque bastante más en EEUU (López-Geta, 2005; Palop, 2003) (López Arechavala *et al.*, 1996).

2. ESTRATEGIA DE UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LOS ACUÍFEROS EN LA MEJORA DE LA GESTIÓN HÍDRICA

2.1. Antecedentes

La Declaración de La Haya de 1991, en su preámbulo recoge que el objetivo del uso sostenible del agua ha de ser desarrollado a través de un enfoque integrado, que tenga en cuenta las aguas superficiales y subterráneas para ser gestionadas conjuntamente, prestando análoga atención a los aspectos de cantidad y calidad. A este proceso de uso integrado o uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, se incorporan igualmente, en el caso de disponer de ellas, las aguas residuales regeneradas y las aguas desaladas (López-Geta y Murillo, 1993; López-Geta, *et al.*, 2005). Este planteamiento integrado, requiere un proceso de planificación, maduro y sosegado que debe regir la utilización del agua en este inicio del siglo XXI.

Se puede hablar por tanto de las posibilidades de las aguas subterráneas y de los acuíferos, como un sistema natural, cuyo carácter estratégico las hacen indispensables en la gestión de los recursos hídricos. Este carácter estratégico, se debe, especialmente, a que éstas reúnen una serie de propiedades que en muchos casos son poco conocidas, y que pueden resumirse en:

- Es un recurso cuya disponibilidad, a corto y medio plazo, se ve muy poco afectada por los efectos de una disminución importante de las precipitaciones, debido a sus reservas acumuladas y su capacidad de almacenamiento. Se dispone de unas reservas hídricas subterráneas muy importantes, que como se ha comentado anteriormente se pueden estimar más de 300.000 hm³, y pueden ser explotadas de forma planificada, no suponiendo una explotación minera del agua. El procedimiento operativo se puede resumir en dos fases: una primera, consistente en la explotación temporal de las reservas hídricas, lo que originaría una disminución de las mismas y el consiguiente descenso de los niveles piezométricos; y una segunda fase en la que, pasado el periodo de sequía, se procede a la recuperación del acuífero (natural o artificialmente), aprovechando los regímenes de lluvia más abundantes, produciéndose el llenado paulatino del acuífero y la normalización de los niveles piezométricos.
- La amplia distribución geográfica de los acuíferos a lo largo y ancho de prácticamente todo el territorio español, permite la existencia de un acuífero próximo a cualquier centro de demanda, con una adaptabilidad a situaciones diversas. Hay que tener en cuenta que casi dos tercios de la superficie total española está cubierta por formaciones acuíferas. Esto supone, siguiendo los criterios de la Directiva Marco del Agua (DMA), la existencia de 746 masas de aguas subterráneas, más las situadas en la islas Canarias.

2.2. Metodología

Su aplicación práctica conlleva, una vez identificados los lugares problemáticos y los sistemas de explotación que vienen sufriendo las consecuencias de la escasez de agua, un conocimiento lo más detallado posible de:

- Los acuíferos situados en el sistema o próximos a él, caracterizarlos hidrogeológicamente y estimar el volumen de agua disponible a través de su curva de regulación.
- Los acuíferos que reúnen las condiciones adecuadas para ser utilizados como embalses de regulación.
- La capacidad de almacenamiento de cada uno de los acuíferos seleccionados.
- Los elementos necesarios para llevar a cabo la operación de almacenamiento subterráneo de acuíferos, y conocer el coste económico de su implantación.
- El sistema más adecuado para la recarga artificial del agua.
- El coste específico por m³ de agua regulada, que permita compararlo con otras alternativas posibles.
- Las características constructivas de los sondeos y su equipamiento para la extracción del agua, y las infraestructuras de transporte necesarias para su conexión al sistema de distribución, bien en alta mediante su incorporación a los embalses, o en baja directamente.
- Los sistemas de seguimiento y mantenimiento de las infraestructuras, lo que supone un coste económico, no sólo de construcción sino también de mantenimiento, ya que estos dispositivos deben estar disponibles ante cualquier eventualidad.

2.3. Fundamentos teóricos de la regulación hídrica mediante acuíferos

El esquema conceptual es sencillo (López-Geta, 2004), sólo hay que tener en cuenta dos características principales de un acuífero: *Capacidad de almacenamiento*: aptitud natural que presentan los acuíferos para almacenar en su interior significativos volúmenes de agua y *Capacidad de regulación*: aptitud que presentan los acuíferos para almacenar el agua en unas épocas y poderla extraer posteriormente. En síntesis se trata de aprovechar los huecos, es decir los poros (porosidad eficaz) o fisuras que presentan las rocas y en las que su explotación ha originado un cierto vacío, que puede ser cuantificado y rellenado posteriormente con aportes externos, para extraerlos cuando la programación lo requiera. Si este vacío antrópico no existiera, pero interesara económicamente disponer de él, se podría proceder a su vaciado artificialmente, hasta alcanzar la capacidad requerida para la operación y, condiciones adecuadas de transmisividad, y

contornos adecuados. En cuanto al agua de recarga, siendo esta herramienta fundamental en la operación y el método utilizado (Custodio, 1986, López-Geta y Murillo, 1993, De la Orden, 2005), hay que contemplar los aspectos relacionados con la disponibilidad, variabilidad temporal de los caudales de agua y su calidad.

En cuanto al medio receptor hay que tener en cuenta la:

- *Capacidad de almacenamiento (Función capacitiva)*: está condicionada por la disponibilidad de huecos en la formación acuífera (porosidad) y por su geometría (volumen);
- *Capacidad de conducción (Función transmisiva)*: está definida por el parámetro transmisividad. Este parámetro condiciona el movimiento del agua recargada dentro del almacenamiento subterráneo y la facilidad de su captación;
- *Funcionamiento hidrogeológico*: intervienen aspectos relacionados con la piezometría, el tipo de permeabilidad, los límites hidrogeológicos, la tipología de la descarga, la profundidad del nivel piezométrico y la conexión a cauces entre otros y,
- *Hidroquímica* de las aguas subterráneas de la formación receptora. Será necesario considerar aspectos relacionados con su composición físico-química y la presión sobre esta.

La combinación de los parámetros que expresan la capacidad de almacenamiento (porosidad) y de conducción (transmisividad) del acuífero, condiciona la *capacidad reguladora intrínseca* del acuífero, es decir, aquella que depende exclusivamente de sus características hidrodinámicas.

En el caso de disponer de esas condiciones, la estrategia de utilización puede plantearse de diferentes formas, según el objetivo que se propongan. Se plantea por tanto agrupar los sistemas hidrogeológicos en tres categorías (Figura 4):

- Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión estática para regulación en tránsito*: en ellos se recarga agua en el periodo de excedentes, para posteriormente volver a bombearla al sistema de transporte en periodos de demanda, en este caso el papel de los acuíferos es idéntico al de los embalses superficiales; los acuíferos son utilizados, según los casos, como alternativa o complemento a la regulación mediante embalses superficiales.
- Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión estática con aprovechamiento*: las aguas se recargan temporalmente en el acuífero, permitiendo su uso en zonas próximas al almacenamiento subterráneo, es decir una regulación en destino y,
- Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión dinámica por conducción*, en los que se aprovecha la capacidad de regulación natural que poseen los acuíferos, en función de la combinación de las funciones de almacenamiento y conducción a través del mismo, de tal manera que el agua recargada fluye a través del acuífero hasta las zonas de demanda, donde es captada esto supone una regulación en destino.

Si el esquema de recarga artificial corresponde a una *gestión estática*, los métodos que puedan utilizarse exigirán, según los casos, la construcción de sondeos para recuperar el agua recargada o el aprovechamiento de los existentes. En cambio, si el esquema es de *gestión dinámica*, puede que no sea necesario realizar actuaciones complementarias a las de recarga, ya que el agua recargada se aprovecharía,

bien en las zonas de descarga del acuífero (manantiales), o a favor de las instalaciones de explotación existentes en otras áreas del acuífero, situadas aguas abajo en el sentido del flujo subterráneo (Figura 4).



Figura 4. Ciclo operacional, inyectando en periodos de superávit y bombeando el agua del acuífero periodos de déficit.

3. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LOS EMBALSES SUBTERRÁNEOS EN LA GESTIÓN HÍDRICA

La aplicación práctica de esta tecnología no es igual en todos los países. En España y en nuestro entorno es poco conocida, ya que la utilización coordinada de las distintas fuentes de agua no es una práctica común, especialmente en las regiones del norte de Europa, donde el agua es abundante prácticamente en todo el año, al contrario de lo que ocurre en los países del sur, especialmente del arco mediterráneo. No ocurre lo mismo en otros países como EEUU, en los que

se utiliza esta tecnología para optimizar la gestión hídrica, aumentando su disponibilidad, el grado de garantía de suministro, su calidad o corrigiendo algunas situaciones ambientales, como la disminución de las surgencias naturales y las afecciones a zonas húmedas o a ecosistemas acuáticos naturales (Durán *et al.* 2005).

A nivel internacional hay algunos casos a destacar, el abastecimiento a la ciudad de Ámsterdam y su entorno, es un buen ejemplo para empezar. Para ello se lleva a cabo un trasvase de agua desde el río Rhin hasta la zona costera (Mar del Norte) donde se recarga el acuífero de las “dunas” de 35 km², situado a 20 km de la ciudad de Haarlon (Horst, 1998). Esto ha dado lugar a que del 75% del agua suministrada a la ciudad de Ámsterdam, solo el 15% del agua procede del agua de recarga natural del acuífero, y el resto, el 85%, tiene su origen en el agua recargada procedente del Rhin. Un esquema similar se emplea también en Israel para integrar los acuíferos costeros (1880 km², con una longitud de 120 km y una anchura entre 10 y 30 km), con unos recursos de 370 hm³/año y una explotación de 240 hm³/año, y los acuíferos de montaña con las aguas procedentes del lago Kinnret (mar de Galilea con una salinidad de 380 mg/L) (Shamir, 1993), o el ejemplo del proyecto CAVSARP (Central Avra Valley Storage and Recovery Project) que permite el abastecimiento a la ciudad de Tucson (Arizona), con más de 500.000 habitantes. Esta ciudad, enclavada en un entorno semiárido (precipitación media anual de 300 mm), recibe unos 100 hm³/año del río Colorado, a través del canal CAP (Central Arizona Project), con un recorrido de 500 km, que incluye 14 estaciones de bombeo (elevación), 7 sifones y 4 plantas de recarga artificial (Curtiss, McNeal y García-Bengochea, 2002). El agua que recibe Tucson se utiliza para recargar, durante 11 meses al año, un acuífero de gravas y arenas. La recarga se realiza mediante 11 balsas rectangulares con un área de 145 ha, aproximadamente 13 ha por balsa. El agua se extrae mediante 25 pozos.

Con carácter ambientalista, esta técnica está siendo estudiada para la regulación de un caudal diario de 6,3 hm³, en el sur de la Florida. Estas actuaciones se enmarcan dentro del plan de restauración y conservación de ecosistemas del sur de Florida, que implica la mejora del estado ambiental de 1 millón de hectáreas, incluido el Parque Nacional de los “Everglades” (CERP) y el lago Okeechobee; la eliminación de las descargas perjudiciales de agua dulce a los estuarios; la mejora de las descargas de agua a las bahías de Florida y Biscayne; la mejora del abastecimiento de agua (urbana y agrícola) y la protección ante inundaciones. Este plan se prevé que se desarrolle durante un periodo de 20 años, con una inversión de 8.700 millones de euros.

En Europa, hay que resaltar un ejemplo especialmente relevante en Inglaterra. En el esquema de recarga artificial de North London (NLARS), se utiliza el acuífero carbonatado conocido como Chalk, con espesores de entre 180 y 245 m subyace bajo los depósitos terciarios de la cubeta de Londres. Se recarga con aguas tratadas y es gestionado por la empresa Thames Water. Se aprovecha la capacidad de almacenamiento de este acuífero, que desde antiguo ha servido para el abastecimiento a Londres, para regular un volumen anual de 12 hm³ mediante instalaciones de recarga artificial de 870 L/s de capacidad y con ratios de recuperación de entre el 70 y el 80%.

En el ámbito de España pueden exponerse algunos casos como los de la Marina Baja (Alicante), Costa del Sol Occidental (Málaga) o Comunidad de Madrid, entre otros.

El sistema de abastecimiento a la comarca de la Marina Baja (Alicante), es un ejemplo muy representativo (Castaños y Murillo, 2001; Castaños *et al.*, 2000). Se trata de un sistema de explotación que se caracteriza por incluir un gran centro turístico (Benidorm) y una agricultura de alto rendimiento de tipo monocultivo, por lo que la demanda es de tipo estacional con grandes puntas en los meses de verano. El sistema tiene que suministrar agua a una demanda de abastecimiento de unos 24 hm³/año y de regadío de unos 31 hm³/año. Para ello se dispone de dos pequeños embalses-Guadalest: 13 hm³ de capacidad, la aportación oscila entre 0,1 y 21 hm³/año, y Amadorio: con una capacidad de 16 hm³, y una aportación media entre 0,1 y 29 hm³/año- y de varios acuíferos carbonatados-Algar y Beniardá- en los que se sitúan campos de pozos de alta productividad (capacidad de bombeo instalada del orden de 600L/s a 800L/s según acuífero). La aportación procedente de la reutilización de las aguas residuales es muy variable. Se ha visto, mediante la aplicación de un modelo matemático de uso conjunto, que la regulación del sistema mejora cuando dos de estos acuíferos bombean directamente a cola de uno de los embalses, cuando se incrementa el uso de las aguas residuales depuradas y cuando se regula el principal manantial de la zona. Esta regulación lleva implícito el uso esporádico de reservas, por lo que los manantiales (Fuentes del Algar) se secarán durante largos periodos de tiempo pudiendo afectar a un paraje de singular belleza que existe aguas abajo. Para paliar este efecto, durante las épocas en que el manantial se encuentre seco, se bombea directamente al cauce del río parte del agua que se extrae de los sondeos, y una vez que ésta ha atravesado el paraje a proteger se rebombee la misma y se almacena en uno de los embalses para su posterior uso.

En el caso de la Costa del Sol Occidental (Málaga), el sistema se caracteriza (López-Geta, *et al.*, 2001b; Gómez y López-Geta, 2005 y Gómez *et al.*, 2006) por incluir algunos de los centros turísticos más importantes-Torremolinos, Benalmadena, Marbella, Estepona, Fuengirola, Mijas, Manilva o Casares, entre una veintena que representan una población de casi un millón de persona, que presentan una demanda urbana muy variable, tanto anual como interanual con cambios muy significativos y difíciles de precisar en el número y tipo de población a abastecer, una agricultura de alto rendimiento y algunos espacios naturales protegidos de notable interés ecológico y singular belleza. El volumen anual de demanda consuntiva-abastecimiento urbana y regadío especialmente- que se tiene que satisfacer es de 187 hm³ –incluyendo 8 que se distribuyen en Málaga capital para abastecimiento y regadío. Para ello se dispone de tres fuentes de agua: embalses de superficie, captaciones de agua subterránea (51%) y recursos no convencionales (desaladoras y aguas residuales tratadas). El modelo ha puesto de manifiesto que la regulación de los manantiales de cabecera es una alternativa más económica y proporciona un mayor grado de garantía que la construcción de algunos de los embalses que están propuestos o en realización. No obstante, cualquier aprovechamiento que se efectúe del agua subterránea se ha de compatibilizar con el mantenimiento hídrico de los espacios naturales protegidos.

El caso de la comunidad de Madrid, es la experiencia real más completa e ilustrada (Sánchez Sánchez, *et al.* 2003). de gestión de un sistema conjuntamente con la del abastecimiento a Barcelona y área metropolitana, en el que las aguas subterráneas juegan un papel importante. El objetivo planteado es mantener una garantía de suministro, que acepta un abastecimiento del 100 % durante 96 de cada 100 años; para los 4 años restantes se acepta una disminución del consumo del 9%, que se puede conseguir mediante técnicas de gestión de la demanda, campañas de concienciación y otras medidas (Manual de Abastecimiento del CYII). El sistema gestiona 14 embalses con una capacidad máxima de almacenamiento de 946 hm³, además se utilizan captaciones en los ríos Sorbe y Alberche y utiliza las aguas subterráneas como fuente estratégica de suministro en situaciones de escasez o sequía, cuando los volúmenes embalsados descienden por debajo de un cierto nivel fijado para los diferentes meses del año. La estrategia seguida en el uso de los recursos del acuífero terciario detrítico, se basa en poner en funcionamiento los pozos durante un año de cada cuatro, en promedio, coincidiendo con los períodos de sequía, dejando recuperar los niveles piezométricos durante tres años, dadas su reducida recarga natural y permeabilidad. La figura 5 representa, para el período 1986 a 2005, los momentos en que se han usado las aguas subterráneas

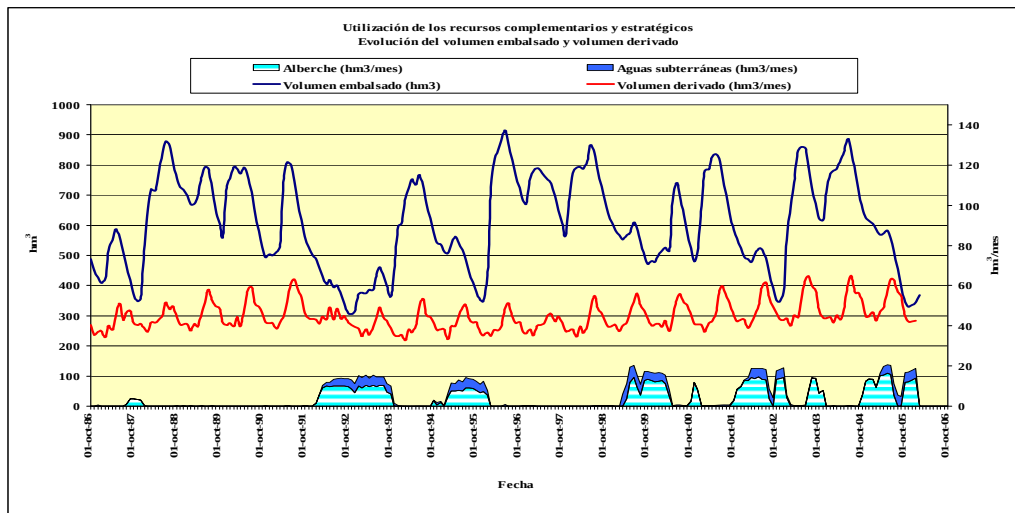


Figura 5. Las aguas subterráneas se utilizan en los períodos de sequía, como complemento de las superficiales, cuyos volúmenes almacenados se ven reducidos (Sánchez Sánchez, *et al.* 2003)

La figura 6, presenta un hidrograma de la profundidad media del nivel piezométrico en 37 pozos del Canal en las zonas norte y noroeste del acuífero terciario detrítico en el período 1994-2005. En él se puede observar la evolución piezométrica durante cuatro períodos de bombeo y tres de recuperación. Los volúmenes extraídos, en el conjunto de pozos disponibles en este acuífero, dependiendo del año entre 40 y 65 hm³, habiendo representado entre el 7 y el 10 % del total de los recursos aportados al abastecimiento.

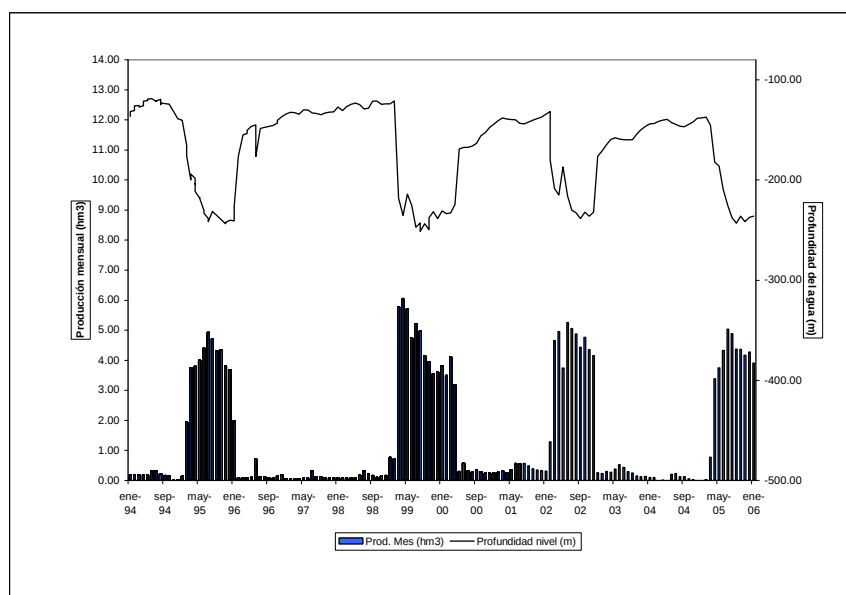


Figura 6. Evolución de la profundidad del nivel piezométrico en la red de pozos del CYII en el acuífero terciario detrítico de Madrid. Periodos de recuperación de duración, al menos de doble tiempo que los de bombeo, lo que permite la recuperación casi completas de los niveles piezométricos. . (Sánchez Sánchez, *et al.* 2003)

4. CONSIDERACIONES FINALES

Hay que tener en cuenta que mientras algunos países de nuestro entorno geográfico, como puede ser el caso de Francia disponen de aguas reguladas de forma natural por encima de los 40.000 hm³/año, en España no se supera los 9.000 hm³/año, cifra muy por debajo de la demanda que se fue creando desde mediados del siglo XX. Para satisfacer esas demandas, se han ido realizando infraestructuras artificiales como presas y embalses y construidos miles de pozos. Su aprovechamiento ha supuesto grandes beneficios económicos y sociales. Para continuar con ello, hay que mantenerlo eficientemente, de ahí la importancia de planificar y gestionar estos recursos hídricos adecuadamente, utilizando las herramientas más acordes con nuestras características territoriales. Los embalses de regulación y los acuíferos se sitúan a lo largo y ancho de las cuencas hidrográficas, ámbito en el que la DMA se fija como marco de referencia para la gestión hídrica.

Por circunstancias diversas, especialmente de tipo legal, hasta fechas recientes en España, no se ha sido muy riguroso a la hora de planificar nuestras necesidades, ocurriendo en múltiples ocasiones que la oferta ha ido por delante de la demanda. De ahí, los problemas surgidos en ocasiones. Para resolverlo, han pasado muchos años hasta concretar como objetivo actuar sobre la demanda y no sobre la oferta, es lo que se conoce técnicamente como *gestión de la demanda*. La DMA define un marco de referencia y unos objetivos de planificación, con unos plazos temporales de cumplimiento. Estos objetivos se traducen en una serie de líneas que han sido recogidas en los planes hidrológicos de cuenca tramitados recientemente para su aprobación por el Gobierno de la Nación. No vamos a entrar en analizarlas, ya que estas son el resultado del consenso de muchos grupos de trabajo, y se entienden que son las adecuadas para estos momentos. Pero sí hacer unas consideraciones de acuerdo con lo que se ha venido comentando en los apartados anteriores. Consideraciones que pueden resumirse en los siguientes puntos: 1º. El agua subterránea debe seguir jugando su papel como fuente de suministro para satisfacer las diferentes demandas, cuanto resulte la alternativa más adecuada desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Sería un error reservarlas exclusivamente para situaciones marginales. 2º. Debe constituir un objetivo prioritario, a cumplir en los planes hidrológicos, la recuperación de las masas de agua subterráneas en mal estado. Es importante rescatar este patrimonio en su totalidad, no dejándolo como reliquias del pasado. 3º. Incidir en la gestión conjunta de las aguas superficiales, subterráneas, así como las regeneradas y desalinizadas, como única forma de gestionar adecuadamente nuestros recursos hídricos. Esto supone la incorporación de los acuíferos como una fuente más de suministro de agua en los sistemas de explotación. 4º. Aprovechar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos y sus reservas hídricas de forma planificada para mejorar el grado de garantía de suministro de los sistemas y de los embalses superficiales.

BIBLIOGRAFÍA

- ANIM (1978). Las aguas subterráneas en España, presente y futuro. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas. Madrid, 235 pp.
- Ayala-Carcedo, F.J. e Iglesias A. (2000). Impacto del posible Cambio Climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular. In Balairo edit. El Cambio Climático. El Campo de las Ciencias y las Artes. Servicio de Estudios del BBVA. Madrid. 201-222.
- Castaño, S. y Murillo, J.M. 2001. Papel de los recursos hídricos subterráneos en el esquema general de suministro conjunto de agua a la comarca de la Marina Baja (Alicante). *Boletín Geológico y Minero*, 112(1), 77- 93
- Castaño, S.; Murillo, J. M. y Rodríguez, L. (2000). Aplicación de un modelo matemático para la simulación de la gestión conjunta de recursos hídricos en la Marina Baja (Alicante). *Geotemas*, 1(2), 55-58.
- Curtiss, J., McNeal, M. y García-Bengochea, J.I. 2002. Recarga de Acuíferos. H₂O: Fórmula del Agua, soluciones para un uso sostenible del Agua. *Curso de Verano de la Universidad Complutense* de Madrid. 36 pp.
- Custodio, E. (1986). Recarga artificial de acuíferos. Avances y realizaciones. *Boletín Información y Estudios*, nº 45. Servicio Geológico. Ministro de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. 134 pp + fotos.
- De la Orden, J.A. (2005). La recarga artificial en el Levante español. Experiencias en un acuífero costero con problemas de sobreexplotación e intrusión marina. En: López Geta, Pulido y Baquero (ed.), *Agua, minería y medio ambiente. Libro homenaje al profesor Fernández Rubio*. IGME, Madrid. 459-466.
- Durán, J.J., García de Domingo, A., López Geta, J.A., Robledo, P.A. y Soria, J.M. (2005). *Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos*. IGME, Madrid. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Nº 3, 160 p.
- Fornés, J.M. (2005). Dos millones de pozos pendientes de clarificar su situación legal en España. En *Meda: medio ambiente, biodiversidad y desarrollo sostenible*, Año 4, Nº 30, ISSN: 1579 – 4539, 40-49.
- Fornés, J.M., de la Hera, A. y Llamas, M.R. (2005). La propiedad de las aguas subterráneas en España: la situación del Registro/Catálogo. *Revista Ingeniería del Agua*. Vol.12. nº 2. 125-136.
- Gómez Gómez, J.D. & López Geta, J.A. (2005). *Integrated use of surface water and groundwater in Western Costa del Sol (Spain)*. En: Benavente, Larabi & El Mabrouki (ed.), *Monitoring, modelling and management of coastal aquifers*. IGME-AECI. 99-111.

- Gómez Gómez, J.D., Murillo Díaz, J.M. y Navarro Iáñez, J.A. (2006). Aplicación de la gestión integral de aguas superficiales y subterráneas al mantenimiento de caudales ecológicos en cursos fluviales. Sistema de la Costa del Sol Occidental. *Las aguas subterráneas en los países mediterráneos. Publicaciones del IGME. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas*. Nº 17: 653-659.
- Horst, G. 1998. The role of artificial recharge of groundwater for the water supply of Amsterdam. En: Artificial Recharge of Groundwater. Jos H. Peters (editor). XV-XVI. A.A. Balkema Publishers, Netherlands.
- Llamas, M. R. (1996). ¿Hacia dónde va la planificación y gestión del agua en España?, IV Simposio sobre El Agua en Andalucía, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid, Vol. II. 375-393.
- Llamas, M. R. (2003). El desarrollo sostenible del agua en España. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 97, nº 1, 129-141.
- López Arechavala, G., López-Geta, J.A. y Murillo, J.M..(1996). Reordenación de cuencas o subcuencas hidrológicas con intervención de sistemas acuíferos. *Boletín Geológico y Minero* (107-2). Madrid, 162-179.
- López-Geta, J. A. (2000). Estrategia de utilización de las aguas subterráneas en el abastecimiento de poblaciones. En: Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano. Instituto Geológico y Minero de España y Club del Agua Subterránea. 21-31.
- López geta, J.A. (2004). Análisis metodológico sobre la utilización de los embalses subterráneos en la regulación de los recursos hídricos. Aplicación a las transferencias Ebro-Levante-Sureste peninsular español. Tesis Doctoral.UPM.615pp.
- López-Geta, J.A. (2005). La utilización de los embalses subterráneos en la regulación de los recursos hídricos. *Industria y Minería*. Nº 357.15-22.
- López-Geta, J.A. y Murillo, J.M. (1993). Recarga de acuíferos y reutilización de recursos. En: Las aguas subterráneas. Importancia y perspectiva. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 235-252.
- López-Geta, J.A., Fornés, J.M., Ramos, G. y Villarroja, F. (Edrs.) (2001a). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín. 94p + CD-ROM
- López-Geta, J.A.; Navarro Iáñez, J.A.; Gómez Gómez, J.D.; Ortega Vargas, R.; Linares Girela, L. y Cillanueva Delgado, L. (2001b). *Simulación y optimización de la gestión conjunta de recursos hídricos en el sistema Costa del Sol Occidental*. VII Simposio de Hidrogeología AEH. Vol. XXIII. 197-209.
- López-Geta, J.A., Navarro, J.A. y Sesmero, K. (2004). La utilización de los embalses subterráneos en la regulación de los recursos hídricos. *Revista Industria y Minería*. Nº 357.15-22.
- López-Geta, J.A., Navarro, J.A. y Sesmero, K. (2005). La utilización de los embalses subterráneos en la regulación de los recursos hídricos. Aplicación. *Industria y Minería*. nº 359. 22-27.
- MIMAM (2000). Libro Blanco del agua en España. Ministerio de Medio Ambiente.637p.
- MOPTMA-MINER, (1994). Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente y Ministerio de Industria y Energía. Madrid. 135 pp + Mapas
- Palop, J. (2003). Participación social y gestión de cuencas en Andalucía. En: Agua y globalización en el Mediterráneo. Junta de Andalucía, IWRA, IGME.
- Sahuquillo, A. (1991). Posibilidades y realizaciones de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en la gestión de recursos hidráulicos. *III Simposio del Agua en Andalucía*. IGME, Madrid, 21-40.
- Sahuquillo, A., Custorio, E. y Llamas, M. R. (2008). La gestión de las aguas subterráneas. Panel Científico-Técnico de Seguimiento de la Política de Aguas, Fundación Nueva cultura del Agua, Sevilla. preprint 25 p.
- Shamir, V. (1993). Desarrollo y gestión de los recursos de aguas subterráneas: principios generales y el caso de Israel. En: Las aguas subterráneas. Importancia y perspectivas. Instituto Tecnológico Geominero de España. *Real Academia de Ciencias Físicas y Naturales*, Madrid, 134-144.
- Sánchez Sánchez, E.; Muñoz García, A.; Iglesias Martín, J.A. y Cabrera Méndez, E. (2003). Explotación de los acuíferos para el abastecimiento urbano de la Comunidad de Madrid: situación actual y futura. En: El agua y la ciudad sostenible: hidrogeología urbana. Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas nº 11. Madrid. 169-179 pp.
- Yagüe, J., Villarroja, C. y Xuclá, R.S. (2003). Proyecto ALBERCA: modernización de los registros de aguas. Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Madrid, 1851-1861.