

## MESA 1. UNA VISIÓN INTEGRAL DEL AGUA: FORMAS DE AFRONTAR LA COMPLEJIDAD.

### M.1.2. REFLEXIONES SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA GESTIÓN DEL AGUA EN ANDALUCÍA

**Autor:**

Antonio Pulido (Cat. UALM) (Especialista en Aguas Subterráneas).

Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Universidad de Almería.  
[apulido@ual.es](mailto:apulido@ual.es)

**RESUMEN**

Andalucía tiene un reto muy difícil, al igual que el resto del mundo, que es la gestión sostenible del agua. Administrativamente nuestra Comunidad parece que lo tiene más fácil que otras, aunque el fondo sigue siendo el mismo. Las aguas subterráneas son ampliamente utilizadas en Andalucía y presentan problemas similares al resto del país: falta de una planificación, explotaciones intensivas, aparición de efectos indeseables relativos a la cantidad y a la calidad de las aguas subterráneas y, en el caso de los acuíferos costeros generalización de los procesos de intrusión marina. Parece como si se tuviera asumido que con las aguas subterráneas no se puede y cada vez está más arraigada la idea de que hay que evitar la explotación de los acuíferos, pues siempre dan problemas. Este principio no es de aplicación en período de sequía que es cuando parece todo permitido. La adopción de una adecuada política hidráulica que cuente *siempre* con las aguas subterráneas y basada en el uso integrado y conjunto y los principios recogidos en la Directiva Marco sobre el Agua serían una sólida base para avanzar hacia la solución.

**INTRODUCCIÓN**

Las aguas subterráneas, a pesar de su gran peso específico en la economía nacional, han sido siempre las grandes olvidadas en la planificación. Primero lo fueron por "imperativo legal" surgido de la interpretación de la Ley de Aguas de 1879 que establecía una separación radical entre aguas superficiales, dependientes del Ministerio de Obras Públicas y que eran públicas, y aguas subterráneas, "privadas". Sobre estas últimas tenían esencialmente competencias el Ministerio de Industria –del que dependía el Instituto Geológico y Minero, por ejemplo, organismo que hizo muchas investigaciones sobre las aguas subterráneas- y, en menor medida Agricultura y Sanidad.

La nueva Ley de Aguas de 1985 partía de la unidad del ciclo y aparentemente abolía la "hidroesquizofrenia" que había durado más de un siglo. Tantos años de responsabilidad en el manejo del agua por parte de un Ministerio, que en esos momentos mucho más que ahora, era símbolo de un cuerpo profesional, habían creado unos sesgos y reflejos lógicos en las personas responsables que no podían ser olvidados de la noche a la mañana, por lo que a pesar de la teoría, las aguas subterráneas seguían siendo miradas con recelo, por decirlo de manera suave. Detrás quedaban múltiples actuaciones en las que las aguas subterráneas habían sido ignoradas o eliminadas de la planificación y del uso en programas de las administraciones.

No obstante, eso no quiere decir que las administraciones no hicieran inversiones en estudios de aguas subterráneas ni que no se hicieran captaciones por iniciativa estatal. Las iniciativas del Ministerio de Agricultura, a través del Instituto Nacional de Colonización, por ejemplo, fueron muy numerosas y solían acompañar a todas las iniciativas de transformaciones agrícolas llevadas a cabo en los años 1950 a 1980 (ya bajo el nuevo nombre de IRYDA). Las intenciones fueron muy buenas y, sobre todo, se perforaron miles de sondeos con éxitos muy relevantes en la mayoría de los casos. Aunque se hizo un

notable esfuerzo de captación, nunca fue acompañado de los estudios que permitieran una adecuada gestión de los acuíferos.

A las iniciativas oficiales se unía la privada en cuanto que veía que el regadío era rentable, y todo ello sin un adecuado seguimiento hidrogeológico. Los estudios sistemáticos tan solo se inician a finales de los 60 y, sobre todo, principio de los 70, con el IGME, frecuentemente acompañado con el IARA. Los avances fueron muy notables, pero tampoco se hace una gestión de los acuíferos, pues preocupaba más la cantidad y el desarrollo económico que la explotación ordenada. En ningún momento las administraciones parecen conscientes del caos que se iniciaba en una parte importante de España, muy especialmente en la "España árida"

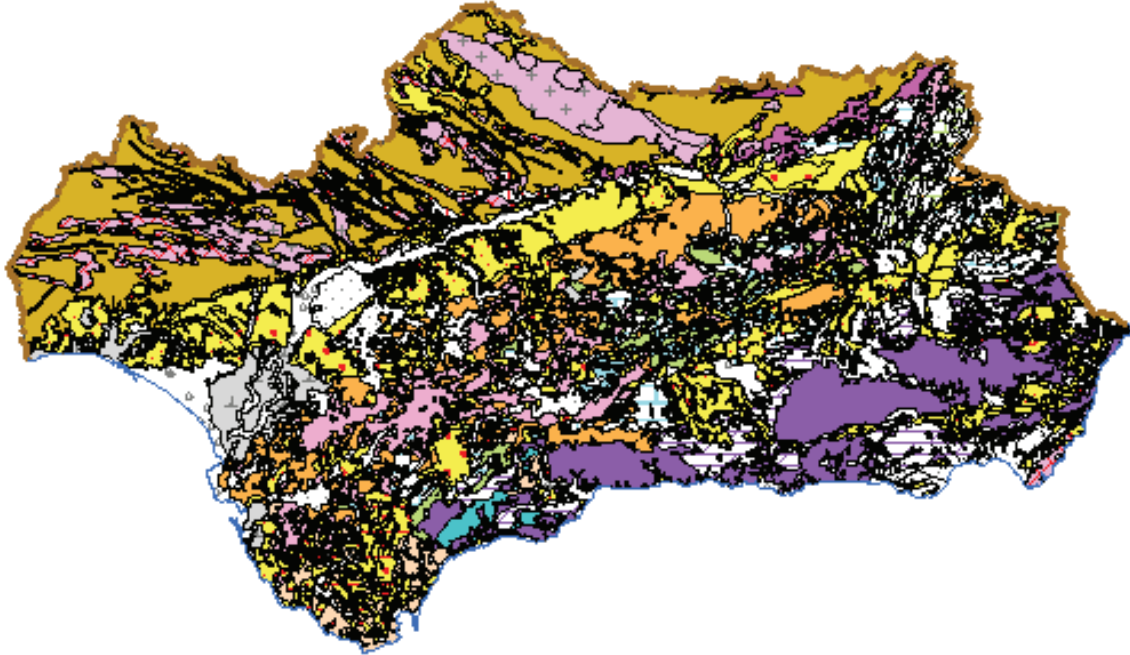
Para el ámbito español (Llamas et al, 2001) las grandes cifras indican que en los primeros 500 m de profundidad se almacenan 300 km<sup>3</sup> mientras que todos los embalses españoles solamente alcanzan 50 km<sup>3</sup> de capacidad de embalse. Su rentabilidad es muy manifiesta si comparamos el rendimiento de las explotaciones agrícolas. De las aproximadamente 3,5 millones de ha regadas 2,5 millones lo hacen con agua de superficie para lo cual se aplican unos 20 km<sup>3</sup>/año. El millón de ha aproximado que se riega con aguas subterráneas requieren 5 km<sup>3</sup>/año. Además de la marcada menor necesidad de agua, la rentabilidad de las aguas subterráneas es 5 veces superior.

Dentro de este alegato en defensa de las aguas subterráneas, quiero indicar algunas de las ventajas de las aguas subterráneas (Llamas y Custodio, 2003):

- grandes volúmenes almacenados
- menos sensibles a variaciones de alimentación
- constancia hidrogeoquímica en condiciones normales
- elevada autoprotección
- más tiempo de actuación en caso de accidentes
- captación junto a lugar de uso y escasa inversión en infraestructura
- menor riesgo de "fallos" tecnológicos o humanos
- fácil evaluación de cantidad y calidad
- inversión gradual con
- reinversión inmediata de beneficios

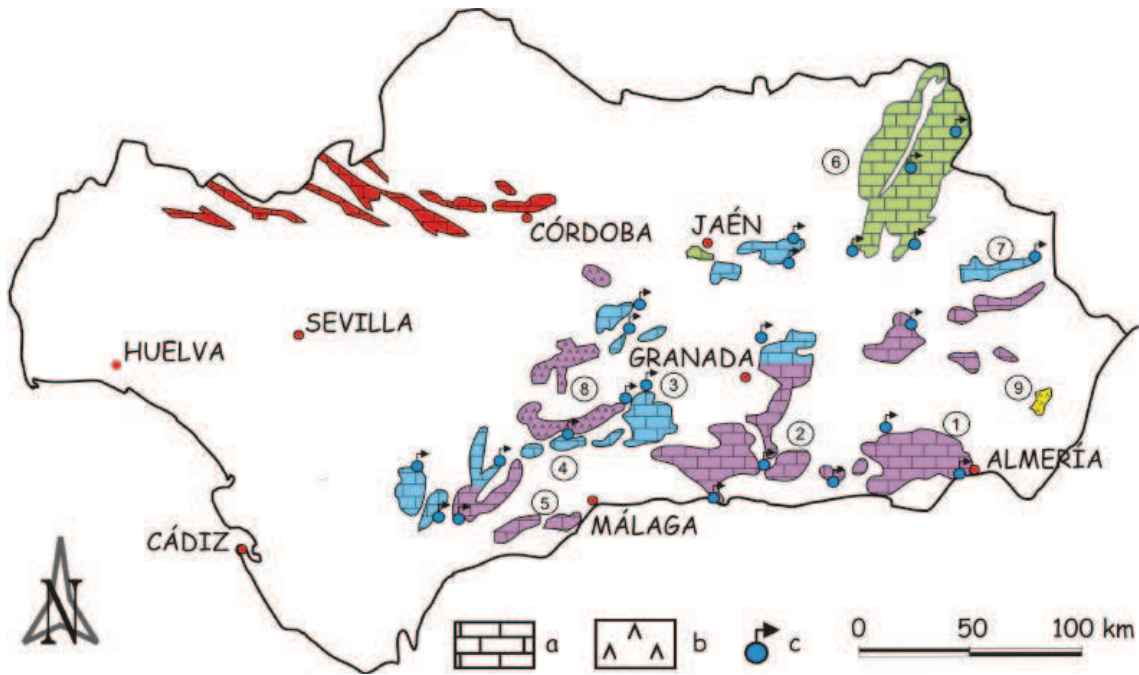
## LOS GRANDES SISTEMAS ACUÍFEROS Y SU UTILIZACIÓN

De los 87561 km<sup>2</sup> que ocupa nuestra comunidad se estima que sobre 20956 km<sup>2</sup> afloran materiales permeables (figura 1) que conforman unos 200 acuíferos (Junta de Andalucía-ITGE, 1998). La organización administrativa de tales acuíferos ha pasado por unas 110 unidades hidrogeológicas, para transformarse en 159 masas de agua subterránea de las que 70 están en la cuenca del Guadalquivir, 67 en la Cuenca Mediterránea Andaluza (Cuenca Sur), 8 en la cuenca del bajo Guadiana y 14 en la del Segura (López-Geta et al.,2005)



**Figura 1.-** Mapa hidrogeológico de Andalucía del SIAS. IGME-Agencia Andaluza del Agua (<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>)

Se trata de embalses subterráneos de dimensiones muy variables y con recursos y reservas también muy diferentes. En la figura 2 se recoge lo mayoría de los acuíferos kársticos, que cubren unos 7000 km<sup>2</sup> (López Geta et al. 2002). De ellos destacan los de la cabecera del Guadalquivir, los de Tejeda-Almijara o la sierra de Gádor, el más extenso de la provincia de Almería. Estos acuíferos tienen la gran ventaja de presentar elevadas tasas de infiltración que en muchos casos supera el 50 % de la lluvia caída (Pulido Bosch, 1993); por el contrario, su coeficiente de almacenamiento medio no suele superar 1,5 %. La recarga en ellos se estima en unos 2200 hm<sup>3</sup>/año.



**Figura 2.** Esquema de la ubicación de los macizos kásticos más relevantes de Andalucía. a: calizas y/o dolomía; b: yesos y evaporitas; c: manantial. 1: sierra de Gádor; 2: sierra de Lújar-Tejada-Almijara y borde de sierra Nevada y Harana; 3: sierra Gorda; 4: Torcal; 5: sierras de Mijas y Torremolinos; 6: Alto Guadalquivir; 7: sierras de Orce y María; 8: trías de la cabecera del Guadalhorce; 9: yesos de Sorbas. En rojo, macizo hespérico; en verde macizos prebéticos; en azul, subbéticos y/o penibéticos; en violeta, alpujárrides.

Los acuíferos detríticos suelen tener coeficientes de almacenamiento cercano al 15 % y, sin embargo, la recarga media raramente supera el 15 % de la precipitación media caída sobre ellos. Estos acuíferos cubren unos 12000 km<sup>2</sup> adquiriendo su mayor desarrollo en la cuenca del Guadalquivir con unos 7000 km<sup>2</sup>. Las depresiones internas de Guadix-Baza o Granada también encierran acuíferos bien desarrollados, así como los aluviales de los mayores ríos. La recarga en esos materiales es del orden de 1500 hm<sup>3</sup>/año.

El aprovechamiento medio de las aguas subterráneas se aproxima al 30 % de la recarga media interanual de los acuíferos, teniendo en cuenta que en el tercio oriental puede superar a la recarga media anual (explotación intensiva).. El 80 % del agua subterránea se aplica en usos agrícolas, regándose unas 210.000 ha de las 820.000 totales. Un dato de gran interés es que la producción de las regadas con aguas subterráneas se acerca al 58 % del total y utiliza el 50 % del total de mano de obra agrícola. El caso almeriense es excepcional, pues su producción agrícola, esencialmente regada con aguas subterráneas, alcanza el 60 % del total de la Comunidad y el 22 % del país (Corominas, 2000). Unos 250 hm<sup>3</sup>/año se utilizan en abastecimiento urbano y pequeña industria de los núcleos urbanos; se trata de cerca de 600.000 habitantes suministrados totalmente con agua subterránea, y cerca de un millón con sistemas mixtos (López Geta et al. 2005).

Hay que señalar que las aguas subterráneas juegan un papel básico en lo que a zonas húmedas se refiere, pues el 25 % de los 132 humedales naturales inventariados tienen una estrecha relación con las aguas subterráneas (López Geta et al. op. cit); posiblemente el más paradigmático sea el de Doñana, aunque en el entorno de Granada tenemos la turbera de Padul, punto de descarga de un sistema de flujo intermedio con recarga en los materiales alpujárrides del borde oriental de Sierra Nevada.

Los balnearios y las aguas envasadas son otros tantos usos de las aguas subterráneas, ambos de notable interés económico y más porvenir, en los tiempos de la

sociedad del ocio. En la figura 3, tomada de Nieto (2002) se recoge la situación de los puntos inventariados en 1992. No obstante, son sólo 10 las instalaciones balnearias activas, siendo Granada la provincia con mayor número de instalaciones en uso, cuatro en total.



**Figura 3.-** Situación de los puntos acuíferos inventariados en 1992 por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de aguas utilizadas por sus propiedades curativas en Andalucía (tomado de Nieto, 2002).

Existen también 10 plantas embotelladoras de aguas en Andalucía, tres en Jaén y Málaga, dos en Almería y una en cada una de las provincias de Granada y Córdoba que embotellan cerca de 400 millones de litros al año, aunque casi un tercio corresponde a la planta de Lanjarón. Estas plantas dan ocupación a casi trescientas personas (Nieto, op. cit.).

## LAS ÁREAS COSTERAS

### Aspectos generales

Hasta ahora las áreas costeras han sido las más preocupantes. Como consecuencia de la bondad climática de las mismas, el notable desarrollo turístico y la agricultura altamente rentable, la demanda de agua aumentó de manera exponencial. Los acuíferos costeros, aunque no se exploten por encima de los caudales de renovación medios anuales, son muy vulnerables a la intrusión marina. De hecho, la gran mayoría de los acuíferos costeros del litoral mediterráneo presenta indicios más o menos acusados de intrusión marina.

Como es sabido, la política hidráulica de este país adoptada para resolver ese problema ha ido desde los trasvases –Tajo, Ebro, Negratín – hasta la actual, que apoya decididamente la construcción de plantas desaladoras. La tecnología ha mejorado sensiblemente en los últimos diez años, siendo la técnica de ósmosis inversa la más competitiva. Estas plantas pueden tomar el agua directamente del mar, aunque es mucho más recomendable suministrarse mediante sondeos litorales que capten el agua bajo la



franja de mezcla agua dulce-agua salada, evitando así la materia orgánica y otros arrastres, más abundantes en el mar.

### Las plantas desaladoras

En España existen actualmente 20 plantas desaladoras de capacidad comprendida entre 20 000 y 125 000 m<sup>3</sup>/día (Tabla 2), y hay 21 más en proyecto a realizar en los próximos años (Tabla 3). La mayor de todas, la de Carboneras, funciona en la actualidad a algo más del 10 % de su capacidad teórica.

Hay que tener en cuenta que el avance tecnológico tan importante sigue adelante, por lo que no es descabellado pensar que en poco tiempo se consigan notables mejoras técnicas que hagan que los costes de explotación se reduzcan al tiempo que se encuentren alternativas de menor coste ambiental a algunos de los problemas actualmente identificados. Pensemos que las plantas de última generación ya tienen unos consumos de casi un kWh/m<sup>3</sup> menos que las ya construidas y que, en algún caso, todavía no se han puesto en funcionamiento. Al parecer, en un futuro próximo, las plantas dentro del mar podrían ser la próxima generación más limpia y competitiva.

Nombre/lugar	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Año construcción
Carboneras	125.000	2004
Cartagena	65.000	2004
Palma de Mallorca	63.000	1998-2001
Las Palmas III	63.000	1990-2001
Marbella	55.000	1997
Almería	50.000	2004
Alicante	50.000	2003
Las Palmas-Telde	35.000	2004
Cd. Reg. Mazarrón	30.000	1997-2000
SE Gran Canaria	22.000	2001
Jávea	26.000	2002
Sta. Cruz de Tenerife	28.000	1995-2000
Tordera	22.500	2001
Adeie-Arona	20.000	1998-2000
Lanzarote III	20.000	1992-1996
Inalsa IV	20.000	1999

**Tabla 1.-** Principales plantas desaladoras construidas en España

Provincia	Producción (hm <sup>3</sup> )	Plantas
Alicante	212	7
Almería	189	5
Barcelona	135	1
Girona	10	1
Málaga	125	2
Murcia	204	5
<b>TOTAL</b>	<b>875</b>	<b>21</b>

**Tabla 2.-** Plantas desaladoras previstas construir en el programa AGUA del MMA (2005)

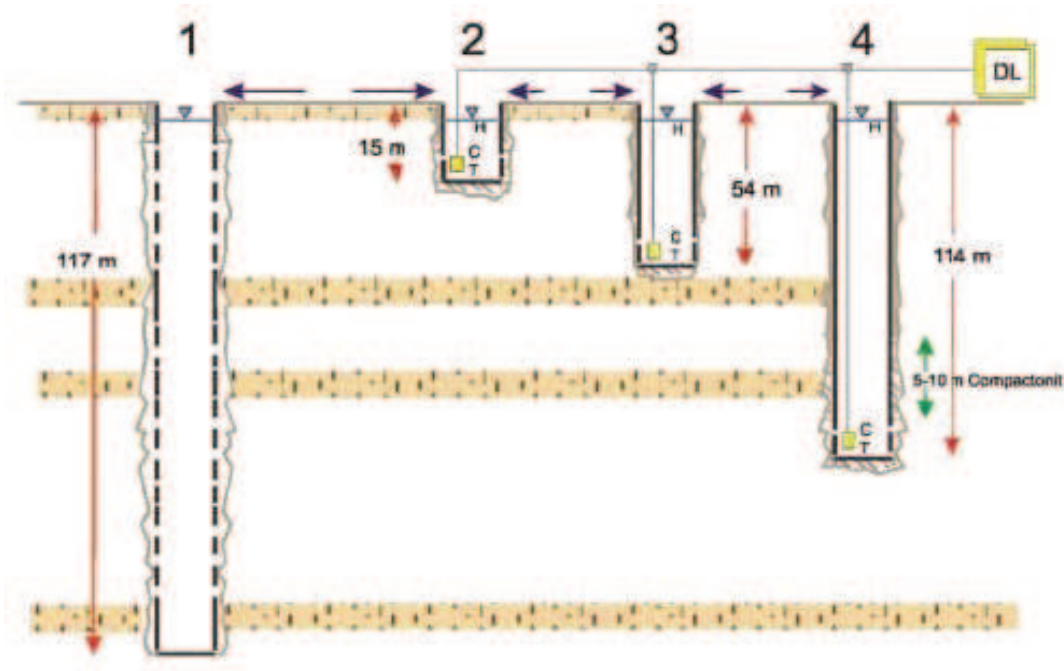
### La planta del Andarax

Construida para garantizar el abastecimiento urbano a la ciudad de Almería, está ubicada en el delta de río Andarax, y tiene 50 000 m<sup>3</sup>/día de capacidad teórica de desalación. Fue construida entre 1999 y 2004, aunque todavía no funciona de manera continuada y nunca lo ha hecho a su capacidad de diseño. El suministro de agua de mar se hace a partir de 15 sondeos perforados en el litoral a una distancia del mar variable entre 30 y 150 m (Pulido-Bosch et al., 2003). En realidad se perforaron 19, aunque cuatro no son productivos (figura 4). La tecnología de desalación es ósmosis inversa, con un consumo teórico de 4,205 kwh/m<sup>3</sup>. Está diseñada para funcionar 24 horas al día y 360 días al año, con 5 para operaciones de mantenimiento.



**Figura 4.-** Situación de la planta desaladora de agua de mar del Andarax con indicación de la ubicación de los sondeos perforados (S-1 a S-19) y de los piezómetros de control (P-I, II y III) de la evolución del contacto agua dulce agua salada

La red de seguimiento del contacto agua dulce-agua salada está formada por 12 sondeos piezométricos. Estos piezómetros están distribuidos en tres enjambres de cuatro cada uno de ellos. Uno, menos profundo, está puntualmente ranurado en la franja de agua dulce, otro en la de transición y otro, más profundo, en la de agua salada. Cada piezómetro lleva un sensor de potencial hidráulico, de conductividad y de temperatura del agua. Junto a esos tres, hay un cuarto piezómetro ranurado en todos los tramos productivos, cuya finalidad es poder hacer registros de toda la columna (Jorroto et al. 2005) y tomar muestras sin tener que desplazar a los sensores (figura 5).



**Figura 5.-** Esquema constructivo de uno de los enjambres de piezómetros situados en el área de captación de la planta del Andarax.

El hecho de que la puesta en funcionamiento se haya retrasado tanto ha sido esencialmente una decisión política, pues el agua de la red tiene que sufrir un notable aumento de precio y esa responsabilidad es –al parecer– difícil de asumir. Para producciones inferiores a la teóricamente nominal, el precio de explotación unitario aumenta sensiblemente, dado que muchos de los factores que intervienen en el coste son independientes de la capacidad de desalación. Lo que sí parece claro es que Almería tendría garantizado el suministro de agua potable incluso en las condiciones más extremas de escasez.

### **ADECUADA INTEGRACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA GESTIÓN**

Es una realidad que las aguas subterráneas nunca se han integrado de manera adecuada en la gestión de los recursos hídricos de España. Tampoco es fácil hacerlo. Y no es que no se haya intentado. ¿Cómo habría que hacer? No hay recetas sencillas. Veamos las ideas propuestas por Llamas (2006) con motivo de la reunión recientemente celebrada en Alicante, conocida como “Declaración de Alicante” y que ha sido suscrita por muchos profesionales de numerosos países. Además, creo que sintetiza muy bien lo que puede ser la filosofía de las actuaciones.

En lo que denomina “llamada a la acción” parte de la necesidad de *que intervengan los colectivos siguientes: usuarios del agua, cuyo bienestar se sustenta en la extracción de aguas subterráneas; los gestores, tanto los electos como los no electos; colectivos y asociaciones de la sociedad civil; y la comunidad científica, que deben insistir en una firme aplicación de la ciencia en apoyo de una mejor gestión.*

Recomienda:

- *Elaborar estrategias más amplias de gestión hídrica, uso del suelo y desarrollo energético, estrategias que reconozcan plenamente la importante función de las aguas subterráneas en el ciclo hidrológico.*
- *Mejorar y ampliar el entendimiento de los derechos de uso del agua subterránea, sus reglamentos, políticas y usos*
- *Convertir el mantenimiento y la restauración del equilibrio hidrológico en un objetivo de largo plazo de las estrategias regionales de gestión del agua.*



- *Mejorar la capacidad y el saber científico, de ingeniería y de aplicación de tecnologías en los países en vías de desarrollo.*
- *Implantar programas de seguimiento constante de las aguas superficiales y subterráneas.*
- *Desarrollar las instituciones locales para mejorar la gestión sostenible del agua subterránea.*
- *Trabajar para que los ciudadanos puedan reconocer la función esencial de las aguas subterráneas en su entorno social y la importancia de su uso responsable.*

Pienso que todo ello puede ser fácilmente asumido, aunque de muy difícil consecución. Tengo que destacar que soy un convencido de que la política hidráulica de este país y, por descontado, de nuestra Comunidad, tiene que pasar por un decidido apoyo al uso conjunto o uso integrado de las aguas superficiales y subterráneas, pero no como una actuación en las situaciones de emergencia que se crean con motivo de las sequías, sino como una norma en todo momento. Llama poderosamente la atención que en el Libro Blanco del Agua (1999) se establezcan unas cifras tan bajas en lo que aumento de disponibilidades se refiere de hacer uso conjunto.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Cuando todavía no está terminado el inventario nacional de puntos acuíferos y existen numerosos puntos sin inscribir en el Registro, a pesar de que en la Ley del Plan Hidrológico nacional de 2001 se daba un plazo improrrogable de 3 meses (López Martos, 2001), puede parecer difícil apuntar actuaciones eficaces que permitan hacer frente a la explotación sostenible de las aguas. Recordemos que la Directiva Marco del Agua precisa que hay que garantizar el uso del agua sostenible equilibrado y equitativo, así como reducir la contaminación. La sostenibilidad ecológica que hay que conseguir puede ser especialmente complicada en ciertos ámbitos climáticos, como podría ser el sector español más árido.

Las áreas costeras, en donde la problemática relacionada con la cantidad y con la calidad de las aguas, siempre fue más acuciante, parece que ahora, y gracias a las membranas (desalación) tendría menos problemas futuros. No obstante, la realidad presente indica que la construcción de las plantas desaladoras no es suficiente para iniciar el proceso de regeneración, como muestra el hecho de que ya existen varias plantas terminadas en áreas de problemática severa que no han hecho funcionar las nuevas instalaciones, o lo han hecho muy por debajo de sus prestaciones máximas.

Los avances tecnológicos van a contribuir a paliar algunos de los graves problemas, aunque hay que ser conscientes de que los costes de explotación y gestión aumentarán notablemente y que éstos tendrán que ser cubiertos en su totalidad por los usuarios.

Desde el punto de vista de las aguas subterráneas, uso conjunto y recarga artificial tendrían que ser vocablos mucho más utilizados, debiendo iniciarse una decidida política de uso conjunto en donde se valoren adecuadamente los embalses subterráneos y no solamente como solución a las emergencias que se activan en situaciones de sequía extrema (Pulido Bosch, 2001).

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Consejería de Agricultura y Pesca de la J.A. (1999). Inventario y caracterización de los regadíos en Andalucía. CD.
- Corominas, J. (2000). El papel económico de las aguas subterráneas en Andalucía. Fundación M.Botín, 54 pp.Madrid.
- Custodio, E. (2005). Groundwater as a key water resource. In *Water, Mining and Environment*. IGME, pp:63-78. Madrid
- Junta de Andalucía-ITGE (1998). Atlas Hidrogeológico de la Junta de Andalucía. 216 p + 1 plano. Madrid.
- Jorroto, S., Pulido-Bosch, A., Gisbert, J. y Sánchez-Martos, F. (2005): Las diagráfias y la caracterización de la influencia de los bombeos de agua de mar sobre el acuífero del delta del Andarax (Almería). *Industria y Minería*, 362: 15-21.
- Llamas, M.R. y Custodio, E. (2003). Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action. WINEX, pp: 13-31. Balkema
- Llamas. M.R., M.R., Fornés, J.M., Hernández-Mora, N. y Martínez Cortina, L. (2001). Aguas subterráneas: retos y oportunidades. Fundación M. Botín-Mundi Prensa, 529 p. Madrid
- Llamas, M.R. (2006) Declaración de Alicante . *La importancia de las aguas subterráneas en el mundo. Una llamada a la acción para su uso, gestión y desarrollo responsables*. (ISGWAS, 2006)
- López-Geta, J.A., Martín Machuca, M., Rubio, J.C., González Asensio, A: y Durán, J.J. (2005). El agua subterránea en la Andalucía del siglo XXI. VI SIAGA, I:5-18. Sevilla.
- López Martos. J. (2002). Consideraciones sobre las aguas subterráneas en Andalucía. In *Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén*. Pp:107-116. IGME.
- MINER-MOPTMA (1994). Libro blanco de las aguas subterráneas. 132 p. Madrid.
- Pulido Bosch, A. 1993. Principales rasgos hidrogeológicos de los macizos kársticos andaluces. *Hidrogeología*, 8: 41-50.
- Pulido Bosch, A. 2001. Y las aguas subterráneas, ¿están adecuadamente consideradas? Síntesis del informe sobre el Anteproyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional. In: *El Plan Hidrológico Nacional a debate*, Arrojo; P. (ed.), 427-431.
- Pulido Bosch, A., Pulido Leboeuf, P. y Gisbert, J. 2004. Pumping seawater from coastal aquifers for supplying desalinations plants. *Geologica Acta*, 2: 99-109.
- Rubio, J.C. (2001). Recursos de aguas subterráneas en Andalucía. Mercamei. 27: 289-294. Madrid