

El abastecimiento de agua en las ciudades del Mediterráneo

Antonio Pulido Bosch y Pablo A. Pulido Leboeuf

Arbor CLXIV, 646 (Octubre 1999), 253-269 pp.

En las ciudades costeras, como en las no costeras, una buena parte del agua captada se pierde en las redes de distribución; además, el usuario no es siempre consciente de la necesidad de ahorrar al máximo este recurso. Hay que tener en cuenta igualmente que el agua residual, una vez depurada, puede constituir un buen recurso que permite satisfacer parte de la demanda y a la vez reducir los problemas planteados por la eliminación de las aguas usadas directamente en el mar. Las soluciones a los problemas de la escasez de agua deben pasar por el ahorro de agua, la reducción de las pérdidas en las redes de distribución, la reutilización y, a veces, la importación de agua de lugares excedentarios, sin olvidar la desalación de las aguas saladas o salobres. El desarrollo sostenible exige una planificación partiendo de la demanda máxima admisible, compatible con el respeto a los equilibrios ambientales; esto puede exigir la limitación del crecimiento de las ciudades, lo que no es siempre aceptado. Por último, se comentan dos ejemplos, uno representativo de una ciudad donde no existe gran competencia por el agua entre la demanda agrícola y la demanda urbana (Almería); y el otro relativo a una ciudad donde el turismo de verano aumenta casi diez veces la población, con una agricultura para la que la demanda de agua alcanza en verano también su máximo (Almuñécar, Granada).

Introducción

Gran parte de las ciudades costeras mediterráneas goza de un clima privilegiado, con muchas horas de sol, una temperatura moderada

y escasas precipitaciones; hay una temporada seca bien marcada, correspondiente a los tres meses de verano. Las condiciones climáticas favorables permiten el desarrollo de una agricultura a rendimiento económico elevado en las llanuras litorales fértiles. Las condiciones agradables de estas zonas litorales y la moda del bronceado y de los baños han hecho de las ciudades costeras un punto de encuentro de miles de personas durante los meses estivales. Las lluvias torrenciales son igualmente frecuentes en estas áreas mediterráneas. También se encuentran zonas húmedas, a veces alimentadas por manantiales que pueden ser de aguas salobres.

La disparidad evidente entre la disponibilidad de agua y la demanda puede provocar problemas cuando no hay ríos provenientes de sectores donde las precipitaciones son más elevadas, o no existen sistemas de regulación (embalses). Evidentemente, la solución al problema pasa por un dimensionamiento adecuado de los sistemas de abastecimiento de agua potable, captaciones, conducciones, potabilización y redes de distribución. Pero el mismo problema se plantea para el saneamiento, los residuos sólidos urbanos, y todos los servicios. Algunas ciudades costeras, tales como Benidorm, tratan de resolver parcialmente este problema intentando tener una ocupación «constante» de las viviendas a lo largo de todo el año, lo que no es siempre fácil.

Pero, para llegar a esto, estas ciudades costeras debían resolver algunos de estos problemas. ¿Como hacían anteriormente? No existe ningún modelo. Las ciudades costeras situadas en las desembocaduras de los grandes ríos tenían menos problemas de agua, aunque sí a menudo un riesgo de inundación que volvía periódicamente. En otros casos, estaban los acuíferos y/o los acueductos, a menudo de varios kilómetros (Fassó, 1999), que conducían el agua del manantial o del río lejano. Se producía entonces una competencia por el agua, entre los derechos adquiridos por otros y el desarrollo de estas ciudades.

En el caso de las ciudades pequeñas, muchos métodos podían servir para mitigar el problema de la falta de agua, en verano o a todo lo largo del año. Los países del borde mediterráneo tenían una capacidad especial para imaginar sistemas de almacenamiento de agua de esorrentía (Prinz, 1996) o incluso para captar agua atmosférica (Laureano, 1998). Es evidente que se trata de pequeñas cantidades frente a las necesidades, pero no se debe despreciar su importancia en caso de necesidad.

La gestión del agua no era siempre muy eficaz dado que las fuentes y los puntos de abastecimiento público corrían continuamente. Las pérdidas en la red de distribución podían alcanzar elevados porcentajes

del agua abastecida. El agua residual era eliminada de una manera poco «ecológica», directamente al mar por canales abiertos, con el riesgo de infección de las personas, y propagación de enfermedades; o usada directamente en la agricultura. Desgraciadamente, esto sigue siendo uno de los métodos más utilizados a lo largo del Mediterráneo.

La gestión del agua

Consideraciones generales

La gestión del agua, en tanto que conjunto de medidas, leyes, reglamentos y acciones con el fin de explotar los sistemas hídricos de manera compatible con la demanda a abastecer, el medio ambiente y el uso racional del territorio, debe integrarse en el conjunto de la gestión de los recursos. Se debe tener en cuenta, entre otros objetivos, el uso adecuado de las infraestructuras y de los servicios que ya existen. Deben contemplarse, entre otros, los aspectos siguientes: inventario de las necesidades, usos y utilidades, dispositivos, evaluación de la demanda real, y su evolución en el espacio y en el tiempo, un conocimiento científico y técnico adecuado de los procesos, y el personal suficiente en cantidad y en formación; disponer de los medios de observación de la cantidad y de la calidad del agua, y de los impactos medioambientales y sociales de la explotación (Custodio, 1996).

En las zonas costeras se debe contar con los problemas añadidos derivados del hecho de que la disponibilidad de agua es normalmente inversa a la demanda, lo que obliga a construir sistemas de almacenamiento de agua durante las épocas de lluvias para disponer de ella durante el estío. La variabilidad hiperanual de las precipitaciones complica la situación. Los problemas se plantean a nivel de la captación (acuífero, río con o sin presas), conducción hasta el depósito y sistema de potabilización del agua, red de distribución (pérdidas, a menudo muy elevadas), concienciación de los usuarios para evitar el despilfarro, red de saneamiento (pérdidas que pueden contaminar y crear problemas geotécnicos), y estaciones de depuración de las aguas residuales.

Hay que efectuar, en cada una de las etapas, un plan y un dimensionamiento correcto de las obras, y se debe tomar una serie de medidas técnicas y de formación e información a los ciudadanos, para reducir la demanda. Paralelamente, hay que examinar muy seriamente la posibilidad de la reutilización de las aguas residuales, tratadas con-

venientemente, lo que reduce o evita la contaminación del mar, de los cursos de agua, de las zonas húmedas o de los acuíferos.

Fuentes de abastecimiento

Los problemas que se pueden presentar en la gestión y la planificación racional de la utilización del agua pueden variar notablemente. Puede haber varias fuentes de suministro simultáneas o sucesivas. En realidad, las fuentes naturales de agua potable pueden ser acuíferos —explotados por bombeo o captando las salidas naturales— o los ríos, con o sin embalses reguladores aguas arriba. Igualmente, el agua puede venir de puntos más o menos alejados, lo que necesitaría conducciones de agua, y aumentaría el riesgo de pérdidas con la distancia.

Los ríos con embalses permiten aumentar la garantía de abastecimiento de agua, pero queda el problema del año muy seco, difícil de garantizar bajo clima semiárido. Si el río no tiene sistemas de regulación el problema se puede agudizar, y no sólo en los años secos sino también cuando se produzcan aguaceros devastadores que pueden ocurrir periódicamente. A todo lo largo del Mediterráneo ha habido ejemplos seculares, notablemente reducidos a partir de la construcción de los embalses.

Los sistemas basados en la captación de los manantiales plantean el mismo problema que los ríos sin presas de regulación: durante los estiajes la demanda puede superar el caudal disponible, lo que exigiría la puesta a punto de sistemas que permitan la adecuación de la disponibilidad de agua a la demanda (presas en los manantiales, bombeos, galerías, galerías y bombeos, etc...; Pulido-Bosch, 1999).

Los acuíferos son a menudo la única alternativa válida, en ausencia de ríos de caudal continuo. Varios tipos de acuíferos pueden ser captados, en la costa o en el interior. En los acuíferos costeros, conectados con el mar, se debe evitar la concentración de bombeos en pocos sitios ante el riesgo de provocar intrusión marina. Es preferible tener varios sondeos bombeando bajos caudales que pocos sondeos bombeando mucho. También es preferible separarlos lo más posible del borde del mar si esto es compatible con el caudal de explotación.

La recarga artificial es una herramienta que puede dar buenos resultados en la gestión de los acuíferos del borde del Mediterráneo; se pueden utilizar los embalses subterráneos para almacenar en ellos los excedentes del período lluvioso, sabiendo que durante el estiaje se pueden recuperar. Para esto, se pueden utilizar las aguas de es-

correntía, incluyendo las de crecidas (Ferguson, 1994), con la condición de disponer de un mínimo de infraestructura. Los embalses de laminación de avenidas pueden servir igualmente, especialmente cuando el vaso está situado sobre materiales permeables.

La recarga artificial puede también ser utilizada para evitar el avance de la intrusión marina, tanto con agua residual, como con agua de otro origen. Recordemos que existen varias modalidades de recarga, que dependen directamente de los factores hidrogeológicos y socioeconómicos. Los sistemas de superficie son aplicables si la capacidad de infiltración del terreno es elevada y si no existen niveles impermeables entre la superficie y la zona saturada. El inconveniente mayor de este método se encuentra en la necesidad de grandes superficies, impactos visuales, riesgo de accidentes, proliferación de mosquitos entre otros. La alternativa puede ser la inyección en sondeos, con la condición de utilizar un agua sin materia en suspensión ni microorganismos que podrían colmatar los filtros. La ventaja es el poco espacio necesario para las operaciones. Se tienen que prever sistemas de descolmatación, incluso en condiciones favorables (Huisman y Olsthoorn, 1983).

Cuantificación de los recursos disponibles

En las ciudades costeras se debe conocer —dentro de unos límites razonables— la cantidad de agua disponible de calidad adecuada, proveniente de ríos, manantiales o pozos, en condición de explotación sostenible. Esto no es siempre fácil, dado que existen incertidumbres en cada uno de los parámetros que permiten obtener estos resultados; en efecto, la lluvia, en tanto que fuente principal del agua, puede variar de manera considerable, a veces diferencias del doble o del triple, entre el año más seco y el año más húmedo. La cantidad de agua que escurre o que se infiltra no es una fracción lineal de la lluvia, sino que puede variar de manera muy importante, con algunas dificultades para cuantificarla (Lerner et al., 1990; Simmers, 1997). Los límites de los sistemas acuíferos son también difíciles de establecer.

Se puede llegar, con los métodos actuales, a cuantificar la disponibilidad de agua de manera bastante precisa, aunque de forma probabilística, con un nivel de garantía, dado que casi todos los parámetros que intervienen tienen una estructura estocástica. No es una situación ideal, pero esta aproximación permite planificar las infraestructuras necesarias y la manera de utilizarlas en cada escenario posible.

Control de la demanda

Pero es sobre el control del agua demandada que se puede eventualmente actuar mejor. Está demostrado que buena parte del agua utilizada no es realmente necesaria. El agua ha sido considerada siempre como un bien gratuito, y se olvida que es en realidad un bien económico imprescindible para la vida, el desarrollo económico en todos los dominios de las actividades humanas, al mismo tiempo que es un agente geodinámico y ecológico de primer orden.

Podrían ser tomadas muchas medidas para evitar el despilfarro que se hace muy a menudo del agua o para poner a punto sistemas que consuman mucho menos agua: reciclaje en todas las fuentes públicas, contadores de agua, eliminación de las pérdidas en las redes, y también en todas las instalaciones domésticas y públicas, reducción de las dimensiones de las cisternas, ahorro en el aseo personal, en los electromésticos que utilizan agua, etc... Hay que tener en cuenta que apenas el diez por ciento del agua de uso doméstico necesita una calidad elevada ya que estará en contacto directo con la persona; el resto sirve para otros usos mucho menos exigentes; esto podría también reducir las restricciones de calidad en el abastecimiento, permitiendo así una disponibilidad mayor.

Esta reducción de la demanda puede ser una de las soluciones de futuro en nuestras ciudades costeras. Pero igualmente siempre se puede recurrir a técnicas más sofisticadas como son la desalación de agua de mar, o de agua salobre —tan frecuente en los acuíferos costeros— menos costosa de desalar (Torres, 1999). Evidentemente, no es una panacea, dado que esto requiere una gran cantidad de energía e inversiones bastantes grandes, aunque para cantidades pequeñas, se podrían aplicar sistemas que utilizan energía solar (Zarza y Rodríguez, 1996). Desde el punto de vista medioambiental, las aguas de rechazo pueden provocar algunos problemas.

En todo caso, las ciudades costeras deberían planificar su futuro teniendo en cuenta el agua disponible en distintos escenarios, y los límites introducidos por el medio ambiente. Esta planificación debe obligatoriamente ser dinámica, dado que buena parte de los parámetros que intervienen pueden variar, por avances tecnológicos, o por otras razones. Desgraciadamente, las ciudades carecen a menudo de un modelo de crecimiento compatible con el medio ambiente y con los recursos disponibles. Edificios gigantes pueden proliferar a lo largo de las costas sin que los promotores sean conscientes de la escasez de agua. Durante los años 70 y 80 hay muchos ejemplos de esta manera de hacer que

crea situaciones límite. El agua ha sido siempre un recurso considerado como una responsabilidad de la Administración Central y cuando el problema se plantea se exige a ésta una solución. Las presiones políticas empiezan a partir de ese momento, y las situaciones de emergencia se suceden: barcos-cisterna, conducciones provisionales de varios kilómetros, sondeos perforados sin estudios medianamente sólidos, etc... Esto debe y puede ser evitado, si se actúa correctamente.

Llegado el momento, los responsables de la planificación del agua, en estrecha relación con las comunidades de usuarios, deben reflexionar sobre el modelo de crecimiento que están dispuestos a asumir, teniendo en cuenta los recursos disponibles y pensando en las futuras generaciones. La disponibilidad de agua es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, pero no es el único. El resultado de esta reflexión puede ser a veces muy decepcionante, pero evita crear falsas expectativas o problemas a medio y largo plazo de difícil solución, incluso irreversibles.

Es cierto que es muy difícil programar y llevar a cabo correctamente un desarrollo sostenible en las ciudades costeras, pero no es imposible; hay que empezar ya a planificar el futuro y mejorar la gestión diaria de los recursos. La experiencia muestra que si se paga el agua, en tanto que bien económico tal cual, al menos parcialmente, o incluso los costos reales del servicio, la demanda puede reducirse de manera notable. En la planificación del modelo de crecimiento habrá que poner de acuerdo a los distintos usuarios : agricultura, industria, turismo... El beneficio, en el sentido noble de la palabra deberá ser uno de los factores a considerar, incluso si esto requiere cambios radicales en las prioridades de aplicación del agua. El soporte legal interviene aquí, a menudo poco adaptado a los problemas actuales.

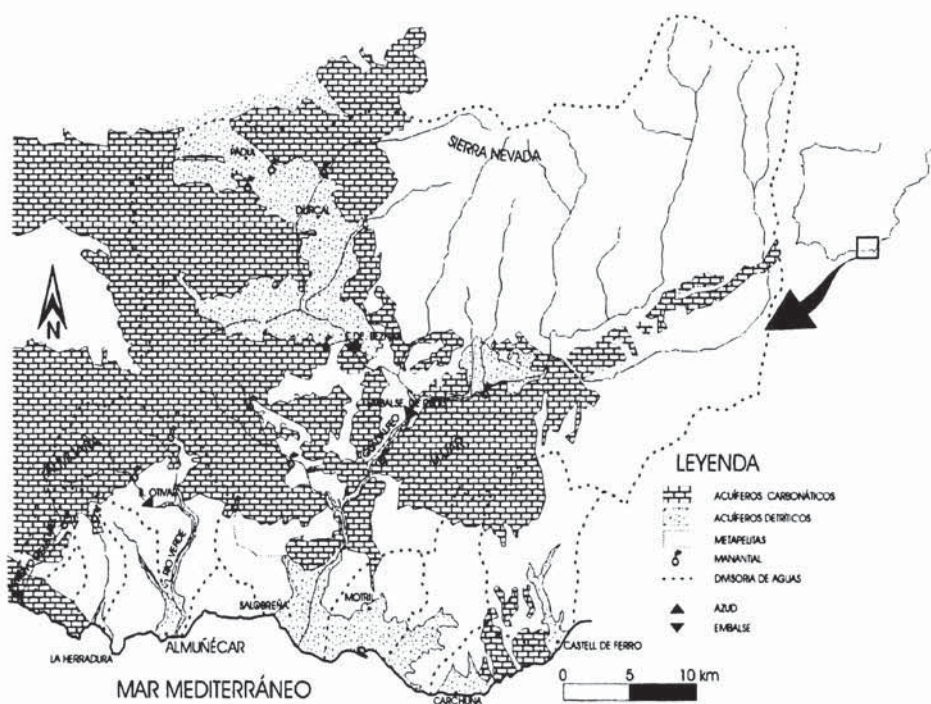
Dos ejemplos andaluces

Aspectos generales

Lo que acaba de ser expuesto de manera más o menos conceptual va a ser aplicado a dos ejemplos de ciudades costeras andaluzas, de problemática totalmente diferente, pero con muchos elementos comunes. Se trata de Almuñécar (Granada), y Almería, situada más al Este, y en consecuencia con un clima mucho más árido. Se considera la provincia de Almería como la más árida de toda Europa, con sectores con menos

de 180 mm/año, como media de un largo período. La otra ciudad goza de un clima más húmedo, lo que no impide que durante los años secos escasee el agua (figura 1).

FIGURA 1. Esquema hidrogeológico del Sur de la provincia de Granada.



El caso de la ciudad de Almuñécar

Almuñécar está situada en la desembocadura del Río Verde que tiene una cuenca vertiente de 96 km². La ciudad fué probablemente fundada por los fenicios, siendo en esa época asiento de una notable industria de salazones. Era una pequeña ciudad costera que vivía de la pesca y de la agricultura de regadío (300 a 400 ha), o de secano (almendros, higueras, viñedo, etc...). Los cultivos de regadío han variado

con el tiempo; durante un determinado período, existía incluso el monocultivo de la caña de azúcar, progresivamente sustituido por árboles tropicales (chirimoyas, aguacates, nísperos...) a partir de los años 50.

La población estable ha variado mucho en el tiempo, con períodos de crecimiento y decrecimiento, pero que aumenta notablemente a partir de la segunda mitad de los años 60. La tabla I indica algunos valores entre 1900 y 1998. Por otro lado, el turismo estival genera puntas de más de 140.000 habitantes en Julio-Agosto y 78.500 en Septiembre.

TABLA I. Evolución de la población de derecho en Almuñécar en algunos años del período 1900-1998

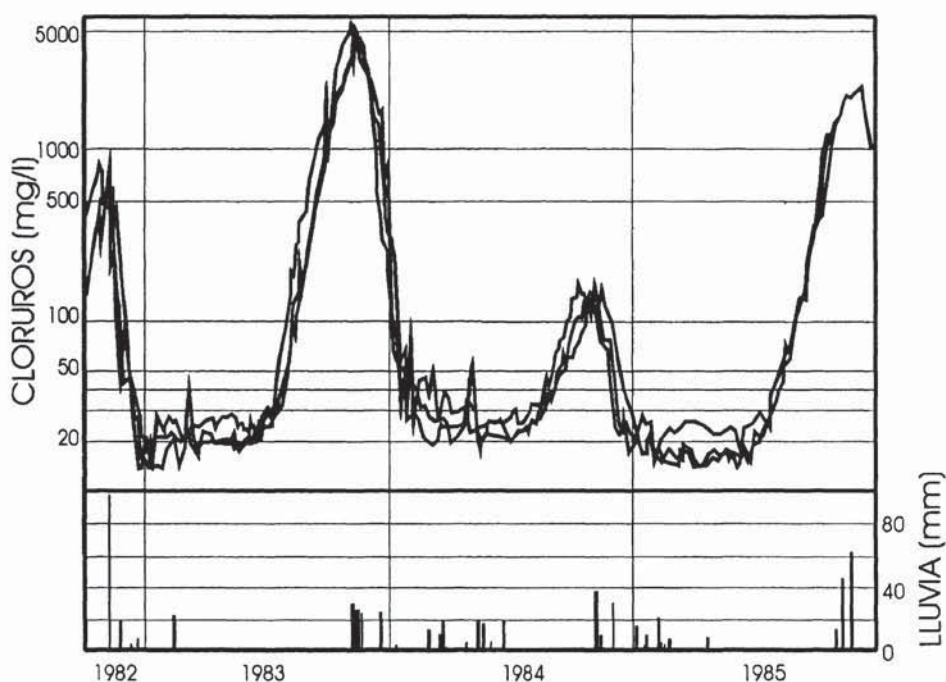
Año	Habitantes	Año	Habitantes
1900	8.022	1970	13.251
1910	8.583	1981	16.141
1920	8.022	1986	17.606
1930	9.149	1988	17.779
1940	11.110	1989	18.436
1950	12.448	1991	20.372
1960	14.603	1998	23.600

El turismo empieza a desarrollarse en los años sesenta, creciendo de una manera espectacular en los años siguientes. La pequeña ciudad costera comienza a crecer, con grandes edificios que, en verano, se llenan de turistas. Los chalets ocupan las laderas de las montañas que rodean la ciudad. La antigua galería (Las Angosturas) que abastece todo el agua potable para la ciudad se hace insuficiente, debido en cierta medida al aumento de los bombeos para regar entre 2.000 y 5.000 nuevas hectáreas de árboles frutales tropicales. La agricultura se extiende por todo el valle hasta 400-600 m de altitud. Se perforan sondeos en los aluviones (unas decenas) y sobre todo en los micasquitos y las cuarcitas. En estos últimos materiales los caudales son escasos (de 0,5 a 5 l/s), pero muy rentables dada la gran productividad de los productos agrícolas.

El municipio se ve obligado a perforar sondeos en los aluviones del Río Verde, que conforman un acuífero de 4 km² de superficie, en conexión estrecha con el río que queda seco la mayor parte del año, debido a la derivación de las aguas mediante canales de riego a algunos kilómetros de la costa, para hacer frente al aumento de la demanda estival. El período seco de principios de los años 80 pone en evidencia la aparición de procesos de intrusión marina, pero de una gran sin-

gularidad: la intrusión-extrusión era muy rápida (figura 2), recuperando bastante pronto la composición inicial después de las primeras lluvias de otoño (Fernández-Rubio et al., 1986 y 1988; Calvache y Pulido-Bosch, 1991). La red de distribución «paralela» se establece en verano; al ser el agua del grifo salada, la gente compraba agua mineral para beberla, y usaba la del grifo para otras necesidades. Además, se llevaron a cabo otras alternativas de captación («Cantarriján» y azud del río de la Miel, figura 3).

FIGURA 2. Evolución temporal del contenido en Cl de las aguas de los pozos de abastecimiento a Almuñécar en el período indicado (tomado de Fernández-Rubio et al., 1988).

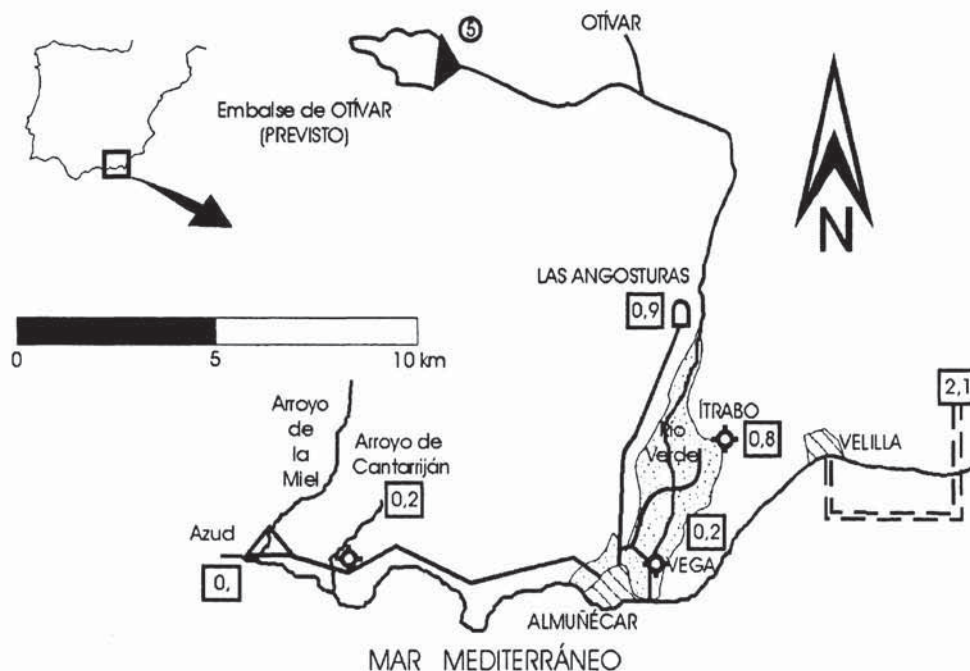


En los momentos más difíciles, bajo la presión popular, se estudian alternativas que proponen la importación de agua del Guadalfeo, río situado al Este y con una cuenca vertiente de más de 2000 km², de régimen pluvionival, dado que Sierra Nevada se encuentra en su ca-

becera. Pero la sequía afectó a todo el mundo, lo que provocó fuertes tensiones entre los regantes tradicionales del Guadalfeo y los habitantes de Almuñécar. Se negaban incluso a la transferencia por bombeo del agua desde la desembocadura de los canales de riego en el mar.

El hecho de que los cultivos tropicales dominantes fueran muy poco tolerantes a las sales en el agua añadía una complicación, pues el riego con agua con más de 1 g/l de sales podía ser dramático. Los cultivos tenían pues la prioridad, dado que las personas podían siempre beber agua embotellada. Finalmente, fue construido un canal para transferir agua del Guadalfeo al Río Verde, pasando por el mar, que pudo funcionar desde el primer año húmedo que siguió a la sequía. Pero, en zonas tan próximas, los años húmedos lo son por todas partes, y se asiste así a la conexión entre dos cuencas «excedentarias». La posibilidad de hacer recarga artificial con agua transferida era visiblemente poco eficiente, dada la alta transmisividad de los aluviones (Calvache y Pulido-Bosch, 1989).

FIGURA 3. Esquema de los actuales abastecimientos de agua a Almuñécar. Las cifras indican las caudales captados ($\text{hm}^3/\text{año}$) en cada uno de los emplazamientos explicados en texto.



Otras posibilidades fueron estudiadas luego, tanto a partir de aguas de superficie, como a partir de las aguas subterráneas (DGOH, 1992). Se proyectó la construcción de la presa de Otívar (figura 3) en un afluente del río Verde, con una capacidad de 5 hm³, donde los aportes son escasos y dejan la mayor parte del río Verde sin regulación. Se había aconsejado la perforación de algunos sondeos en los carbonatos de las sierras aguas arriba de la cuenca. Allí también los agricultores de los pueblos afectados se opusieron.

En este momento, la ciudad tiene 10 puntos distintos de captación de agua (7 sondeos, 2 galerías y 1 canal, prolongado bajo el mar). El esquema de distribución de agua potable comprende 12 depósitos de agua de dimensiones comprendidas entre 250 y 4.000 m³. El agua abastecida en 1997 fue de 5,2 hm³ y de 4,2 hm³ en 1998. En un sistema de distribución tan complejo las pérdidas son muy notables (68 % en 1997 y 46 % en 1998).

La construcción actual de una presa con capacidad del orden de 120 hm³ en el río Guadalfeo permite pensar que será posible garantizar las demandas futuras de agua en todo el litoral granadino, al menos en los años medios y húmedos; queda ver lo que ocurrirá en los años secos. Otros puntos han sido captados con el propósito de diversificar las fuentes de abastecimiento en agua; pero la solución definitiva que garantice el riego creciente con agua de alta calidad y el agua potable no ha sido aún encontrada.

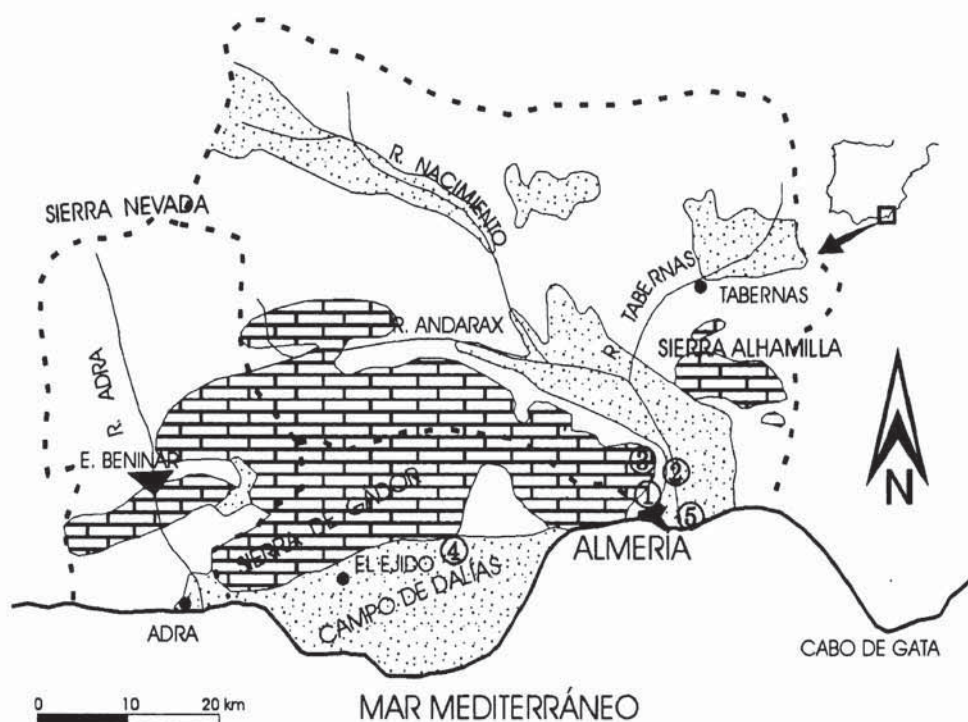
El abastecimiento a Almería

Almería es una ciudad que tiene actualmente más de 170.000 habitantes. Fenicia, romana, árabe y cristiana, el agua potable ha tenido distintos orígenes en el tiempo. Se conservan aún los aljibes que recogían, en la ciudad, el agua de lluvia y de escorrentía (aljibes árabes del siglo XI). Muchos pequeños manantiales y pequeños pozos costeros también abastecían agua potable. Algunas galerías fueron excavadas en los años secos en los aluviones del Andarax, río con caudal extremadamente variable (Sánchez Martos, 1997).

El aumento de la demanda obligó a diversificar las fuentes de captación de agua, perforando otros pozos —con galerías laterales— y sondeos profundos, siempre en la cuenca del Andarax. La calidad del agua se deterioró, por el agua de mar y la salinidad de los suelos (Pulido Bosch et al., 1992), lo que obligó a cambiar la fuente de agua. El nuevo sector era el Campo de Dalías, paraíso del invernadero donde

se cultivan 20.000 ha de productos extra-tempranos de alta rentabilidad (figura 4). El agua captada tenía algunos gramos de sales por litro y facies clorurada sódica, lo que la hacía no potable; en la ciudad, el agua del grifo no se utilizaba para beber, la red «paralela» de distribución estaba en sus comienzos: el agua embotellada y el camión-cisterna que vendía agua potable de puerta en puerta.

FIGURA 4. Esquema hidrogeológico del Campo de Dalías y del borde meridional de la Sierra de Gádor. Los números indican la cronología relativa de las fuentes de abastecimiento



En 1989, se perforaron 8 sondeos en el mejor sector del Campo de Dalías, que captaban agua con menos de 500 mg/l de total de sales disueltas. Hay que indicar que había sido construida una presa en los años 80 —Beninar— para garantizar, entre otros, el abasteci-

miento a la ciudad. Paralelamente, la agricultura necesita cerca de 130 hm³/año, explota un acuífero en el cual la alimentación es apenas 60 hm³/año; está pues sobreexplotado, y manifiesta, en algunos sitios, síntomas de intrusión marina (Pulido Bosch et al., 1991 y 1994; Domínguez y González, 1995). La competencia por el agua entre agricultura, uso doméstico y turismo no es tan acentuada como en el caso de Almuñécar dado que en verano el riego está prácticamente paralizado debido a que se trata de cultivo extra-tempranos; los niveles piezométricos suelen subir en verano.

Lo que es notable en la gestión del agua de la ciudad de Almería es el gran nivel de eficacia adquirida de un año para otro, que ha permitido pasar de 29,5 hm³/año en 1991 a 14,9 en 1997, con dotaciones de 525 y 242 l/hab/día, respectivamente. La tabla II resume la evolución de la demanda.

TABLA II. Evolución del volumen anual suministrado por el abastecimiento a Almería y sus habitantes (datos facilitados por SOGESUR)

Año	Población	Volumen hm ³	Año	Población	Volumen hm ³
1991	155.120	29,5	1995	169.509	16,8
1992	156.108	23,2	1996	170.503	15,0
1993	166.326	18,5	1997	171.894	14,9
1994	167.361	16,8	1998	—	16,0

Esta disminución es el resultado del concurso de varios hechos : una mejor gestión, un control exhaustivo de las pérdidas, una mejor colaboración de los ciudadanos, después de los años muy secos con restricciones, etc. Pero hay que tener en cuenta que los sondeos tienen actualmente su nivel piezométrico a más de 30 bajo el nivel del mar, sin que de momento los contenidos en sales hayan aumentado. Esto se interpreta como que hay necesidad de tratar de encontrar una solución más definitiva. En efecto, actualmente está en construcción una estación desaladora de agua de mar por ósmosis inversa, con un caudal de 4.000 m³/h, lo que permitirá garantizar el abastecimiento durante varias decenas de años. Esta estación está comprendida dentro de un programa mucho más ambicioso que contempla eliminar los problemas de escasez de agua incluso para la agricultura (Gutiérrez, 1996), lo que exigiría la construcción de varias presas, otra estación desaladora, canales que co-

nectarían todas las presas construidas o de futura construcción, trasvases de agua del Guadalquivir, etc. Se estiman inversiones de más de 70.000 millones de pesetas.

Consideraciones finales

El abastecimiento de agua potable de las ciudades costeras plantea muchos problemas dado que, muy a menudo, la disponibilidad de agua es menor en la época en la que la demanda es mayor. Esto obliga a prever sistemas en competencia con otros usuarios. Existe, en numerosos casos, una falta de planificación en lo que se refiere al desarrollo futuro de las ciudades, lo que agrava el problema. Es, pues, necesario planificar el modelo de evolución futura de estas ciudades teniendo en cuenta las posibilidades técnicas de garantía de la demanda de agua, sin perder de vista que los avances tecnológicos pueden permitir encontrar recursos económicamente explotables allí donde antes no era posible.

Es evidente que la demanda se puede controlar y reducir considerablemente si la gestión es adecuada. Se pueden reducir las pérdidas en la red de distribución que a veces pueden sobrepasar 50 % del agua abastecida; el despilfarro en las casas y en las instalaciones públicas (fuentes, abrevaderos y otros), normas de ahorro de aguas domésticas (duchas, aseos, lavaplatos, lavadoras, etc). El ejemplo de Almería evidencia que una buena gestión puede reducir la demanda el 50 % en casos favorables. Esto reclama la colaboración y la participación, no solo de las autoridades sino también de toda la sociedad en general; la educación social sería muy importante. Pero la gestión del agua incluye igualmente las aguas residuales que, convenientemente depuradas, pueden ser reutilizadas, permitiendo así aumentar las disponibilidades de agua y disminuir el riesgo de contaminación de los ríos, de los acuíferos y del mar.

Agradecimientos

El texto se ha beneficiado de los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el marco del Proyecto HID98-0689 financiado por la CICYT.

Referencias

- CALVACHE, M.L. y PULIDO BOSCH, A. (1989): *Simulación de los efectos de una recarga en el acuífero del río Verde*. La Sobreexplotación de Acuíferos, Almería. Temas Geológico-Mineros, 10 (I): 193-205.
- CALVACHE, M.L. y PULIDO BOSCH, A. (1991): «Saltwater intrusion into a small coastal aquifer (Rio Verde, Almuñecar, Southern Spain)». *Journal of Hydrology*, 129: 195-213.
- CUSTODIO, E. (1996): «Explotación racional de las aguas subterráneas». *Acta Geológica Hispánica*, 30 (1-3): 21-48.
- DGOH (1992): *Asistencia técnica para el estudio de las posibilidades de aprovechamiento de recursos hídricos para suministro al área de Almuñecar (Granada)*. Junta de Andalucía, 116 p. + Anexos y planos (informe inédito).
- DOMÍNGUEZ, P. y GONZÁLEZ, A. (1995): *Situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación*. Hidrogeol. y Rec. Hidrául., XXI: 443-467.
- FASSO, C. (1999): *Water transfer over long distances. Water Security in the Third Millennium*. Villa Olmo (Como). UNESCO (en prensa).
- FERGUSON, B.K. 1994. *Storm water infiltration*. Lewis, 269 p. Boca Raton.
- FERNÁNDEZ-RUBIO, R., JALÓN, M., BENAVENTE, J. y FERNÁNDEZ-LORCA, S. (1986): *Proceso de salinización-desalinización en el acuífero costero del río Verde (Almuñecar, Granada)*. II SIAGA, II: 303-313. Granada.
- FERNÁNDEZ-RUBIO, R., BENAVENTE, J. y CHALONS, C. (1988): *Hidrogeología de los acuíferos del sector occidental de la costa de Granada*. TIAC'88, II: 239-265.
- GUTIÉRREZ, M.A. (1996): *El agua en el Poniente Almeriense*. IV SIAGA, III: 141-163.
- HUISMANS, N. y OLHSTOORN, T.N. (1983): *Artificial groundwater recharge*. Pitman Advances Publ. Program. 320 p. Boston.
- LAUREANO, P. (1998): «Proper uses of natural resources, Environmental architecture and hydraulic technologies for self-sustainable and resources-sparing projects». *Human Evolution*, 13 (1): 29-44.
- LERNER, D.N., ISSAR, A.S. y SIMMERS, I. (1990): *Groundwater recharge*. IAH n° 8, Verlag Heinz Heise, 345 p. Hannover.
- PRINZ, D. (1996): *Water Harvesting. History, Techniques and Trends*. Z. f. Bewässerungswirtschaft, 31, 1: 64-105.
- PULIDO BOSCH, A. (1999): *Karst water exploitation*. In «*Karst Hydrogeology and Human Activities*». Drew, D. y Hötzl, H. eds, IAH, 20: 225-234. Balkema.
- PULIDO BOSCH, A., NAVARRETE, F., MOLINA, L. y MARTÍNEZ-VIDAL, J.L. (1991): *Quantity and quality of groundwater in the Campo de Dalías (Almería, SE Spain)*. *Wat. Sci. Tech.*, 24 (11): 87-96.
- PULIDO-BOSCH, A., MOLINA, L., NAVARRETE, F., VALLEJOS, A., PADILLA, A., MARTÍNEZ-VIDAL, J.L., CERVANTES, D., GIL, M..D. y PALLARÉS, A. (1994): *L'intrusion marine dans l'aquifère carbonaté d'Aguadulce (Almería, Espagne)*. *Colloque Intern. Karstologie*. Publ. Serv. Geol. Vol. XXVIII: 125-134.
- PULIDO-BOSCH, A., SÁNCHEZ-MARTOS, F., MARTÍNEZ-VIDAL, J.L. y NAVARRETE, F. (1992): *Groundwater problems in a semiarid area (Low Andarax River, Almería, Spain)*. *Environ. Geol. Water Sci.*, 20 (3): 195-204.

- SÁNCHEZ-MARTOS, F. (1997). *Estudio hidrogeoquímico del Bajo Andarax (Almería)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 290 p.
- SIMMERS, I. ed. (1997): Recharge of phreatic aquifers in (semi-) arid areas. IAH n° 20, Balkema. 277 p. Rotterdam.
- TORRES, M. (1999): La desalación de agua de mar, ¿recurso hídrico alternativo?. In: *Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas*. Eds. A. Pulido Bosch et al. (en prensa).
- ZARZA, E. y RODRÍGUEZ, J.A. (1996). *Utilización de energías alternativas en la desalación de agua de mar*. IV SIAGA, III: 165-185.