

## **VENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO CONJUNTO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS: EL EJEMPLO DE MADRID**

**Francisco FLORES MONTOYA\***

(\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Tajo.

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se comentan los resultados, en cuanto a recursos disponibles, de la simulación de tres hipótesis de explotación del sistema de abastecimiento de Madrid: en la primera, se supone un aprovechamiento independiente de los embalses superficiales existentes; en la segunda un aprovechamiento conjunto de dichos embalses; en la tercera, un aprovechamiento conjunto de embalses y recursos procedentes de los acuíferos.

En el primer caso se tendrían unos recursos disponibles de 459 hm<sup>3</sup>/a, con vertido de embalses de 229 hm<sup>3</sup>/a; en el segundo, los recursos serían de 564 hm<sup>3</sup>/a y el vertido de 159 hm<sup>3</sup>/a; en el tercero, se obtendrían recursos disponibles entre 635 y 750 hm<sup>3</sup>/a, con vertido entre 120 y 70 hm<sup>3</sup>/a.

A la vista de estos resultados, se formulan una serie de conclusiones y propuestas para el abastecimiento urbano de la Comunidad de Madrid, enfocados especialmente al uso racional de los recursos de agua subterránea.

### **CONCEPTOS GENERALES**

La utilización conjunta, o coordinada, podríamos definirla como una forma eficiente de satisfacer las demandas de agua del hombre, que se basa en aprovechar los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, de forma coordinada, incrementando la disponibilidad, economizando su empleo en base a una racional modificación del ciclo hidrológico, en armonía y respeto a las demandas del medio natural.

Otra forma de definirlo sería como el aprovechamiento eficiente de los acuíferos y los embalses, de acuerdo con su recarga y aportaciones, respectivamente, mediante las captaciones que permiten proporcionar los recursos adaptados a la demanda con gran flexibilidad, incrementando la disponibilidad, economizando su

empleo en base a una racional modificación del ciclo hidrológico, en armonía y respeto a las demandas del medio natural.

Las aportaciones naturales son irregulares en el tiempo, con gran estacionalidad. Los embalses superficiales, canales y conducciones, como elementos de regulación artificial, permiten regular normalmente la irregularidad estacional y, a veces, la hiperanual. Los acuíferos, embalses subterráneos, complementan a los embalses superficiales, especialmente en sequías. Éstas son cíclicas, y los ciclos pueden ser más o menos largos, y más o menos periódicos.

Conseguir la seguridad en el suministro de las demandas de agua es uno de los objetivos básicos de la planificación hidrológica. Con carácter general, mayor seguridad implicará mayor coste.

Una de las formas de conseguir la seguridad es el establecimiento de unas reglas de explotación, considerando las obras existentes y las viables -incluidos los pozos y la recarga artificial e inducida-, para servir las demandas actuales y futuras, con niveles adecuados de garantía y de calidad, para identificar posibles déficits en escenarios verosímiles, y para programar las obras en condiciones óptimas, a definir con criterios económicos, sociales y políticos, todo ello respetando restricciones de tipo técnico, físico, ecológico, de calidad y de mínimos.

Se llama regla de explotación la definición de la forma de servir las demandas desde los embalses y acuíferos, en función del conjunto de condicionantes existentes, y depende de los recursos, de la cuantía y distribución espacial y temporal de las demandas, de los embalses, acuíferos, conducciones y otras infraestructuras.

En España la demanda está reglamentariamente considerada (art. 74.2. del RAPAPH) como la necesidad de agua para uno o varios usos; para definirla son precisos los siguientes datos:

- a) el volumen anual y la distribución temporal de los suministros necesarios, así como las condiciones de calidad exigibles,
- b) el nivel de garantía de los suministros para los diferentes usos,
- c) el consumo neto, o sea, la porción del suministro que no retorna al sistema hidráulico, y
- d) el volumen anual y la distribución temporal del retorno, y la previsión de la calidad previa a cualquier tratamiento.

También está reglamentariamente definido qué es un Sistema de Explotación de Recursos (art. 73.3. del R.A.P.A. y de la P.H.), como el conjunto de elementos naturales, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hidráulicos naturales, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles.

Existen muchos tipos y tamaños de sistemas de explotación de recursos, dependiendo del nivel de presión sobre los recursos, y del número e importancia de las infraestructuras puestas a disposición de la explotación de los recursos. El Macrosistema del Tajo, formado por las subcuencas del Tajo aguas arriba de Azután (Tajo, Tajuña, Henares, Jarama, Guadarrama, Alberche y Tajo Medio), o el formado por toda la cuenca del Segura, son ejemplos de sistemas de explotación complejos.

El gran número de variables, y la complejidad de los sistemas actuales de explotación de recursos, y mucho más los futuros, hace que las reglas de operación no sean evidentes, y se estén produciendo cambios substanciales de forma casi constante, aunque generalmente en un mismo sentido, la interdependencia entre los diferentes usos y aprovechamientos hacia nuevos sistemas cada vez más complejos, hacia un mayor aprovechamiento, impulsados por la urgente necesidad de poner cada vez más rigor en la gestión. Todo ello nos indica que es preciso caracterizar y acotar las variables que intervienen en los sistemas de explotación, con el fin de facilitar la realización de estudios técnicos que avalen las soluciones que se adoptan, estructurales o de gestión.

Por el solo hecho de aumentar la demanda, la capacidad de embalse existente, al estar cada vez menos utilizada, es decir, los embalses más vacíos, permitirá ser utilizada para regular aportaciones no reguladas en la actualidad, sin necesidad de nuevas infraestructuras. En cambio, la garantía de las demandas implicadas se reducirá. El problema será determinar si la garantía resultante sigue siendo aceptable. Las dificultades serán mayores cuando intervienen factores coyunturales de tipo hidrológico, técnico, económico o, incluso, de oportunidad política. Cuando los recursos son abundantes en relación a las demandas, posiblemente no hará falta recurrir a nuevas soluciones técnicas para mantener la garantía. Cuando eso no ocurre así, será preciso buscar nuevas soluciones que la mantengan.

De acuerdo con lo anterior, el uso racional mediante uso conjunto, o utilización coordinada, obliga a auditar elementos del sistema para conocer con detalle la explotación actual, en base a las infraestructuras existentes, para mejorarla, cosa que sólo puede conseguirse perfeccionando las reglas de explotación y haciendo uso más eficiente de las infraestructuras.

Con carácter general, habrá que profundizar en el conocimiento del ciclo hidrológico, en el ámbito geográfico relacionado con el sistema de explotación. Hay que caracterizar las fases superficial y subterránea, delimitar una y otra, así como su interrelación, las áreas de recarga, el valor de ésta, tener un buen control de la lluvia caída y precisar las funciones que transforman la lluvia en escorrentía o en infiltración. Hay que caracterizar las cuencas vertientes: pendientes, forma, desarrollo de la red fluvial, etc.

Entre el río de ciclo anual puro, dependiente directo de la aleatoriedad de la lluvia, y el acuífero que podría tener un ciclo de bastantes años, hay muchas situaciones intermedias. Tomando la cuenca del Tajo, hay ejemplos de casi todas: así,

las cabeceras de los ríos Sorbe, Jarama, Lozoya, Guadarrama, Alberche, Tiétar, Alagón, Jerte y Arrago son de ciclo anual, los caudales de estiaje son escasos y corresponden a las pequeñas terrazas cuaternarias que todo río tiene, en estiajes pronunciados pueden incluso quedarse secos. En cambio, en las cuencas de los ríos Henares, Tajuña, Tajo y otras de los ríos de la margen izquierda, las series anuales están correlacionadas y los caudales de estiaje garantizados, aunque la diferencia entre éstos y el caudal medio puede ser grande.

El ciclo hidrológico es único, tiene una fase externa o superficial y otra interna o subterránea. La diferencia fundamental, entre una y otra, estriba en el tiempo de estancia del agua en su medio, que permite disponer de ella, cuando se trata de aguas subterráneas, durante plazos más largos, adaptándose a la demanda, y la concentración en plazos cortos de tiempo, cuando se trata de aguas superficiales, que obliga a construir embalses para retenerla y no perderla, al tiempo de para evitar inundaciones. Parece obligado aprovechar los recursos racionalmente. Esta obligada racionalidad será facilitada por un conocimiento más preciso de los elementos variables del sistema, y la gran adaptabilidad del agua subterránea a la demanda permite complementar perfectamente la irregularidad de las escorrentías superficiales. El peso de una u otras dependerá de múltiples causas, por lo que cada sistema de explotación debe caracterizarse perfectamente. Lo importante para poder caracterizarlo será conocerlo hidrológicamente, así como conocer las demandas y restantes elementos del sistema.

Una vez conocidas las variables que intervienen en un sistema de explotación de recursos, desde el punto de vista físico e hidrológico, se debe llegar al óptimo de la explotación. Es habitual crear modelos matemáticos que reflejen el funcionamiento del sistema, y analizar a través de ellos las reglas de operación que conducen al mejor aprovechamiento, o a justificar la necesidad de crear nuevos elementos - embalses, conducciones, captaciones, etc- que incrementen la disponibilidad de recursos. La formulación matemática del funcionamiento físico de cada elemento del sistema está bastante desarrollada, y existen suficientes herramientas disponibles para analizar casi todos los problemas que pueden presentarse. Su aplicación a sistemas de explotación concretos es una tarea de tiempo, trabajo y dinero.

La caracterización de los acuíferos, para modelar su funcionamiento, depende del tipo de acuífero -acuífero depósito, unicelular, con manantial, conectado con río, etc. La representación matemática del funcionamiento requiere suficiente información, para ajustar las constantes que resuelven la integración de las ecuaciones representativas del fenómeno.

## **EL CASO DE MADRID: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO INDEPENDIENTE O CONJUNTO DE LOS RECURSOS**

### **Casos a comparar**

En los tres casos que se plantean, se ha supuesto que la demanda se satisface con el mismo criterio de garantía, y tiene el mismo porcentaje de distribución mensual que el conjunto de la demanda de Madrid. Para simplificar, se ha supuesto, en los tres casos, que los embalses de la cuenca del Lozoya equivalen a un solo embalse, de volumen igual a la suma de volúmenes de todos (Pinilla, Riosequillo, Puentes Viejas, El Villar y El Atazar) y superficie de embalse intermedia de la del conjunto de los embalses, supuesta el agua distribuida proporcionalmente a su volumen entre los distintos embalses.

Caso 1º.- Se han cuantificado los recursos disponibles que satisfacen la máxima demanda, cumpliendo el criterio de garantía adoptado para el abastecimiento de población en el Plan Hidrológico del Tajo, de los ríos que componen la mayor parte de los recursos exclusivos del abastecimiento de Madrid, tratados de forma independiente entre sí:

- Jarama, en El Vado
- Lozoya, en El Atazar
- Guadalix, en Pedrezuela
- Manzanares, en Santillana
- Aulencia y Guadarrama, en Valmayor

Caso 2º.- Se han cuantificado los recursos disponibles de esos mismos ríos suponiendo que forman parte de un mismo sistema de explotación, y explotados conjunta o coordinadamente.

Caso 3º.- Se ha cuantificado, y comprobado, el efecto de integrar en el sistema de explotación considerado en el caso 2º, las aguas subterráneas, con la potencia máxima a la que se ha considerado como objetivo en el Plan Hidrológico del Tajo, es decir, 180 hm<sup>3</sup>/año o 15 hm<sup>3</sup>/mes. Se ha cuantificado y comprobado el efecto de modificar en el programa de optimización el coste del bombeo, o el coste de la conducción que representa el bombeo de los pozos, resultando seis subcasos.

### **Herramientas utilizadas en los cálculos**

En el caso 1º, el cálculo de los recursos disponibles, en cada uno de los cinco ríos, analizados de forma independiente, se ha realizado mediante un libro de cálculo en Excel, compuesto por múltiples hojas (una por año de la serie simulada, más un conjunto de 19 hojas en las que se introducen datos y se obtienen resultados numéricos y gráficos).

En el caso 2º, los recursos disponibles de los cinco ríos, con los embalses existentes, y tratados como un único sistema de explotación con una única demanda, se han obtenido utilizando el programa de optimización OPTIGES, sobre el que se

ha creado un modelo sencillo de cinco embalses y una demanda. El modelo del sistema de explotación ha sido creado al efecto por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

En el caso 3º, los recursos disponibles de los cinco ríos, con los embalses exis-

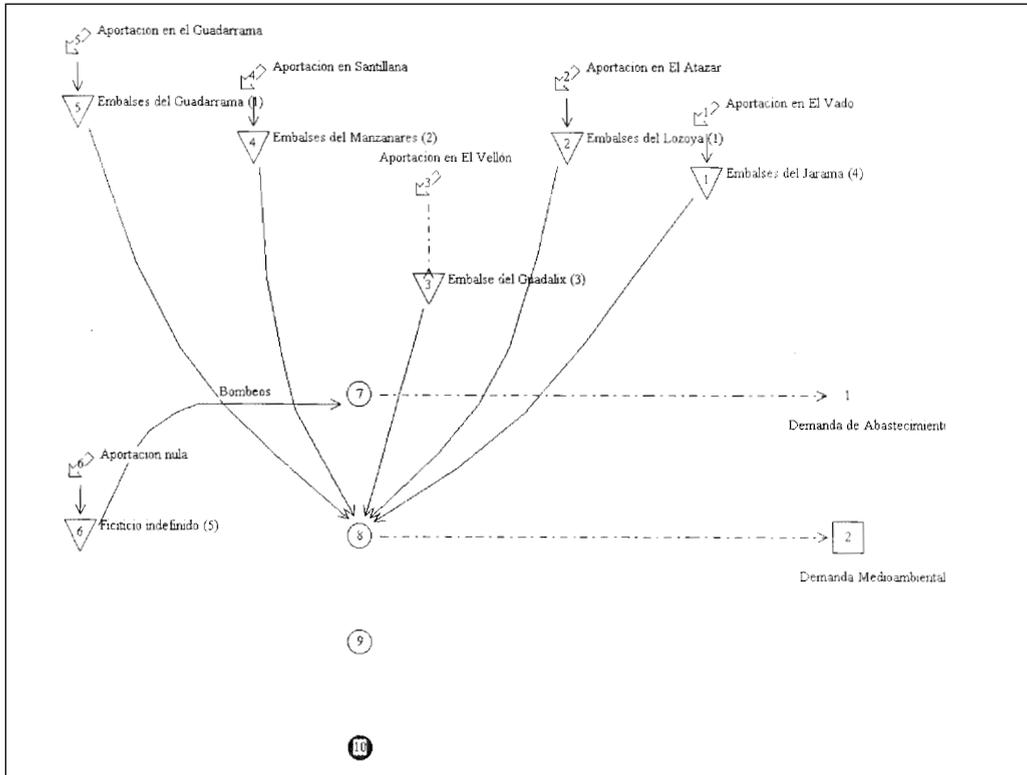


Figura 1. Grafo del modelo de cálculo.

EMBALSE	PRIORIDAD para guardar agua en el embalse	COSTE DE LA CONDUCCIÓN $K_{st}$
Jarama	4	0
Lozoya	1	0
Guadalix	3	0
Manzanares	2	0
Guadarrama	1	0
Subterráneo	5	variable de 2 a 8

Tabla 1. Prioridades y coeficientes de ponderación utilizados en la optimización.

tentes más los recursos procedentes de los acuíferos, y tratados como un único sistema de explotación, con una única demanda, se han obtenido utilizando el mismo programa de optimización OPTIGES, sobre el que se ha creado un modelo sencillo de cinco embalses, el acuífero y una demanda. La potencia de extracción de recursos en un año se ha supuesto de 180 hm<sup>3</sup>/año, o lo que es lo mismo 15 hm<sup>3</sup>/mes.

A efectos de poder reflejar la mayor o menor dificultad de disponer del agua sub-

SISTEMA	Volumen de embalse	Aportación	Recursos disponibles	Recursos subterráneos	Evaporación	Vertido
Jarama	55	158,95	56	0	2,35	93,28
Lozoya	587	376,10	300	0	12,86	57,77
Guadalix	41	56,20	24	0	2,75	29,85
Manzanares	102	94,69	46	0	9,79	32,59
Guadarrama-Aulencia	124	91,19	33	0	6,22	15,65
SUMA	909	777,13	459	0	33,97	229,14

Tabla 2. Resultados del aprovechamiento independiente de los embalses.

terránea, el programa permite introducir un coeficiente ponderador, que incrementaría el coste de la función objetivo que debe minimizarse. El indicador de ponderación ( $K_{st}$ ) del caudal circulante, para cada mes, refleja el coste o la dificultad de dis-

SISTEMA	Volumen de embalse	Aportación	Recursos disponibles	Recursos subterráneos	Evaporación	Vertido
Sistema conjunto recursos						

Tabla 3. Resultados del aprovechamiento conjunto de los embalses.

poner del agua que pasa por la conducción ponderada, con un coeficiente distinto para cada hipótesis variando entre 2 y 8, y se ha supuesto distinta prioridad para guardar el agua en los embalses (tabla 1).

El programa de optimización puede utilizar períodos de optimización de uno, dos,

K <sub>st</sub>	Jarama	Lozoya	Guadalix	Manzanares	Guadarrama	Recursos subterráneos	Vertido	Evapor.	Recursos disponibles totales
2	135,08	324,00	47,23	76,17	74,61	91,35	70,44	25,53	750
3	134,49	327,19	46,05	77,26	70,06	79,86	82,74	13,99	735
4	130,43	299,50	41,18	70,38	63,29	45,29	125,80	15,77	650
5	135,59	303,29	41,63	70,56	66,00	17,72	121,19	14,92	635
6	135,96	303,50	41,27	69,02	66,79	15,42	122,02	15,08	632
8	135,62	303,90	41,28	70,10	67,37	16,67	120,46	14,92	635

Tabla 4. Resultados del aprovechamiento conjunto de embalses y acuífero.

tres ... hasta nueve años. Los cálculos se han hecho de forma homogénea para los nueve años.

### Resultados

Caso 1º.- En primer lugar vamos a presentar los resultados sobre los recursos disponibles, considerando una demanda con distribución proporcional a la de Madrid y un embalse con volumen equivalente en cada una de las subcuencas a los existentes (los recursos disponibles resultantes están obtenidos para el mismo criterio de garantía adoptado en el Plan Hidrológico del Tajo para el abastecimiento) (tabla 2).

Caso 2º.- Se presentan a continuación los resultados de considerar los embalses como parte de un sistema de explotación, y una demanda con distribución proporcional a la de Madrid (tabla 3).

Caso 3º.- A continuación, se presentan los resultados, en disponibilidad de recursos, de un sistema de explotación compuesto por el conjunto anterior de embalses superficiales más los recursos subterráneos del acuífero detrítico, del que se ha supuesto que podría extraerse un máximo de 15 hm<sup>3</sup>/mes, pero con una dificultad o coste variable, representado por un coeficiente de ponderación que facilita o dificulta la extracción, según el caso (tabla 4).

### AGUA SUMINISTRADA AL ABASTECIMIENTO

El suministro real en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM) puede resumirse en los siguientes puntos.

El agua derivada de los embalses en 1991, a través de las redes que gestiona el Canal de Isabel II (CYII), fue de 590 hm<sup>3</sup>. La demanda a través de las redes que gestiona el CYII había pasado de 482 hm<sup>3</sup> en 1980 a 442,72 en 1984, y desde entonces había crecido de forma ininterrumpida.

Con motivo de la sequía, el suministro a través de las redes del CYII descendió

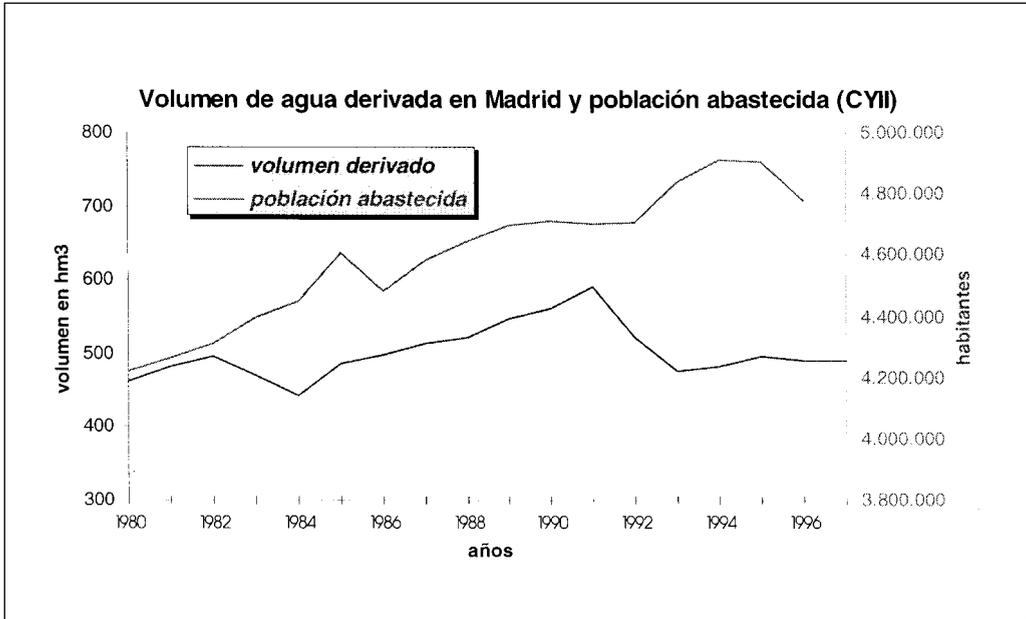


Figura 2. Volumen de agua derivada en Madrid y población abastecida (CYII).

Año	Nº municipios	Población sin Madrid	Total abasto CYII	Volumen facturado en hm³	Suministro hm³	Aprov. particular agua subterránea	Población CAM	Suministro Total
1980	35	1.057.811	4.222.700		462			
1981	47	1.107.127	4.267.102		482		4.686.895	585
1982	47	1.140.372	4.311.113		495	60		585
1983	53	1.203.893	4.399.042		469			
1984	53	1.248.128	4.449.418	314	442			
1985	79	1.398.384	4.608.245	328	486			
1986	83	1.423.321	4.482.484	343	497		4.780.572	
1987	86	1.480.956	4.582.453	369	514			
1988	95	1.540.393	4.644.224	365	521			
1989	96	1.587.638	4.697.099	388	548			
1990	110	1.661.913	4.713.000	394	560			
1991	119	1.740.714	4.701.202	423	590	32	4.947.555	652
1992	121	1.689.563	4.707.000	398	522	40		620
1993	133	1.802.023	4.840.000	364	475	55		585
1994	133	1.867.899	4.909.000	368	482	55		595
1995	137	1.876.146	4.905.880	373	496	55		
1996	142	1.912.194	4.779.044	369	490	55	5.022.289	595
1997					490			

Nota: El suministro total y el aprovechamiento particular de agua subterránea son estimados. El suministro total es la suma del proporcionado por el CYII, la Mancomunidad del Sorbe, propietarios y concesio-

Tabla 5. Datos significativos de la CAM y de su abastecimiento de agua.

hasta 475 hm<sup>3</sup>, sin duda provocado por una concienciación de los usuarios, al tiempo que incentivado por la CAM a través de las medidas legales adoptadas. La consecuencia es que, en el período de la sequía, se construyeron amparándose en el art. 52.2 de la Ley de Aguas unos 2.000 pozos. En el momento actual, la demanda de Madrid, a través de las redes que gestiona el CYII, está estabilizada en poco menos de 500 hm<sup>3</sup>, después de que en 1993 se redujera en unos 120 hm<sup>3</sup> respecto al valor de 1991. En el último año hidrológico el volumen de agua derivado de los embalses fue de 490 hm<sup>3</sup>, similar al de 1987.

Puede comprobarse que la dotación media en 1981, a nivel de CAM era 312 l/hab/día, y de 309 l/hab/día la suministrada por el CYII, mientras en 1991 la dotación resultaba de 361 l/hab/día a nivel de CAM y de 343 l/hab/día la suministrada por el CYII. Actualmente, las dotaciones con agua superficial en el área CYII están oscilando entre los 270 y los 280 l/hab/día, que resulta una dotación moderada.

En el mismo período, habían pasado a abastecerse, a través de las redes que gestiona el CYII, 81 nuevos municipios, que incorporaban más de 600.000 personas. Hoy son más de 142 municipios los que se abastecen de las redes del CYII, de los 179 de la CAM. Muchos de los nuevos municipios incorporados se venían abasteciendo con agua subterránea. En unos casos el CYII se hacía cargo de sus pozos, y les conectaba a las redes generales, como han sido los casos de Móstoles, Fuenlabrada y Parla en 1980, Boadilla del Monte en 1983, Torrejón de la Calzada en 1988, Villaviciosa de Odón, Villanueva de la Cañada, Villanueva del Pardillo, Navalcarnero, Quijorna y Brunete en 1990.

Los últimos estudios sobre utilización del agua subterránea estaban fechados en 1982. Las prognosis de demanda estaban sumando los suministros de agua subterránea de 1982 con la demanda de agua superficial de 1991, sin tener en cuenta que el crecimiento de la demanda de agua superficial estaba distorsionado por los cambios de fuente de suministro.

El agua facturada en hm<sup>3</sup> está hoy en los mismos niveles que en 1987 y 1988, 50 hm<sup>3</sup> por debajo del año de mayor facturación, 1991, en que llegaron a facturarse 423 hm<sup>3</sup>.

El porcentaje del agua derivada que ha sido facturada ha pasado, de un valor alrededor del 70% a finales de los 80, a un valor por encima del 75% en la actualidad. Aparte de que puedan existir recursos que antes no se facturaban y ahora sí, es en ese 5% donde está el ahorro de agua por menores pérdidas en las conducciones.

En pesetas, la facturación del CYII ha pasado de 16.055 millones del año 1987 a 40.857 millones del año 1996, factor que también debe haber influido en el descenso del consumo.

## COMPARACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN REAL Y LA SIMULADA

En los modelos considerados, se ha supuesto que la explotación del agua subterránea, en Madrid, se hace en períodos de sequía, entendiendo por tal la hidrológica.

Por encima de ciertos umbrales se debe suministrar agua desde los embalses. En la práctica, eso no ocurre así, al existir derechos de uso a los que en condiciones normales no puede imponérselos esa condición y, además, en las actuales circunstancias no les interesa.

Existe en la realidad una explotación anual de unos 55 hm<sup>3</sup> de agua subterránea, habitualmente por grandes usuarios, industrias y urbanizaciones con extensión considerable de zonas verdes, que la mayoría de las veces tienen suministro alternativo a través del sistema general que gestiona el CYII. Esto es entendible, porque resulta más económica esa extracción que comprar el agua al CYII, cuyo servicio de suministro incluye en la tarifa los costes de saneamiento y depuración. Ello, aparte del menor coste de la extracción de aguas subterráneas que el suministro a través de las redes del CYII.

En consecuencia, se produce un volumen adicional de vertido por los aliviaderos de los embalses, en épocas de abundancia o normalidad hidrológica, debido a que la demanda de agua subterránea, no sólo está incentivada por ese menor coste económico, si no que se incentivó por la CAM durante la última sequía para regar jardines, lo que provocó una fiebre de construir pozos, haciendo que se construyeran, al amparo del art. 52.2 de la Ley de Aguas, al menos unos 2.000.

También se quiere resaltar que, analizando la explotación simulada, se observa que durante ésta se pasa por situaciones en que los embalses están casi vacíos, aunque no falla la satisfacción de las demandas.

## CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

No existen comunidades de usuarios de agua subterránea en el acuífero de Madrid, y no existe, hasta el momento, movimiento alguno para constituir las.

Están comprometidos unos 34 hm<sup>3</sup> mediante títulos legales, más los derechos *ex lege* al amparo del art. 52.2 de la Ley de Aguas.

Se ha estimado que se están extrayendo unos 55 hm<sup>3</sup>/año de agua subterránea, además de lo que en períodos de sequía extrae el CYII (33 hm<sup>3</sup> en 1992 y 48 hm<sup>3</sup> en 1993).

Por diversas causas, no existe hasta el momento un control exhaustivo de las extracciones, por lo que todos los datos sobre volúmenes extraídos están basados en estimaciones, apoyadas en extrapolaciones, en base a muestras más o menos bien seleccionadas, y contrastadas con modelos de flujo del agua subterránea.

Factores como una mayor racionalidad en el uso del agua, fomentada por las campañas de concienciación realizadas con motivo de la sequía, y el menor coste para el usuario privado que tiene doble fuente de suministro, a través del CYII y de pozos, promueven extraer agua subterránea.

Una posible explicación de que el agua subterránea resulte más económica, como ya se ha apuntado, está en que dicha economía se hace a costa de trasladar ciertas externalidades a los restantes usuarios del sistema. Por ejemplo, el usuario con pozo propio vierte a la red de saneamiento sus retornos, junto con los de los usuarios servidos desde los sistemas generales, que pagan en su tarifa el saneamiento y la depuración de esos vertidos. También, en caso de escasez, el coste sería para él menor, ya que paga su déficit más barato que los restantes usuarios, al tomar solamente la cantidad que le falta, mientras los que sólo disponen de agua a través de sistemas generales deben pagar una tarifa que crece con el consumo.

Si se comprobara lo anterior, y resultara ser esta causa la de más peso entre las que justifican el descenso de consumo, se estaría ante el riesgo de una sobreexplotación del acuífero, que podría estar enmascarada por la situación hidrológica más favorable del momento actual.

Como comentario al respecto, es preciso resaltar lo poco que habría costado incentivar el uso del agua superficial, para esos usuarios, que disponen de doble fuente de suministro, si se tiene en cuenta que los embalses del abastecimiento de Madrid han vertido 507,7 hm<sup>3</sup> en 1996/97, 375,68 hm<sup>3</sup> en 1995/96, y en lo que va de año hidrológico hasta marzo iban vertidos 414,1 hm<sup>3</sup>, de un total de aportación hasta ese mismo mes de 768,21 hm<sup>3</sup>.

Si los usuarios de aguas subterráneas hubieran hecho un mayor uso del agua superficial, se habría reducido el riesgo de vertidos, o se habrían aminorado sus efectos, al encontrarse los embalses superficiales más vacíos en el momento de comenzar los períodos de grandes precipitaciones.

Puede observarse cómo podemos encontrarnos ante un caso en que la seguridad de un sistema ante una sequía se relaciona directamente con el riesgo ante inundaciones. La mayor explotación de las aguas superficiales en períodos de abundancia, dejando descansar los acuíferos, redundaría en una mayor seguridad en períodos de sequía y, al mismo tiempo, en períodos de inundaciones.

La prevención del riesgo podría conseguirse mediante medidas legislativas,

medidas administrativas y de gestión, y mediante la disponibilidad de nuevas infraestructuras de regulación. La idoneidad de unas y otras depende de cómo crezca la demanda y del nivel de demanda. Todas las soluciones tienen costes importantes.

El comportamiento y recuperación del acuífero es, en general, bastante bueno. Pero en las zonas donde, una vez superada la sequía, se sigue extrayendo agua, no sólo no se recupera, sino que incluso sigue descendiendo (zonas de Pozuelo y Móstoles) el nivel piezométrico, lo que podría implicar riesgo de sobreexplotación.

El Plan Hidrológico del Tajo crea un perímetro, en el cual se reserva el agua libre, en el marco de la ley y de los derechos de propiedad para usos urbanos, y se propone un mayor control y seguimiento de las extracciones, se protegen las aguas libres de los estratos por debajo de los 200 metros de profundidad mediante la figura de la reserva, para asignar a los sistemas generales de abastecimiento cuando los usuarios tienen recursos alternativos.

Se estima que, mediante la figura de la Comunidad de Usuarios y un régimen económico apropiado, debería incentivarse que:

1. Los particulares recibieran agua del sistema general en épocas de abundancia, siempre que los embalses se encontraran por encima de un cierto nivel a precisar, y al precio que para ellos tiene el agua subterránea, por supuesto incluyendo el coste de saneamiento y depuración, cuando proceda.
2. Por debajo de esos niveles pudieran extraer agua, e incluso introducirla en la red, en las condiciones que previamente se acordaran y mediante las modificaciones que procedieran de sus infraestructuras.

Para llegar a una forma más racional de utilización, el Plan ha creado, como decíamos, un perímetro dentro del cual se reservan todas las aguas libres por debajo de los 200 metros de profundidad para usos urbanos, y se introducen unas normas para su mejor conocimiento, administración y gestión.

#### **COMENTARIO FINAL**

La existencia de agua embalsada es un índice de seguridad, pero no es suficiente para poder afirmar que un sistema es robusto. La robustez podría definirse como la capacidad de un sistema para superar las sequías más extremas. Existen muchos ejemplos al respecto: el caso del abastecimiento de Madrid durante la década de los 60, en que debido al gran crecimiento de la demanda se produjo un déficit de agua regulada garantizada, y dio lugar a que, incluso en un período de precipitaciones abundantes, el efecto de una pequeña sequía meteoro-lógica provocara una importante sequía hidrológica, que obligó a imponer restricciones de agua en Madrid.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. (1997). Plan Hidrológico del Tajo.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. (1993). Directrices del Plan Hidrológico del Tajo.
- OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. (1994). Informe sobre las posibilidades de satisfacer la demanda hídrica en el abastecimiento de Madrid dentro del Macrosistema del Tajo, en la actualidad, a corto, a medio y a largo plazo.
- FLORES MONTOYA, F.J. (1997). El uso conjunto aguas superficiales-subterráneas en el abastecimiento de Madrid: presente y futuro. Jornadas sobre aprovechamiento conjunto. Valencia, junio 1997.
- SERVICIO GEOLÓGICO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS. MOPT-MA. (1996). Evaluación de usos de agua subterránea y realización de un modelo de flujo del acuífero detrítico de Madrid.
- CYII. YACU.S.L. (1997). Desarrollo de un modelo de flujo del acuífero detrítico explotado por el Canal de Isabel II.
- ANDREU, J. U.P.V. Aquatool. Sistema soporte de decisión para la planificación de recursos hídricos. Manual de usuario.
- ANDREU. J. U.P.V. Modelo OPTIGES de optimización de la gestión de esquemas de recursos hídricos. Manual de usuario.
- LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO, B. (1974). Análisis económico de las posibilidades de las aguas subterráneas en las proximidades de Madrid. ROP. Pp. 705-717.
- LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO, B. Aspectos económicos del aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas en la provincia de Madrid.
- LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO, B., VALERA SÁNCHEZ, M. (1988). Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en la provincia de Madrid. BIE. MOPU nº 48.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, A. (1986). Criterios para la evaluación del agua en Madrid. Jornadas sobre la explotación de aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, A., VARELA SÁNCHEZ, M. El acuífero detrítico de Madrid y la conducción del río Alberche, elementos análogos para el sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II.
- HERNÁNDEZ GARCÍA, M<sup>a</sup>., LLAMAS MADURGA, M.R. (1995). Contribución al conocimiento de las sequías en Madrid. Ingeniería del Agua. Vol. 2.
- MARTÍN GONZÁLEZ, F. (1995). El uso de las aguas subterráneas por el Canal de Isabel II, en