

USO CONJUNTO Y RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS. SU APLICACIÓN A ANDALUCÍA Y EN PARTICULAR A LA PROVINCIA DE JAÉN

J.M. Murillo Díaz

Jefe de Servicio de Técnicas hidrogeológicas. Instituto Geológico y Minero de España.

RESUMEN

Se hace un recorrido por los conceptos más usuales de uso conjunto, recarga artificial, tipología del uso conjunto, posibilidades de uso conjunto y recarga artificial en Andalucía con una mayor extensión para la Provincia de Jaén.

Palabras clave: *uso conjunto, recarga artificial.*

USO CONJUNTO

Concepto y definiciones

Una reciente publicación (Llamas *et al.*, 2001), realizada por la Fundación Marcelino Botín, establece que la utilización conjunta consiste en aprovechar las características diferentes y complementarias de las aguas superficiales y subterráneas mediante una gestión hídrica que considere ambas componentes, ya que su empleo conjunto puede proporcionar una mayor disponibilidad de agua, así como ventajas funcionales y económicas.

Junto a esta definición se han seleccionado, dentro de la presente ponencia, como representativas de la literatura técnica que trata los aspectos ligados a la gestión y planificación conjunta de los recursos hídricos, otras tres.

La primera de ellas (Morel-Seytoux, 1985) concibe el uso conjunto como un esquema de gestión hídrica que aprovecha la complementariedad existente entre aguas superficiales y subterráneas para conseguir, mediante la operación de ambas componentes, un beneficio mayor que el obtenido cuando se actúa por separado.

La segunda (Sahuquillo, 1985) designa como uso conjunto o utilización conjunta la inclusión de las aguas subterráneas en un sistema de recursos hidráulicos para conseguir mejores resultados al poder aprovechar las diferentes características de las aguas superficiales y de los acuíferos.

La tercera, que es la propuesta en el borrador del Libro Blanco del Agua (MIMAN, 2000a), considera como utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos el uso planeado y coordinado de ambas fuentes para la mejor satisfacción de la demanda. Esta misma definición se puede encontrar en el documento (Sánchez-González y Murillo, 1997) donde se establece y resume el programa estatal de estudios y actuaciones de utilización coordinada de recursos superficiales y subterráneos que, con el obje-

tivo de implantar la utilización conjunta en las cuencas intercomunitarias, contempla y propone la realización de tres etapas secuenciales:

1. Realización de los estudios y análisis de sistemas de recursos que permitan definir los elementos básicos de la gestión conjunta en cada zona: infraestructura a crear y reglas de operación de las mismas.
2. Redacción de los proyectos de las infraestructuras y realización de un análisis económico-financiero así como de la adaptación de los derechos existentes y del aprovechamiento del agua al régimen de utilización conjunta, contemplando las modificaciones que sea necesario realizar en la organización de los usuarios.
3. Implantación real de los esquemas en las zonas seleccionadas.

A juicio del autor de la presente ponencia se puede concretar que el uso conjunto es una filosofía de gestión hídrica, cuya implantación práctica precisa, como paso previo a su establecimiento físico, de un detallado análisis del sistema de recursos hídricos que, en la mayor parte de los casos, se deberá afrontar mediante modelización matemática, ya que es necesario manejar complicadas hipótesis de gestión, que incluyen tanto la utilización de recursos superficiales como subterráneos e incluso no convencionales, hasta seleccionar la mejor opción posible entre un gran número de posibilidades.

Se trata por lo tanto de un problema de optimización de la gestión del recurso hídrico, que normalmente solo contempla aspectos de cantidad ligados a consideraciones de carácter económico y a la faceta legal que lo hace viable. Este supuesto no implica que, en determinados casos, se consideren hipótesis de gestión fundamentadas en la mejora de la calidad del recurso hídrico o en la conservación del medioambiente.

No obstante es preciso indicar que los aspectos cualitativos del uso conjunto se encuentran todavía insuficientemente desarrollados (Custodio, 2000).

El análisis de sistemas

El uso conjunto, concebido como un problema matemático de optimización, se afronta mediante el denominado análisis de sistemas que es un estudio analítico que ayuda al encargado de tomar decisiones a identificar y seleccionar una alternativa entre un gran número de ellas (Andreu, 1993).

El análisis de sistemas no es una técnica cuyo empleo sea exclusivo de la gestión hídrica, sino más bien una herramienta operativa en cualquier campo o problema que precise de un dictamen.

Cuando el sistema que se analiza es sencillo, esta metodología se puede aplicar mediante un simple análisis conceptual, puesto que se maneja un volumen pequeño de datos. Ahora bien, cuando el sistema es complejo y el número de variables y parámetros elevado, surge la necesidad de considerar el empleo de métodos matemáticos, puesto que un ordenador posee una gran velocidad de cálculo que permite tratar una cantidad ingente de información en un corto espacio de tiempo. En este sentido se puede confirmar la creciente utilización de los modelos matemáticos en el tratamiento de los problemas que afectan a la gestión e investigación de los recursos hídricos (Andreu *et al.*, 1993).

De hecho, el empleo del análisis de sistemas es de uso común en la evaluación de cualquier esquema de gestión de recursos superficiales. Concretamente, el documento titulado "Análisis de los Sistemas Hidráulicos" (MIMAN, 2000b), que recoge el análisis de los sistemas hídricos contemplados en la actual planificación hidrológica, no es ajeno al mismo.

Aunque los modelos matemáticos que se han utilizado en dicho documento son técnicamente correctos, es necesario hacer hincapié en que no contemplan la alternativa de almacenamiento que representa los acuíferos, o cuando lo hacen es de forma marginal y simplificada, lo mismo se puede apuntar para las aguas residuales, las medidas de ahorro en el riego o la aplicación de técnicas de desalación.

Esta forma de proceder, cargando todo el peso de la satisfacción de la demanda sobre una única fase del ciclo hídrico, obliga a sobredimensionar los elementos que conforman, en este caso, el sistema de regulación superficial, dando lugar a una aparente escasez de recursos hídricos y a un sistema más sensible ante cualquier incidencia.

Evidentemente, hasta hace muy poco tiempo, los modelos de gestión hídrica, que pretendían incluir a los acuíferos, se encontraban limitados por su enorme complejidad que viene derivada de la no linealidad que afecta al problema matemático. Este hecho provoca que la operatividad del uso conjunto, en el ámbito de la planificación hidrológica, este condicionada por la necesidad de incorporar una herramienta informática capaz de analizar y simular conjuntamente el complejo comportamiento de acuíferos e infraestructura hidráulica tanto de tipo superficial como de índole no convencional.

Este escenario ha cambiado en los últimos años gracias a los importantes avances acaecidos en la modelización matemática del uso conjunto, principalmente, a partir de un soporte informático desarrollado íntegramente en España (Sahuquillo, 1993; Sahuquillo, 1996), por lo que no existe ninguna razón de índole técnico que impida aplicar y elaborar, para cada una de las cuencas hidrográficas del estado español, un modelo de simulación que contemple las aguas superficiales, las subterráneas y los recursos no convencionales. Así como simular diferentes hipótesis de gestión que determinen la forma y cuantía en la cual interviene cada tipo de recurso hídrico. La Confederación Hidrográfica del Segura, dada la singular problemática que afecta a esta cuenca, emplea este tipo de análisis desde hace ya algunos años (Andreu *et al.*, 1994)

El modelo Simges de simulación de la gestión hídrica

Existen en el mercado diversos modelos matemáticos de simulación de la gestión hídrica (Navarro y Murillo, 1998) aunque el que mejor trata el comportamiento de los acuíferos es el paquete AQUATOOL, formado por los módulos OPTIGES, SIMGES y AQUIVAL (Andreu *et al.*, 1992; Andreu y Capilla, 1993), que permiten realizar la optimización y simulación global de un sistema de recursos hídricos siempre que el comportamiento de los acuíferos no se caracterice mediante modelos complejos, aunque el módulo AQUIVAL permite la incorporación de métodos (Sahuquillo, 1983a) que pueden aplicarse, con una cierta garantía, cuando se precisa de una modelización de mayor detalle.

La aplicabilidad del modelo SIMGES abarca a todo tipo de cuencas o sistemas de recursos hídricos pudiendo contemplar la práctica totalidad de los elementos que intervienen en el sistema de gestión de los recursos hídricos (Andreu *et al.*, 1992). Como componentes esenciales del mismo se citan y describen los siguientes:

- Aportaciones: corresponden a las entradas de agua al sistema provenientes de otras partes de la cuenca no incluidas en el esquema de gestión. Este elemento caracteriza el origen del agua .
- Demandas: Afectan el destino del agua e identifican las zonas del sistema donde es utilizada, así como su cuantía. Quedan incluidas bajo la denominación de demandas consuntivas y no consuntivas. Las primeras suponen un consumo real de agua, mientras que las segundas utilizan el agua y la reintegran al sistema durante el mismo periodo de tiempo.

- Retornos: conciernen a los reintegros del agua procedentes de la fracción de la demanda que no es consumida.
- Embalses y acuíferos: constituyen los elementos del sistema de recursos hídricos con capacidad de almacenamiento de agua.
- Conducciones: representan los elementos del sistema por los cuales circula el agua. Físicamente responden a canales, acequias, tramos de río, transvases entre cuencas, tuberías, etc.
- Recursos no convencionales: hacen referencia a la desalinización y a la incorporación de las aguas residuales tratadas.

En relación con este último componente del sistema de recursos hídricos cabe mencionar que, aunque los recursos no convencionales suponen una importante alternativa o al menos un complemento para la satisfacción de las necesidades de agua de una región (Rebollo, 1999), no existe consenso sobre la forma y cuantía de integrar los mismos en la planificación o en la gestión conjunta de los recursos hídricos. Así, algunos autores (Custodio, 2000) los contemplan como actividades temporales complementarias de la utilización conjunta, mientras que otros (Pascual-Díaz, 1996) propugnan impulsar la gestión coordinada de todos los recursos de agua disponibles y de los que se puedan importar en un futuro.

Hacia esta última propuesta debería quizás encaminarse la nueva gestión del agua, dada la tendencia decreciente que afecta al precio de los recursos hídricos no convencionales. En este sentido ya se apuntaba hace algunos años (Cabezas, 1993) que la tecnología de la desalación contribuiría en breve plazo al suministro de caudales destinados al regadío. Asimismo la reutilización planificada de agua residual, en su variante denominada de uso directo, es una realidad constatada en las islas Baleares, donde se reutiliza el 20% del agua residual depurada (Mateos *et al.*, 2001), así como en el esquema de uso conjunto de la Marina Baja de Alicante donde se reutiliza el 75% de agua suministrada en la demanda urbana de Benidorm (Castaño *et al.*, 2000). En la cuenca del Júcar, donde la reutilización podría solucionar las demandas de riego en el sur de la Plana de Castellón, así como en otras zonas de la cuenca, se sugiere (Sahuquillo, 2001) la necesidad de elaborar modelos de simulación que incluyan las aguas superficiales, las subterráneas y las residuales tratadas.

RECARGA ARTIFICIAL

Concepto y definición

La recarga artificial es una herramienta de la gestión hídrica planificada en la que aguas superficiales ocasionales, sobrantes o especialmente destinadas se almacenan en los acuíferos para incrementar los recursos hídricos y para mantener o constituir una reserva disponible para situaciones de escasez estacional o para sequías (Custodio, 2000).

La recarga artificial es, pues, un elemento del sistema de recursos hídricos al igual que lo son los embalses, los acuíferos, los canales, las acequias, los transvases, la reutilización, la desalación, las demandas o las aportaciones. Evidentemente, su uso no tiene carácter universal, por lo que solo interviene en aquellos sistemas de aprovechamiento de los recursos hídricos en que se precisa de su aplicación. Este hecho no es ajeno a otros elementos del sistema de recursos hídricos como pueden ser los transvases, la reutilización, la desalación o incluso, aunque aparentemente no lo parezca, los embalses superficiales. En relación a este último supuesto cabe citar el caso de algunas islas oceánicas y pequeños países árabes donde el sistema de recursos hídricos está constituido esencialmente por acuíferos y recursos no convencionales.

La recarga artificial de acuíferos constituye una tipología del uso conjunto en la práctica totalidad de sus aplicaciones puesto que maneja recursos superficiales que almacena en un medio subterráneo a la espera de ser puestos a disposición del usuario en el momento en que este lo requiera. No obstante existen actuaciones puntuales que no se pueden englobar dentro de este objetivo. A este respecto cabe mencionar la acción de detener la subsidencia del terreno u otras relacionadas estrictamente con el tratamiento y depuración de las aguas residuales en las que se contempla un aprovechamiento posterior de las mismas.

Condicionantes y estructura de un proyecto de recarga artificial

Está admitido que la recarga artificial es una operación técnicamente compleja. Especialmente, como señalan algunos autores (Murillo *et al.*, 2000), si se compara con la sencillez tecnológica que ha presidido hasta la fecha la planificación de obras y actuaciones en hidrogeología.

Opiniones en este mismo sentido, que contemplan la dificultad de aplicación de esta tecnología, también han sido emitidas por otros autores (Custodio, 2000; Sahuquillo, 2000; Llamas *et al.*, 2001). Así, el primero apunta que la recarga artificial es una herramienta de gestión que es útil en circunstancias adecuadas, pero no universalmente, y no tiene por qué estar vinculada al uso conjunto. El segundo incide sobre estos mismos aspectos puntualizando que la recarga artificial no es siempre la herramienta más adecuada. El tercero establece que la recarga artificial es una herramienta cuyo ámbito de aplicación con criterios racionales es limitado debido a implicaciones de tipo económico, ambiental y, principalmente, institucional y legal.

Las apreciaciones formuladas anteriormente, aunque aparentemente dan una imagen negativa y algo pesimista sobre las posibilidades de aplicación de la tecnología de la recarga artificial de acuíferos, solo pretende transmitir una actitud de prudencia ante la necesidad de programar y realizar estudios antes de plantear o emprender la construcción de una obra de recarga artificial.

Aunque cada proyecto de recarga artificial de acuíferos presenta unas peculiaridades específicas, es posible proponer (Sahún y Murillo, 2000) unos criterios comunes, para abordar el estudio de una determinada propuesta, mediante un esquema de trabajo que contempla dos fases:

Primera fase: análisis de viabilidad técnica.

El objetivo de esta fase es disponer de los conocimientos necesarios sobre el estado de aprovechamiento de los recursos hídricos y sobre las circunstancias hidrogeológicas condicionantes del diseño de las instalaciones.

Comprende el estudio de:

- Estudio de los excedentes disponibles para la recarga, en el que se determina el origen del agua de recarga, su régimen temporal, en cuanto a caudales y volúmenes, y su calidad físico-química y bacteriológica.
- Estudio hidrogeológico de detalle del acuífero a recargar, cuyo objetivo es evaluar la aptitud y respuesta del acuífero frente a la recarga.
- Análisis de las alternativas de la operación de recarga, selección de las zonas más favorables y evaluación del efecto de la operación de recarga.
- Definición de las infraestructuras requeridas.

Segunda fase: viabilidad económica y análisis de condicionantes legales y administrativos.

Examina tanto los aspectos estrictamente económicos como los aspectos legales administrativos que la operación de recarga pudiera suscitar.

TIPOLOGÍA DEL USO CONJUNTO

Las aguas subterráneas en el uso conjunto se aprovechan en los momentos y lugares donde la planificación hídrica lo aconseja (López-Geta y Murillo, 1999). Para lograr este objetivo es preciso actuar sobre los distintos elementos que conforman el sistema de recursos hídricos, por lo que el uso conjunto se estructura según diversas modalidades (cuadro 1) que aprovechan las diferentes características que identifican a las aguas superficiales y subterráneas.

FINALIDAD	SISTEMA SOBRE EL QUE SE ACTUA O FORMA EN QUE SE HACE
Utilización del acuífero como fuente de suministro de agua	Sobreexplotación temporal del acuífero y uso de reservas Uso de la recarga artificial
Utilización del almacenamiento subterráneo	Utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas
	Utilización de los acuíferos como elementos de almacenamiento terminal
	Regulación de manantiales
Utilización del acuífero, suelo y zona no saturada como elemento de filtración y tratamiento	
Utilización del acuífero mediante la interrelación existente con las aguas superficiales o el mar	Sistema río-acuífero
	Acuíferos aislados
	Acuíferos costeros
Utilización del acuífero como elemento de transporte y distribución de agua	

Cuadro 1. Tipología del uso conjunto (Elaborado a partir de Sahuquillo, 1983b).

a) Sobreexplotación temporal del acuífero y uso de reservas

La sobreexplotación temporal de los acuíferos responde a un esquema obsoleto que no guarda congruencia con el principio de sostenibilidad. Se ha utilizado de forma planificada en Israel y Estados Unidos, así como en algunos países del tercer mundo, durante algunas etapas de la planificación hídrica. En España únicamente se ha aplicado de forma no planificada en algunas zonas localizadas preferentemente en el sur de la península (cuenca del Segura y provincias de Alicante y Almería), así como en los archipiélagos Balear y Canario.

La sobreexplotación temporal no debe confundirse con el uso esporádico de reservas. En el primer supuesto los sobrebombes producen un déficit acumulado que conduce a una situación donde a partir de un determinado momento no se puede asegurar la continuidad temporal de los aprovechamientos. En el segundo, en cambio, siempre se presenta un ligero superavit en el balance hídrico

al final de un ciclo hiperanual. Esta forma de proceder, que guarda relación directa con un uso sostenible del acuífero, permite explotar importantes cantidades de agua en años secos y reservar excedentes hídricos en años húmedos.

b) Recarga artificial de acuíferos

Ya se ha comentado anteriormente que operacionalmente la recarga artificial de acuíferos es una técnica que presenta una cierta complejidad de ejecución. La programación de intervenciones fundamentadas en esta tecnología suele limitarse, salvo excepciones, a zonas con una explotación agrícola bien desarrollada y alto rendimiento; a comarcas donde el coste del agua es muy elevado; y a sectores costeros donde no es posible la construcción de obras clásicas de regulación por condicionantes topográficos.

c) Utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas

La denominada utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas es el esquema de gestión conjunta más utilizado. Se fundamenta en un uso mayoritario de las aguas superficiales en los años húmedos y de las subterráneas en los secos. Al utilizar prioritariamente la aportación superficial durante las épocas húmedas se crea un vaciado en el vaso de los embalses que permite aprovechar las puntas de las avenidas. Estas, anteriormente, se perdían al encontrarse el embalse lleno, ya que se tenía que salvaguardar un agua para los períodos secos, que, con el nuevo esquema de utilización, se suministra a partir de bombeo en los acuíferos. Esta forma de proceder permite aprovechar una mayor cantidad de agua superficial, ya que el sistema de regulación puede ser menos precavido al encontrarse apoyado por la regulación subterránea. Los descensos provocados por los bombeos efectuados en los acuíferos, durante los períodos secos, se recuperan en los períodos húmedos, ya que en dicha época la explotación de los acuíferos es menor y su recarga mayor.

d) Utilización del acuífero con elemento de almacenamiento terminal

En este esquema de uso conjunto el acuífero actúa como un depósito donde se almacena y distribuye agua procedente generalmente de otra cuenca hidrográfica. Es posible operar también con agua superficial perteneciente a la misma cuenca receptora o con agua residual urbana tratada.

Esta operación de uso conjunto se diferencia de otras, en las que pueden intervenir o no operaciones de recarga artificial de acuíferos, en que no existen variaciones importantes en el nivel piezométrico del acuífero entre dos años consecutivos, ya que los volúmenes importados y almacenados en el acuífero son cada año del mismo orden de magnitud (Sahuquillo, 1983b).

Dentro de la Comunidad Autónoma Andaluza, este esquema de utilización conjunta, se debería de tener presente en cualquier actuación que se relacione con los futuros trasvases del Ebro o del Guadiana Menor.

e) Regulación de manantiales

El caudal drenado por un manantial se aprovecha normalmente por debajo de su valor medio debido a la variabilidad estacional de la aportación y a la concentración de las demandas, especialmente las relacionadas con el regadío, en épocas concretas del año.

Para incrementar el grado de aprovechamiento de algunos manantiales se han construido embalses que los regulan. Ahora bien, esto no es factible en todos los casos, ya que las zonas de descarga de muchos acuíferos coinciden con cotas bajas y valles abiertos donde no es posible la construcción de presas por razones económicas ligadas a la topografía y a la geología.

En estos casos, se plantea la posibilidad de construir sondeos en las inmediaciones de los manantiales que provoquen una afección inmediata. La regulación se realiza bombeando grandes caudales, generalmente en la época de demanda estival, que, en ocasiones, incluso llegan a secar la surgencia de agua subterránea. En los meses invernales, período en el que normalmente no se bombea, se produce la recuperación del almacenamiento vaciado en el acuífero.

- f) Utilización del acuífero mediante la interrelación existente con las aguas superficiales o el mar.

La explotación de un acuífero costero está condicionada por su relación con el mar. La recarga artificial de acuíferos constituye una técnica que posibilita gestionar este tipo de acuíferos con unas mayores oscilaciones piezométricas preservando al mismo tiempo la calidad del agua. La redistribución espacial de las captaciones existentes en el acuífero también permite obtener objetivos semejantes. No obstante, la aplicación práctica de estas metodologías exige inversiones muy importantes que pueden conllevar la no rentabilidad económica del proyecto.

Los acuíferos también están interrelacionados con ríos, lagos o embalses. La transferencia de agua existente entre estos elementos hídricos puede regularse, en ocasiones, mediante pozos de bombeo situados relativamente cerca de dichas masas de agua.

- g) Utilización del acuífero como elemento de transporte y distribución de agua

Los acuíferos, dada la gran distribución espacial que presenta su superficie, constituyen un importante elemento de transporte y distribución de agua. En la planificación conjunta esta posibilidad de utilización se contempla como una actuación de carácter marginal, ya que normalmente se da prioridad a los factores relacionados con la capacidad de almacenamiento (Sahuquillo, 1983b)

- h) Utilización del acuífero, suelo y zona no saturada como elemento de filtración y tratamiento.

La gestión de agua para abastecimiento urbano contempla, en numerosos países, una incorporación creciente de los acuíferos al sistema de recursos hídricos, especialmente, mediante la aplicación de la técnica de la recarga artificial de acuíferos. La operación de infiltración actúa como un sistema depurador de las aguas superficiales. El acuífero y la zona no saturada son los elementos que realmente tratan y modifican los distintos compuestos que contiene el agua de recarga.

Las experiencias más notorias realizadas en los países de nuestro entorno europeo se ha sintetizado en diversos trabajos (López-Geta y Murillo-Díaz, 1999; Sahún y Murillo, 2000). A continuación se muestra un resumen:

Finlandia: En la actualidad dispone de 28 plantas de recarga artificial, con capacidades de hasta 21.000 m³/d. El porcentaje que la recarga artificial supone sobre el total del agua destinada a abastecimientos urbanos se cifra en el 9%. La recarga inducida supone otro 9% (Hatva, 1996).

Suecia: Existen varios sistemas de abastecimiento situados en Ekerö, Eskilstuna, Gavie, Uppsala y Estocolmo que utilizan la recarga artificial como fuente de agua. Estos sistemas abastecen a poblaciones de entre 2.500 y 150.000 habitantes. Las plantas tienen capacidades de entre 1.000 y 55.000 m³/d (Hjort y Ericsson, 1996).

Alemania: En este país el agua subterránea aporta 3.100 hm³/a al abastecimiento urbano representando esta cantidad el 63,5% del total destinado a tal fin. De esos 3.100 hm³/a, aproximadamente 520 hm³/a se proporcionan mediante recarga artificial (Schöttler, 1996).

Dinamarca: En este país el 99% del agua suministrada para consumo humano es de origen subterráneo. En la actualidad, está operativa una planta industrial experimental, situada en la isla de Zealand, construida por la compañía de abastecimiento a Copenhague (Brandt, 1998)

Holanda: La ciudad de Amsterdam se abastece en un 65% con agua cuyo origen proviene de la recarga artificial. La instalación de recarga se sitúa en una zona de dunas situada en Zandvoort a unos 30 km al norte de la ciudad. El agua del río Rhin se transporta desde una distancia de unos 55 km (Jos, 1996)

En otros países europeos, como Austria y Hungría, se utiliza la tecnología de la recarga artificial de acuíferos para el abastecimiento a ciudades como Viena (30 hm³/a) o Budapest (180 hm³/a). Mediante la técnica de la recarga inducida, utilizando las aguas del río Danubio, se depuran las mismas a través del proceso de infiltración. Posteriormente son recuperadas por bombeo y puestas en la red de abastecimiento. (Dreher y Gunatilaka, 1998; László y Literathy, 1996).

CONTRIBUCIÓN DEL USO CONJUNTO Y DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS A LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS E INCREMENTO DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN HIDRAULICA DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA.

Aunque es preciso realizar estudios de detalle que cuantifiquen con una mayor precisión la contribución de la aplicación de estas técnicas al incremento de la explotación del agua subterránea en Andalucía, se estima que como mínimo esta puede ser cuantificada en 348 hm³/a según la distribución que se muestra en el Cuadro 2 que precisa una inversión en estudios que se recoge en el Cuadro 3.

Técnica empleada	Cuenca Hidrográfica		
	Guadiana	Guadalquivir	Sur
Recarga artificial	10	111	87
Uso conjunto (valores mínimos)	--	70	70
Parciales	10	181	157
TOTAL		384	

Cuadro 2. Estimación del volumen de agua que podría ser explotado mediante la aplicación de técnicas de uso conjunto y recarga artificial de acuíferos en la comunidad autónoma andaluza.

Técnica empleada	Cuenca Hidrográfica		
	Guadiana	Guadalquivir	Sur
Recarga artificial	35	298	273
Uso conjunto	--	269	420
Parciales	35	567	693
TOTAL		1295	

Cuadro 3. Inversión (M PTA.) en estudios que es preciso contemplar para realizar la propuesta de actuaciones de uso conjunto en la comunidad autónoma andaluza.

Actuaciones de uso conjunto que se contemplan en la Comunidad Autónoma Andaluza

Todas las actuaciones que se citan en los Cuadros 4 y 5 se contemplan en mayor o menor medida en los Planes Hidrológicos de Cuenca o en el Borrador del Plan Hidrológico Nacional.

Aunque de un esquema de recursos hídricos a otro pueden existir pequeñas diferencias debido a particularidades específicas los trabajos que se han de realizar comprenden las siguientes actuaciones básicas (Sánchez-González y Murillo, 1997):

- Recopilación, análisis y tratamiento de datos existentes sobre climatología e hidrología.
- Identificación-descripción de la infraestructura hidráulica existente y prevista, que incluye embalses, conducciones principales, capacidad de extracción de aguas subterráneas, plantas de tratamiento de aguas residuales, desaladoras, etc.
- Descripción de los elementos de la demanda al nivel de desagregación correspondiente al esquema topológico previamente diseñado. Se determinarán la cuantía de cada demanda, su distribución estacional, y los requerimientos de calidad, contrastando estos valores con la información disponible sobre la utilización real del agua.
- Construcción de modelos hidrológicos, como precipitación-escorrentía superficial, precipitación-infiltración, generación de series de aportaciones, modelos de flujo subterráneo, y relaciones aguas superficiales-subterráneas que simulen pérdidas en embalses o en tramos de río colgados sobre acuíferos. El número y tipo de modelos a emplear puede depender para cada caso de la cantidad y la calidad de los datos disponibles, así como del detalle de definición que se considera necesario.
- Modelización y análisis del sistema global de recursos, que es la actividad central del programa. Consiste en la simulación de flujos y reservas de agua almacenados a lo largo de una serie temporal suficientemente larga para extraer conclusiones sobre la idoneidad de las alternativas simuladas. Esto es en esencia lo que se hace en los estudios preparatorios de los planes hidrológicos a nivel de sistema de explotación, con el añadido de incorporar en el modelo la gestión de los acuíferos y sus repercusiones en los flujos de agua superficial.

DENOMINACIÓN DE LA PROPUESTA	EMBALSES A INTEGRAR Y CAPACIDAD (hm ³)	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS A INTEGRAR	DEMANDAS PRINCIPALES QUE ATENDERÁN
ALTO GUADIANA MENOR	San Clemente (120) La Bolera (53) El Portillo (proy..32)	Huéscar-Puebla Quesada-Castril Orce-María Cullar-Baza Dep. Baza-Caniles	Reg. Castril-Guardal Reg. Guadalentín Otros riesgos locales
BAZA	Gor (proy.20)	Sierra de Baza	Reg. de Gor-Gorafe
COMARCA DE JAÉN	Quiebrajano (32)	Grajales-Pandera Montes Orientales Sierra Mágina Almadén-Carluca Jaén	Abastec. Comarca Jaén Regadíos Guadalbullón
ALTO GENIL	Colomera (42) Cubillas (21) Quentar (14) Canales (71) Bermejales (103) Velillos (proy. 69)	Sierra Colomera Montes Universales Sierra Arana La Peza Depresión de Granada Tejeda-Almijara-Guajares	Abastec. Granada Reg. Vega Granada Reg. Canal Albolote Reg. del Cacín
CABRA-GAENA	Iznájar (981) Valdomojón (proy.150)	Sierra Cabra-Caena Rute-Horconera	Abastec. Consorcio sur de Córdoba Regadíos Locales
MANCOMUNIDAD VÍBORAS	Víboras (19)	Mentidero-Montesinos Gracia-Morenita Ventisqueros-Cornicabra Ahillo-Caracolera	Abastec. Mancomunidad del Víboras Regadío del Víboras
RÍO BARBATE	Celemín (43) Almodóvar (5) Barbate (231)	Vejer-Barbate Aluvial Janda -Barbate	Abastec. Poblaciones Riegos de la cuenca

Cuadro 4. Propuestas de uso conjunto en la Cuenca del Guadalquivir.
(Elaborado a partir de Sánchez-González y Murillo, 1997)

DENOMINACIÓN DE LA PROPUESTA	EMBALSES INTEGRADOS Y CAPACIDAD (hm ³)	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS INTEGRADAS	DEMANDAS PRINCIPALES QUE ATENDERÁN
GUADIARO-COSTA DEL SOL OCCIDENTAL	Concepción (51) Hozgarganta (p. 140) Genal Bajo (pr. 200) Guadalmedina (pr. 40) Istán (pr. 10) Ojén (pr. 7.4) Alaminos (pr. 15.5)	Sierra Líbar Blanquilla-Merinos-Borbolla Junquera-Nieves Marbella-Estepona Jarastepar Sierra Blanca-Mijas Fuengirola	Abastec. Costa del Sol Riegos Guadiaro Riegos Coín, Alhaurín Riegos costeros
GUADALHORCE-GUADALMEDINA	Guadalhorce-Guadalteba (312) Conde Guadalhorce (83) La Encantada (7.4) Casasola (40) El Limonero (25) Cerro Blanco (pr. 45) Turón (pr. 10) Alto Guadalhorce (pr. 20)	Blanquilla-Merinos-Borbolla Yunquera-Nieves Sierra Blanca-Mijas Bajo Guadalhorce Llanos Antequera Las Cabras-Camarolas-S.Jorge Torcal Antequera	Abastec. Málaga Riegos Alto Guadalhorce Riegos Bajo Guadalhorce
VELEZ Y COSTA ORIENTAL DE MÁLAGA	La Viñuela (170)	Tejeda-Almijara Alberquillas Sierra Gorda Vélez-Málaga	Abastec. Costa Oriental Riegos del Vélez Riegos Zafarraya Riegos Algarrobo Torrox Nerja.
RÍO VERDE DE ALMUÑECAR	Otívar (pr. 12.5)	Tejeda-Almijara Río Verde	Abastec. Almuñecar Riegos río Verde Riegos de Nerja Frigiliana
GUADALFEO	Béznar (57) Rules (118) Trevez (pr.)	Depresión Padul Sierra Padul Tejeda-Almijara-Guajares Lújar-Motril-Salobreña	Abastec. Motril-Salobreña Riegos Lecrín Riegos Motril-Salobreña Riegos Alpujarras
ADRA-CAMPO DE DALÍAS	Benímar (68)	Sierra Gádor Delta del Adra Campo de Dalías	Abastec. Almería Riegos Lecrín Riegos Motril-Salobreña Riegos Alpujarras
ANDARAX-ALMERIA	Canjáyar (pr.) Nacimiento (pr.)	C.del R. Nacimiento Andarax –Almería Sierra de Gádor	Riegos Alto y Medio Andarax Riegos Baja Andarax Riegos del Nacimiento

Cuadro 5. Propuestas de uso conjunto en la Cuenca del Sur
(Elaborado a partir de Sánchez-González y Murillo, 1997).

La valoración estimada sobre el coste de ejecución de los estudios planteados sobre uso conjunto se refleja en el Cuadro 6, así como una programación tentativa sobre el plazo de tiempo requerido para su realización.

CUENCA	DENOMINACIÓN DEL ESQUEMA	PRESUPUESTO (K Euros)	DURACIÓN DEL ESTUDIO (meses)
GUADALQUIVIR	Alto Guadiana Menor	366	16
	Baza	126	10
	Comarca de Jaén	264	10
	Alto Genil	390	18
	Cabra-Gaena	144	12
	Mancomunidad de Víboras	174	10
	Barbate	150	10
SUR	Guadiaro-Costa del Sol Occidental	252	12
	Guadalhorce-Guadalmedina	534	18
	Vélez y Costa Oriental de Málaga	456	16
	Verde (Almuñecar)	252	10
	Guadalfeo	282	12
	Andarax-Almería	234	12
	Adra-Campo de Dalías	510	18

Cuadro 6. Evaluación económica del programa de estudios sobre uso conjunto en la comunidad autónoma andaluza (Elaborado a partir de Sánchez-González y Murillo, 1997).

Actuaciones de recarga artificial que se contemplan en la Comunidad Autónoma Andaluza

Todas las actuaciones que se citan en los Cuadros 7, 8 y 9 se contemplan en mayor o menor medida en los Planes Hidrológicos de Cuenca o en el Borrador del Plan Hidrológico Nacional.

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS ESTUDIOS (K Euros)	DENOMINACIÓN UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ACUÍFERO POTENCIALMENTE RECARGABLE	DEMANDA O PROBLEMÁTICA EXISTENTE	PROCEDENCIA DEL AGUA DE RECARGA
210	AYAMONTE-HUELVA	Sector occidental Lepe-La Antilla-Redondela	Problemas de sobreexplotación, salinización y contaminación agrícola	Excedentes río Piedras y Guadiana. Fundamentalmente sistema Chanza y Piedra

Cuadro 7. Propuesta de actuaciones de recarga artificial en la Cuenca del Guadiana (Elaborado a partir de Sahún y Murillo, 2000).

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS ESTUDIOS (K Euros)	DENOMINACIÓN UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ACUÍFERO POTENCIALMENTE RECARGABLE	DEMANDA O PROBLEMÁTICA EXISTENTE	PROCEDENCIA DEL AGUA DE RECARGA
150	BEDMAR-JÓDAR	Calizas y dolomías cretácicas y calizas miocenas	Fuerte explotación para abastecimiento de Bedmar y Jódar, así como para el regadío existente en sus términos municipales	Manantiales del Sistillo y Albánchez de Ubeda
210	MANCHA REAL-PEGALAJAR	Sector Mancha Real	Problemas locales de sobreexplotación (Mojón Blanco y Pegalajar)	Cabecera del río Torres y manantiales de los Charcones, Fuenmayor y Navaparis
294	DEPRESIÓN DE GRANADA	Detrítico	Regadíos y abastecimiento de la Vega de Ganada	Excedentes invernales de los ríos Monachil, Dilar y Genil
240	ALUVIAR DEL GUADALQUIVIR	Aluvial y terrazas	Alta demanda asociada a los regadíos del valle	Canal del Bajo Guadalquivir
228	SEVILLA-CARMONA	Calcarenitas	Sobreexplotación	Canales del Guadalquivir
168	NIEBLAS-POSADAS	Mioceno	La demanda para abastecimiento y agricultura es alta. Existen problemas de sobreexplotación	Afluentes margen derecha Guadalquivir. Ribera Huelva-Cala, Valsequillo, Siete Arroyos, Viar, Ribera de Huezna, Retortillo y Bembézar
150	ARCOS-BORNOS-ESPERA	Calcarenitas	Sobreexplotación	Embalse de Bornos
192	ALUVIAL DEL GUADALETE	Acuífero de los Sotillos	Sobreexplotación. Fuerte demanda para regadío	Arroyo de la Molinera
156	VEJER-BARBATE	Vejer-Barbate	Sobreexplotación local. La demanda tanto para abastecimiento como para regadío es alta	Excedentes de los embalses de Barbate, Almodovar y Celemín, Río Barbate

Cuadro 8. Propuesta de actuaciones de recarga artificial en la cuenca del Guadalquivir (Elaborado a partir de Sahún y Murillo, 2000)

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS ESTUDIOS (K Euros)	DENOMINACIÓN UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ACUÍFERO POTENCIALMENTE RECARGABLE	DEMANDA O PROBLEMÁTICA EXISTENTE	PROCEDENCIA DEL AGUA DE RECARGA
300	BALLABONA-SIERRA LISBONA Y BAJO ALMANZORA	Detrítico de Ballabona y carbonatado de Sierra Lisbona y cuaternario del bajo Almanzora	Sobreexplotación e intrusión marina locales	Trasvase del Negratín-Almanzora, excedentes río Almanzora y ramblas
234	ANDARAX-ALMERIA	Acuífero del Bajo Andarax	Sobreexplotación	Río Nacimiento, aguas residuales y escorrentía esporádica e la Sierra de Gador
204	CARCHUNA-CASTELL DE FERRO	Aluvial de Castell de Ferro	Regadíos de Castell de Ferro de elevada rentabilidad. Intrusión marina	EDAR de Motril-Castell de Ferro (previsto tratamiento terciario)
192	RÍO VERDE	Aluvial del río Verde	Regadíos tropicales de la cuenca del río Verde	EDAR de Almuñecar (previsto tratamiento terciario). Excedente del embalse de Otivar
194	VÉLEZ	Acuíferos aluviales y zona costera	Importante demanda agrícola. Problemas locales de sobreexplotación y salinización	Excedentes del embalse de Vélez y EDAR de la Axarquía
240	FUENGIROLA Y MARBELLA-ESTEPOÑA	Costeros de Fuengirola y Marbella-Estepona	Sobreexplotación. Intrusión marina. Importante demanda agrícola y recreativa (campos de golf)	Excedentes no utilizados de la EDAR de la mancomunidad de la Costa de Sol Occidental (ACOSOL)
270	ACUÍFEROS AISLADOS . Costa Oriental de Málaga	Sector costero de las cuencas vertientes al mar entre la desembocadura del río Vélez y el río la Miel. Acuíferos detríticos de la zona oriental de Málaga	Importante demanda agrícola. Problemas locales de sobreexplotación y salinización	Excedentes no regulados de los ríos Algarrobo, Torrox, Chillar, Maro y de la Miel. Excedentes de la reutilización de agua residual depurada.

Cuadro 9. Propuesta de actuaciones de recarga artificial en la Cuenca Sur.
(Elaborado a partir de Sahún y Murillo, 2000)

ACTUACIONES DE USO CONJUNTO Y RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS QUE PODRÍAN CONTEMPLARSE EN LA PROVINCIA DE JAÉN.

Se han identificado dos tipos de actuaciones que se han calificado con la denominación de directas e indirectas.

Por actuaciones directas se designa aquellas que se circunscriben al ámbito geográfico de la provincia de Jaén, mientras que las actuaciones indirectas serían aquellas que se localizarían fuera de su territorio, pero que generarían unos beneficios que podrían repercutir en parte sobre su demarcación provincial.

Actuaciones directas

Cabe contemplar cuatro actuaciones de uso conjunto y dos de recarga artificial, aunque es posible concretar alguna otra (Gracia-Morenita y Alcalá la Real-Santa Ana) en función de una serie de estudios (ITGE-COPTJA, 2000a; ITGE-COPTJA, 2000b) que se han realizado recientemente, pero que es preciso analizar con una mayor profundidad.

Las actuaciones denominadas Comarca de Jaén y Mancomunidad del Víboras se contemplan dentro de las propuestas por el programa estatal de estudios para la definición de la utilización coordinada de recursos superficiales y subterráneas (Sánchez-González y Murillo, 1997).

Asimismo las propuestas de recarga artificial de acuíferos de Bedmar-Jodar y Mancha Real-Pelajar también forman parte de la identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos propuesta por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas y el Instituto Tecnológico Geominero de España (Sahún y Murillo, 2000).

No forman parte de ningún programa estatal las propuestas que se han denominado Comarca de la Loma de Ubeda y aluvial del río Guadalquivir.

El análisis que se realiza a continuación sobre estas seis propuestas se efectúa en base a los datos de recursos y usos del agua subterránea contemplados en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén (Diputación Provincial de Jaén-ITGE, 1997). En los cálculos realizados se ha aplicado una tasa máxima de explotación de los acuíferos del 80%.

a) Comarca de Jaén

Esta propuesta tiene como objetivo la mejora del abastecimiento de la comarca de Jaén y de los regadíos del Guadalbullón, mediante la integración del embalse del Quebrajano (capacidad de 32 hm³, Aportación media de 23 hm³/a y volumen medio regulado de 14 hm³/a) con las unidades hidrogeológicas de Grajales-Pandera, Montes Orientales, Sierra Mágina, Almadén-Carluca y Jaén. Estas unidades tienen unos recursos renovables de 98,3 hm³/a, aunque tan solo se utilizan 54,7 hm³/a, lo que permite disponer de 24 hm³/a como apoyo al embalse de Quebrajano.

b) Mancomunidad del Víboras

El objetivo de esta actuación es la mejora del abastecimiento a la mancomunidad del Víboras, así como a los regadíos del mismo nombre, mediante la integración del embalse del Víboras con las unidades hidrogeológicas del Mentideros-Montesinos, Gracia-Morenita, Ventisqueros-Cornicabra y Ahillo-Caracolera, que tiene unos recursos renovables conjuntos de 29 hm³/a y una explotación de 12,3 hm³/a, por lo que se podrían poner en juego del orden de 11 hm³/a como apoyo al embalse del Víboras (capacidad de 19 hm³/a y volumen medio regulado de 9 hm³/a).

c) Comarca de la Loma de Ubeda

Esta actuación incluiría la integración del embalse de Giribaile con el acuífero mioceno y carbonatado de la Loma de Ubeda. Estos dos acuíferos, que hasta hace muy poco tiempo presentaban un grado de conocimiento muy reducido, tienen unos recursos renovables ligeramente superiores a los 50

hm³/a y unos usos constatados de 21 hm³/a, aunque se estima que su explotación es mayor debido a la creciente puesta en regadío del olivar. Por su parte, al embalse de Giribaile, dimensionado para una capacidad de 475 hm³ y un volumen medio regulado de 150 hm³/a, le llega una aportación media de 331 hm³/a. Estas cifras permiten considerar, aunque el embalse de Giribaile pertenece a la llamada regulación general, plantear alguna actuación de uso conjunto que, sin afectar prácticamente a la regulación en Giribaile, permita paliar el creciente déficit que se está produciendo en la comarca de la loma de Ubeda.

d) Aluvial del río Guadalquivir

Aunque este acuífero se extiende a lo largo de las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, la actuación que se plantea estudiar solo se circunscribe a la provincia de Jaén.

El aluvial del Guadalquivir, en el tramo que afecta a la provincia de Jaén, es un acuífero muy poco estudiado, que presenta unos recursos renovables del orden de 50 hm³/a (Rubio, comunicación personal) y una explotación, en principio, no estimada, pero que se supone de una cierta importancia, ya que apoya al riego del olivar. Este hecho es el que lo hace susceptible de ser explotado mediante recarga inducida que regularice el caudal circulante por el río Guadalquivir.

e) Operaciones de recarga artificial en Bedmar-Jodar y Macha Real-Pegalajar.

Estas actuaciones contemplan paliar o solucionar los problemas de sobreexplotación que afectan a dichas unidades hidrogeológicas. La consecución de este objetivo no implica incompatibilidad con la posibilidad de incrementar el volumen de los recursos hídricos puestos a disposición de los usuarios.

Actuaciones indirectas

La aplicación del programa propuesto sobre uso conjunto y recarga artificial de acuíferos no solo implica un incremento de la disponibilidad en las zonas donde se aplique, sino también, en algunos casos, una liberación de recursos, normalmente asignados o pertenecientes a la regulación general, que podrían utilizarse o aplicarse sobre otras zonas.

Este podría ser el caso de la provincia de Jaén en relación con los embalses del Negrátin, Tranco de Beas, Giribaile, Guadalmena y Guadalen y los regadíos asociados al tramo bajo (Sevilla y Córdoba) del acuífero aluvial y terrazas del Guadalquivir, si se regaran parte de los mismos con aguas subterráneas.

Una solución paracida se ha propuesto (Sánchez-González y Murillo, 1997) para la ribera del Júcar (Valencia) donde se riegan desde hace siglos con aguas de dicho río, mediante la Acequia Real y otras más bajas, una superficie de 42.000 ha. La explotación de aguas subterráneas, en acuífero de la Plana de Valencia infrayacente a la actual superficie de riego, permitiría mejorar la eficiencia global, liberando recursos del río que podría asignarse a demandas insastifechas de la propia cuenca (Vinalopó y Alicante). Esto exige construir, equipar y explotar centenares de sondeos, lo cual supone un coste unitario de agua muy superior al que en la actualidad sufragan los regantes. La diferencia de costes tiene que ser trasladada a los auténticos beneficiarios que, probablemente, se muestren dispuestos a pagar por esos recursos a cambio de formalizar la asignación.

Situaciones como la anteriormente descrita se pueden plantear en otras zonas de Andalucía. La concreción de las mismas exige una modelización global de la cuenca, como la contemplada para la actual planificación hidrológica en el documento titulado "Análisis de los Sistemas Hidráulicos" (MIMAN, 2000b), que incluya los acuíferos y los recursos no convencionales.

Este modelo también serviría para concretar la cuantía y lugares donde según dicho documento existe la posibilidad de aumentar entre 300 y 900 hm³/a las disponibilidades en la cuenca del Guadalquivir mediante recursos subterráneos.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La satisfacción de una determinada demanda hídrica a partir del uso planeado y coordinado de la componente superficial y subterránea del ciclo hidrológico se denomina gestión conjunta.

La cantidad en la que participa el agua de una u otra procedencia depende del estado inicial en que se encuentra cada elemento del sistema de recursos hídricos; de la cuantía, garantía y distribución temporal de la demanda que es preciso atender; y de la calidad final del agua que se quiere obtener.

El estado que presenta cada uno de los elementos del sistema al cabo de un cierto periodo de tiempo, así como su respuesta a las solicitaciones a las que se le somete, se determina a través de modelos numéricos muy sofisticados.

Previamente a la realización de esa etapa se definen y estudian los elementos esenciales que configuran el sistema: acuífero y ríos, demandas de agua, e infraestructuras de almacenamiento y transporte. Así como los vínculos y relaciones que existen entre los distintos elementos implicados en el sistema hídrico. A este conjunto de componentes reales y abstractos relacionados entre sí y con el exterior se le da el nombre de esquema topológico.

Se designa como recarga artificial a un conjunto de técnicas que permiten, mediante intervención programada e introducción directa o inducida de agua en un acuífero, incrementar el grado de garantía y disponibilidad de los recursos hídricos, así como actuar sobre su calidad.

Esta tecnología pretende contribuir, siempre que técnica y económicamente sea factible, a una gestión más racional de la potencialidad hídrica que presenta una determinada cuenca hidrográfica o sistema de explotación.

El uso conjunto se puede caracterizar mediante tres ideas claves:

- Complementariedad de actuación entre las distintas componentes de un único recurso hídrico.
- Posibilidad de incrementar o mantener la disponibilidad de los recursos hídricos y/o de la garantía de suministro con una menor vulnerabilidad frente a las incertidumbres hidrológicas (por ejemplo una sequía).
- Capacidad de obtener mejores resultados técnicos y económicos ante la presencia de una nueva situación hidrológica continuada (por ejemplo un aumento de la demanda en un lugar concreto del sistema de recursos hídricos).

La recarga artificial es un elemento del sistema de recursos hídricos y la mayor parte de sus aplicaciones constituyen una tipología del uso conjunto.

En el diseño e implantación de un determinado esquema de utilización conjunta también intervienen factores de índole legislativa y económica por lo que una vez confirmada la viabilidad técnica del proyecto será preciso distribuir los costes de creación y operación de la infraestructura entre los distintos usuarios

implicados en el proyecto, así como evaluar los efectos negativos que se puedan derivar hacia otros usuarios no integrados en el sistema de uso conjunto. La distribución de los costes a aplicar, salvo cuando se contemplen beneficios de índole social, no deberá ser uniforme, sino proporcional al uso que se haga de las infraestructuras.

El uso conjunto obliga a los usuarios (artículo 80 de la Ley de Aguas y 228.3 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico) a integrarse en comunidades que compartan los mismos intereses. La constitución de estas comunidades pueden resultar una operación complicada debido a diversas causas entre las que se pueden citar: dificultad de acuerdos económicos, derechos adquiridos, individualismo, desconfianza, enfrentamientos, etc.

REFERENCIAS

- Andreu, J., Capilla, J y Ferrer, J 1992. Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Manual del Usuario. Versión 2.0. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 81 pp.
- Andreu, J., Capilla, J., Sanchis, E. y Tornos, P. 1992: "AQUATOOL: Sistema Soporte de Decisión para la Planificación de Recursos Hídricos. Manual de Usuario". Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. 216 pp.
- Andreu, J y Capilla J. 1993: "El modelo de gestión de cuencas SIMGES". En Andreu, J (ed) "Conceptos y métodos para la planificación hidrológica" CIMNE, Barcelona, 298-321.
- Andreu, J., Capilla, J y Sanchis, E. 1993: "Sistema Soporte de Decisión basado en ordenador para planificación y sistemas complejos de recursos hídricos". En Andreu, J. (ed.), "Conceptos y métodos para la planificación hidrológica" CIMNE, Barcelona, 372-391.
- Andreu, J., Capilla, J y Cabezas, F. 1994. Los sistemas soporte de decisión en la planificación y gestión racionales de los recursos hídricos. Congreso nacional del Agua y Medio Ambiente. (Ed. TIASA), Zaragoza, 95-106.
- Brandt, G. 1998. Arrenaes artificial recharge trial plant, Denmark. Hydrological and chemical aspects. Third International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Amsterdam, 217-222.
- Cabezas, F. 1993. Consideraciones de los recursos hidrogeológicos y no convencionales en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 323-348.
- Castaño-Castaño, S., Murillo-Díaz, J.M. y Rodríguez-Hernández, L. 2000. Establecimiento de reglas de operación y recomendaciones de gestión de los recursos hídricos de la Marina Baja de Alicante mediante el empleo de un modelo matemático de simulación conjunta. Boletín Geológico y Minero, 111. (2 y 3), 95-118.
- Custodio, E. 2000. Comentarios sobre la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en las sequías. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 94 (2), 197-203.
- Diputación Provincial de Jaén-ITGE. 1997. Atlas hidrogeológico de la Provincia de Jaén, Jaén, 175 pp.
- Dreher, J.E. & Gunatilaka, A. 1998. Groundwater management system in Vienna, Austria. An evaluation after three years of operation. Third International Symposium on Artificial Recharge of Grounwater, Amsterdam, 167-172.
- Hatva, T. 1996. Artificial groundwater recharge in Finland. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Helsinki, 3-12.
- Hjort, J. & Ericsson, P. 1996. Investigation of a future artificial groundwater supply of greater Stockholm. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Helsinki, 25-30.
- ITGE-COPTJA. 2000a. Proyecto para el establecimiento de las posibilidades de mejora del abastecimiento de Alcalá la Real mediante la realización de una experiencia de recarga artificial en el acuífero de los Llanos y realización de sondeos. Plan de Integración de Recursos Hídricos Subterráneos en los Sistemas de Abastecimiento Público de Andalucía, Granada, 87 pp.
- ITGE-COPTJA. 2000b. Mejora del conocimiento del acuífero de Gracia-Morenita para la evaluación de las posibilidades de recarga artificial como apoyo a los abastecimientos urbanos. Plan de Integración de los Recursos Hídricos Subterráneos en los Sistemas de Abastecimiento Público de Andalucía, Granada, 68 pp.
- Jos, H. 1996. Are there any blueprint for artificial recharge?. International Symposium on artificial recharge of groundwater. Helsinki, Filandia. The Nordic coordinating committee for hydrology, Kohyno, 257-269.

- László, F. & Literathy, P. 1996. Processes affecting the quality of bank-filtered water. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Helsinki, 53-64.
- López-Geta, J.A. y Murillo-Díaz, J.M. 1999. El papel de los acuíferos en la gestión integral de los recursos hídricos. Jornadas sobre el agua. Universidad de Almería, 16 pp.
- Llamas, M.R., Fornés, J.M., Hernández-Mora, N, y Martínez-Cortina, L. 2001. Aguas Subterráneas. Retos y oportunidades. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 529 pp.
- Mateos-Ruiz, R.M., Crespi-Bestard, D., Galmés-Díaz-Plaja, A. y González Casanovas, C. 2001. Regadío con aguas residuales tratadas en la isla de Mallorca. Afección a las aguas subterráneas. VII Simposio de Hidrogeología, 24, 243-253.
- MIMAM. 2000a. Libro blanco del agua en España. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaria de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, 637 pp.
- MIMAM. 2000b. Plan Hidrológico Nacional. Análisis de los Sistemas Hidráulicos. Ministerio de Medio Ambiente, 390 pp.
- Morel-Seytoux, H.J. 1985. Conjunctive use of surface and ground waters. Artificial Recharge of Groundwater. En: Asano, T. (ed). Butterworth Publisher. Stoneham. United States of American, 35-67.
- Murillo, J.M., de la Orden, J.A., Armayor, J.L. y Castaño, S. 2000. Recarga Artificial de Acuíferos. Síntesis Metodológica. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante. Diputación Provincial de Alicante-Instituto GeoMinero de España, Alicante, 157 pp.
- Navarro, J.A. y Murillo J.M. 1998. "Modelo conceptual de gestión conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos". X Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España, Valencia, 401-413.
- Pascual-Díaz, J.M. 1996. Integración de los recursos de aguas subterráneas en el conjunto de los recursos de las cuencas Internas de Cataluña. Las Aguas Subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español, Lleida, 283-289.
- Rebollo, L.F. 1999. Gestión conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos y sobreexplotación de acuíferos. Las aguas subterráneas como nuevo recurso hídrico: gestión, calidad, problemática ambiental y contaminación. Curso de Verano. Universidad de Burgos, 73-88.
- Sahún B. y Murillo J.M. 2000. Identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos en las cuencas intercomunitarias. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas e Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Ciencia y Tecnología, 57 pp.
- Sahuquillo, A. 1983a. El método de los autovalores. Curso sobre utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Servicio Geológico de Obras Públicas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, Castellón de la Plana. Documento B-8, 1-8.
- Sahuquillo, A. 1983b. Panorámica Mundial. Tipología de Uso Conjunto. Curso sobre utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Servicio Geológico de Obras Públicas. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-Castellón de la Plana. Documento A-1, 1-17.
- Sahuquillo, A. 1985. Criterios actuales para la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Revista de Obras Públicas, año CXXXII, (3235), 231-253.
- Sahuquillo, A. 1993. Papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hídricos. Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 103-117.
- Sahuquillo, A. 1996. Posibilidades del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en la planificación hidráulica. Las Aguas Subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español, Lleida, 59-71.
- Sahuquillo, A. 2000. La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en las sequías. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. 94. (2), 183-196.
- Sahuquillo, A. 2001. El Plan Hidrológico nacional y el Uso Conjunto. Las Aguas Subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español, 62-77.
- Sánchez-González, A. y Murillo J.M. 1997. Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 41 pp.
- Schöttler, U. 1996. Artificial recharge of groundwater in Germany. State of art in research and practice. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Helsinki, 41-49.