

**DESARROLLO
METODOLÓGICO PARA
GESTIÓN DE CUENCAS
MEDIANTE EL USO
CONJUNTO DE AGUAS
SUPERFICIALES Y
SUBTERRÁNEAS.
MODELO DE GESTIÓN
DEL SISTEMA
VINALOPÓ-ALICANTÍ**

Madrid 2001-2002

La presente Memoria-Informe ha sido realizada dentro del Convenio de Asistencia Técnica establecido entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Excma. Diputación de Alicante (DPA) actuando como:

Directores del estudio

José Manuel Murillo Díaz (IGME)
Luís Rodríguez Hernández (DPA)

Autores del estudio

José Manuel Murillo Díaz (IGME)
José Antonio de la Orden Gómez (IGME)
Juan de Dios Gómez Gómez (IGME)
Silvino Castaño Castaño (IGME)

Para la realización del estudio se ha contado con la colaboración de la empresa AURENSA

Indice

Capitulo I	Conceptos Generales
Capitulo II.....	Conceptos Técnicos
Capitulo III.....	Conceptos Legales y Económicos
Capitulo IV...Modelo de Gestión del Sistema Vinalopó_Alicantí	
Capitulo V.....	Conclusiones
Capitulo VI.....	Bibliografía

I CONCEPTOS GENERALES

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia los asentamientos humanos se han localizado en emplazamientos que reunían una serie de condiciones ventajosas para su persistencia. Entre ellas, posiblemente, la fundamental era que siempre existiese agua para sus necesidades en cantidad suficiente y con la calidad adecuada, lo que se conseguía en los entornos de ríos o manantiales cuyos caudales mínimos fuesen superiores a las necesidades del grupo. En lenguaje actual se podría indicar que esos asentamientos humanos buscaban emplazamientos en los que la garantía de suministro fuese la adecuada para sus necesidades.

El crecimiento de la demanda de agua debido a factores tales como aumento de la población, introducción de la agricultura y ganadería ha dado lugar a procesos cíclicos en los que se alcanzan unos niveles de consumo a partir de los cuales las garantías de suministro disminuyen, por lo que es preciso la búsqueda de nuevas fuentes de suministro o un cambio en la gestión de la demanda.

Recursos, demandas y garantías son, posiblemente, las tres palabras clave que gobiernan la gestión del agua. En esta publicación se entiende por “recursos” los caudales de agua de calidad adecuada, que se utilizan para satisfacer los usos que se precisan del agua. Por “demanda” se quiere significar el agua que se solicita, también en cualquier momento, para satisfacer las necesidades de

abastecimiento de cualquier índole: urbano, industrial y agrícola, principalmente, aunque también puede tratarse de las relacionadas con usos de tipo hidroeléctrico, medioambiental o recreativo. Por último, por “garantía” se quiere expresar el porcentaje de unidades de tiempo en las que se puede satisfacer la demanda con los recursos disponibles. Dado que se trata de una publicación divulgativa no se aborda el concepto de garantía volumétrica, aunque es tan importante o más que el anterior, así como otros tipos de garantía, ya que se podría originar confusión entre el lector no especializado.

En estrecha relación con estos tres conceptos se encuentra un cuarto denominado “regulación”. El significado que se le da en la presente publicación hace referencia al conjunto de operaciones e infraestructuras que permiten adaptar, en cada momento, los recursos existentes a las demandas.

Así, si un río presenta unos caudales mínimos, que son siempre superiores a las demandas, el río está regulado naturalmente, pero si a veces presenta caudales inferiores a la demanda, aunque su caudal medio anual sea superior al demandado, no estará regulado naturalmente. En este caso se podría construir un embalse que almacenase agua, cuando el caudal circulante por el río fuese excedentario, para utilizarla cuando este fuese deficitario (figura 1). Se conseguiría así una regulación artificial. Ésta también se puede lograr mediante la construcción de un pozo o un sondeo, cuando en las proximidades del centro de demanda existe un embalse subterráneo, que servirá para realizar bombeos en los períodos en los que

exista escasez. Asimismo también cabría la posibilidad de adoptar medidas de ahorro al objeto de seguir abasteciéndose de un río

regulado naturalmente o bien, considerar fuentes alternativas como la reutilización o la desalación cuando sea posible.

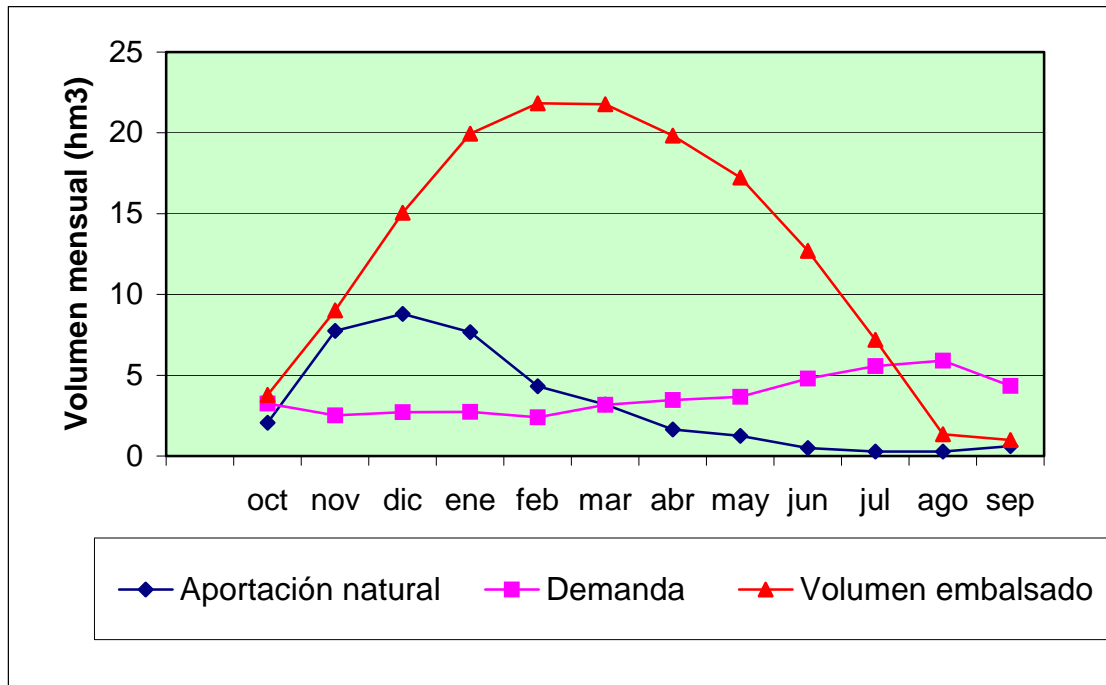


Figura 1. Ejemplo de curvas de demanda, aportación natural y regulada (volumen embalsado).

Otras definiciones, que hacen referencia a conceptos fundamentales de la gestión hídrica, son las relativas a uso, dotación y consumo. La palabra “usos” designa las diversas secciones o capítulos en que se puede subdividir la utilización del agua por el hombre: bebida, domésticos, riego, industria, hidroeléctricos, transporte, recreo, ecológico y refrigeración entre otros posibles. Estos usos los podemos clasificar a su vez en “consuntivos”, cuando un volumen de agua es consumido realmente, y “no consuntivos” cuando es reintegrado al sistema tras su utilización. Entre los primeros podemos citar el consumo humano o el regadío, mientras que la generación hidroeléctrica o el uso recreativo son claros ejemplos en los que no se produce un consumo de recurso. El agua aplicada por unidad de uso y tiempo recibe el nombre de “dotación”, pero

cuando en ésta se especifica la cadencia de su aplicación en el tiempo se la denomina dotación modulada. Por “consumo” se entiende la cantidad de agua realmente gastada en la satisfacción de un determinado uso. El consumo y la demanda teórica no tienen por qué coincidir.

La gestión conjunta de los recursos superficiales y subterráneos es una de las ideas básicas que preside la Ley de Aguas del Reino de España y de la nueva política de aguas de la Unión Europea. Sin embargo, su aplicación práctica no se extiende por igual en todos sus estados miembros, ya que la utilización coordinada de las distintas fuentes de agua para satisfacer una misma demanda hídrica no es una práctica común en las regiones del norte de Europa, debido a la relativa abundancia de agua,

mientras que en ciertos países del sur, entre los que se incluye España, sí se contempla una implantación paulatina de esta técnica de gestión hídrica, que en el caso de la administración hidráulica española se está impulsando gracias a la realización y aplicación de un programa estatal de estudios para la utilización coordinada de recursos superficiales, subterráneos y no convencionales que se extiende a 27 sistemas de explotación o aprovechamiento hídrico. Estos sistemas de explotación se encuentran integrados por 70 embalses subterráneos (aproximadamente el 90% son de tipo carbonatado), 71 embalses superficiales, 16 grandes infraestructuras de conducción y numerosas instalaciones de tratamiento de aguas residuales y desalación de agua de mar.

Esta selección inicial de actuaciones de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas no presupone que solo sean 27, las zonas de España, donde se precisa integrar la explotación de las aguas subterráneas en la gestión del sistema hídrico superficial, sino que éste es el número que ha resultado de un primer estudio realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y el Instituto Geológico y Minero de España.

Los criterios utilizados durante su realización fueron los siguientes:

- El ámbito territorial se restringió a las cuencas intercomunitarias. Es decir aquellas que dependen íntegramente del Gobierno de la nación.
- Se procuró que el acuífero o acuíferos implicados en cada esquema de gestión

seleccionado proporcionara unas posibilidades mínimas de explotación del orden de 10 hm³/año.

- No se formularon esquemas de uso conjunto que tuvieran acuíferos explotables situados por encima de los grandes embalses de regulación, salvo cuando se presentaba la excepción de una demanda objetivo situada también por encima de dichos embalses. Éste es el caso de los sistemas del Alto Genil y del Alto Guadiana Menor, ambos en la cuenca del Guadalquivir. En este último se integran cuatro embalses y cinco unidades hidrogeológicas, para satisfacer las demandas correspondientes a los regadíos de Castril-Guardal, Guadalentín y otros de menor entidad, así como los abastecimientos a los municipios del sistema.

Por último indicar que cada vez es más amplio el espectro de organismos, instituciones y organizaciones, tanto de índole nacional como internacional, que han detectado o admitido la existencia de una profunda crisis en la gestión y administración del recurso agua. A título de ejemplo se citan los siguientes: Worldwatch Institute, Green Peace, Coagret, World Wide Fund for Nature, UNESCO y Federación Nacional de Comunidades de Regantes.

La crisis a la que se hace referencia en el párrafo anterior es de carácter y ámbito mundial y responde a factores de índole técnico, social, legal, económico, político y medioambiental.

Este último aspecto ha sido, en los países desarrollados, el gran detonante y

desencadenante de la misma, y el hilo conductor que ha puesto en evidencia que dicha crisis no se debe tanto a una falta de conocimientos técnicos y científicos, más o menos relacionados con el aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos, como a una falta de voluntad y resolución para articular las medidas legislativas y económicas que permitan compatibilizar los distintos intereses que afectan a los diferentes usuarios del agua.

Dentro de este último colectivo se debe incluir a ese grupo de personas, cada vez mayor, que no se benefician económicamente del agua, pero que reclaman una priorización del uso y mantenimiento medioambiental del recurso hídrico. La existencia de este tipo de usuario constituye el motor de un cambio que poco a poco está modificando radicalmente los planteamientos clásicos que se han aplicado hasta la fecha en la gestión del agua.

España no es ajena a esta crisis y se encuentra plenamente inmersa en la misma, ya que se trata de un país donde el aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas se ha realizado hasta el momento

bajo una política marcada por una estrategia infraestructural, sectorial y una legislación en muchos aspectos extremadamente conservadora y difícil de aplicar. Dicha crisis, en el caso español, afecta muy especialmente a la fase subterránea del ciclo hídrico y presenta, para esta componente de la escorrentía, una situación más controvertida y difícil de solucionar que la que aqueja al agua que se gestiona mediante infraestructuras de superficie.

Abordar el escenario sobre el que se desenvuelve la actual gestión del agua y reconducirlo a una situación donde prevalezca un uso sostenible de los recursos hídricos y el respeto al medio ambiente constituye –si de verdad se pretende y quiere cumplir la Directiva Marco del Agua (DMA)– el aspecto primordial de la nueva política del agua que tiene que emprender el Estado español en un futuro más o menos inmediato. La forma de acometer la misma pasa por adoptar un enfoque integrado de la gestión del recurso hídrico.

EL AGUA EN LA CORTEZA TERRESTRE.

El agua de los océanos, mares, lagos, ríos y embalses se evapora, con mayor intensidad, cuanto mayor es la temperatura y más seco el ambiente. La vegetación también contribuye a su evaporación por transpiración. El agua en forma de vapor pasa a la atmósfera, cargando el aire de humedad. El vapor de agua, con el frío, puede condensarse en minúsculas partículas que dan lugar a las nubes y la niebla y retorna a la superficie del terreno y a los océanos en forma de precipitación (lluvia, nieve o granizo, rocío o escarcha). Hay que tener en cuenta que no toda la precipitación alcanza la superficie del terreno, pues parte se evapora en su caída y parte es interceptada por la vegetación o por superficies de edificios, carreteras, etc., y devuelta a la atmósfera al poco tiempo en forma de vapor de agua. La parte que retorna a la superficie del terreno se denomina “escorrentía” y se define como el volumen total de agua que se contabiliza en un punto concreto de una cuenca para un tiempo determinado. En ocasiones se utiliza el término “aportación” como sinónimo de escorrentía. La escorrentía es suma de dos componentes: aportación superficial o escorrentía superficial y aportación subterránea o escorrentía subterránea. La suma de estas dos componentes también se denomina “lluvia útil” que se define como la fracción de la precipitación que no se

evapotranspira. Por consiguiente, la escorrentía superficial representa la parte de la precipitación que no se infiltra ni evapotranspira y discurre por los cauces fluviales. La escorrentía subterránea será la fracción de agua que recarga y circula a través de los acuíferos y es colectada finalmente por los ríos, lagos o mar.

A la escorrentía subterránea algunos autores la denominan escorrentía base o caudal base. La asimilación de escorrentía subterránea a caudal base no es rigurosa y debe por lo tanto evitarse. La escorrentía base corresponde esencialmente a una escorrentía diferida, cuyo principal factor es la función reguladora de los acuíferos. No obstante, existen otros factores que contribuyen a mantener los caudales de un río en períodos de ausencia de lluvia, como son, por ejemplo, el deshielo de las nieves de la cabecera de cuenca. Cuando se presentan dichos factores la escorrentía subterránea es inferior a la escorrentía base. Ahora bien, también puede ocurrir que sea superior. Este caso se presenta cuando se considera la escorrentía poco diferida asociada a las crecidas de los manantiales kársticos.

La escorrentía superficial y subterránea no se muestra siempre en la naturaleza según una división tan nítida, como la indicada en las definiciones anteriores, debido a lo que se denomina relación río-acuífero. A este respecto, para el régimen designado como natural, se podría establecer la siguiente subdivisión de la escorrentía:

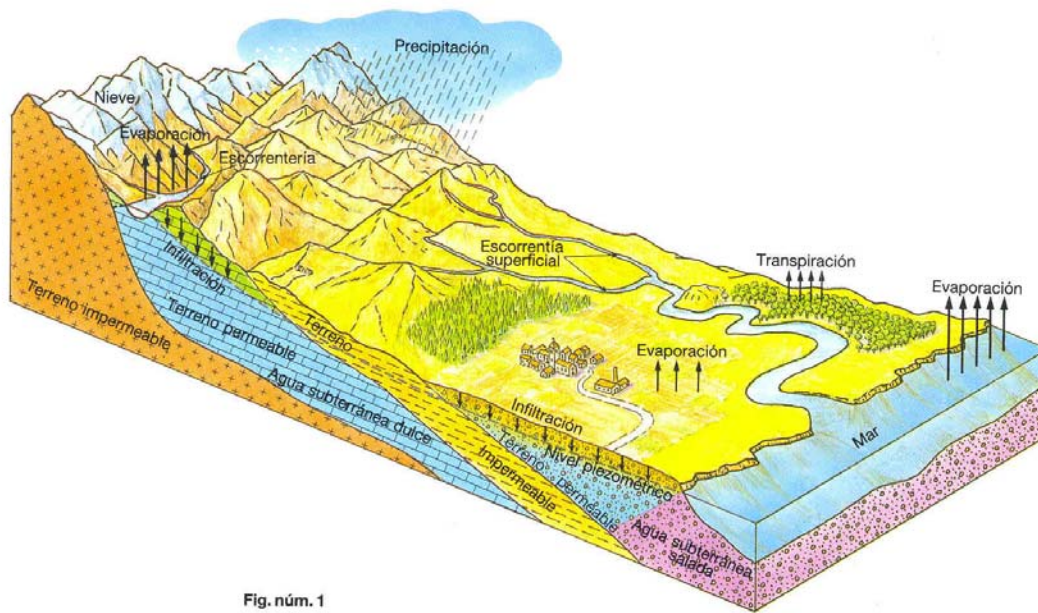


Figura 2. Esquema del ciclo hídrico

- a) **Escorrentía estrictamente superficial:** Corresponde a la fracción de la lluvia útil que circula siempre en superficie hasta su cesión al mar u otra masa de agua superficial y, por consiguiente, no es nunca subterránea.
- b) **Escorrentía superficial de origen subterráneo:** Corresponde a la fracción de la lluvia útil que recarga los acuíferos y circula más o menos tiempo por el subsuelo para finalmente ser drenada a un curso superficial.
- c) **Escorrentía subterránea de origen superficial:** Corresponde a la fracción de la lluvia útil que recarga a un acuífero a través de las pérdidas que tienen lugar en el lecho de un cauce fluvial. Posteriormente se drenará a un curso superficial, que puede ser el mismo por el que circulaba u otro, o directamente al mar.
- d) **Escorrentía estrictamente subterránea:** Corresponde a la fracción de la lluvia útil que recarga a un acuífero y circula a través del subsuelo, hasta drenarse directamente al mar.
- Por último indicar que el descenso vertical de una parte del agua que se infiltra en el suelo puede ser interrumpido, por la existencia de lentejones, poco permeables, que existan entre este y el nivel freático del acuífero, dando lugar a un flujo casi horizontal que se descarga por medio de fuentes y manantiales o de forma difusa a ríos y arroyos. Por otro lado, en los lugares donde no existen acuíferos, también ocurre que una parte del agua que se infiltra en el suelo se mueve en sentido prácticamente horizontal por las capas superiores del terreno y transcurrido un cierto tiempo, más o menos corto, reaparece en superficie a una cota inferior a la de infiltración como flujo superficial.

Los fenómenos anteriormente descritos constituyen lo que se denomina escorrentía hipodérmica. Por consiguiente, lo correcto es considerar que la escorrentía total se compone de una escorrentía directa, una escorrentía hipodérmica y una escorrentía subterránea.

No obstante, dado que, aunque en teoría la escorrentía hipodérmica se produce algo más tarde que la superficial y se agota después que ésta, a efectos prácticos no es posible medirla separadamente de la escorrentía superficial en una estación de aforos, por eso no tiene interés práctico diferenciar la existencia de esta

componente y a efectos de gestión hídrica se distinguen únicamente dos tipos de escorrentía: una es la escorrentía subterránea entendida como el volumen de agua que circula a través de los acuíferos y es colectado por los cursos fluviales o el mar. La otra es la escorrentía superficial que engloba a la escorrentía superficial propiamente dicha, a la escorrentía hipodérmica y a la precipitación caída directamente sobre los ríos.

II CONCEPTOS TÉCNICOS

EMBALSES SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS

La multiplicidad mostrada por el recurso hídrico, al presentarse en la naturaleza con distinta apariencia (agua superficial y agua subterránea), posibilita su aprovechamiento a partir de diferentes técnicas de explotación. En este sentido se puede afirmar que los embalses superficiales y subterráneos son similares y pueden tener idéntica finalidad, ya que los dos almacenan agua y su funcionamiento se rige según unos mecanismos de recarga y descarga.

El agua que circula por la superficie del terreno se gestiona, generalmente, a través de las llamadas técnicas de tipo superficial (normalmente embalses, azudes, depósitos, tuberías y canales) y la contenida en los acuíferos mediante la aplicación de las técnicas de tipo subterráneo (normalmente sondeos, pozos, galerías y zanjas). Ahora bien, es preciso hacer hincapié, para no adoptar consideraciones intuitivas, que las técnicas superficiales no se limitan únicamente a explotar el agua de lluvia no evapotranspirada ni infiltrada que circula por la superficie del terreno. Asimismo las técnicas subterráneas tampoco se circunscriben a explotar exclusivamente la infiltración natural que tiene lugar en los acuíferos antes de que esta se drene por ríos y manantiales.

A este respecto, la recarga artificial de embalses subterráneos y la recarga inducida a

través del lecho de los ríos contribuyen a explotar, a través de técnicas de tipo subterráneo, volúmenes de agua que nunca antes habían circulado por el subsuelo. El caso contrario lo constituyen numerosos embalses superficiales, contruidos sobre nuestra geografía, que aprovechan y regulan una parte importante de la escorrentía subterránea que circula por los ríos. En concreto ésta es en España, como mínimo, del orden de 2.800 hm³/a.

Los embalses superficiales y subterráneos se pueden gestionar de forma similar y presentan ciertas características comunes, aunque también tienen notables diferencias. Entre las primeras destaca que en ambos elementos de almacenamiento el agua entra en periodos de tiempo determinados y sale o se extrae en otros que normalmente son distintos. Entre las segundas cabe destacar las siguientes:

- Los embalses superficiales son estructuras artificiales y los subterráneos naturales.
- La superficie máxima que ocupan los superficiales suele ser del orden las decenas de hectáreas. La de los subterráneos de centenas de km².
- El espesor medio de agua en los superficiales es del orden de algunas decenas de metros. El espesor medio de uno subterráneo puede ser del orden de la centena de metros, aunque un porcentaje en general inferior al 10% es de huecos, por lo que el espesor

equivalente de agua libre es también del orden de algunas decenas de metros.

- En general el volumen máximo de agua que se puede almacenar en un embalse subterráneo es bastante más grande que en uno superficial. Como orden de magnitud se puede indicar que el volumen de agua almacenado en un acuífero puede ser de algunos miles de hectómetros cúbicos, mientras que en un embalse superficial es de algunas centenas de hectómetros cúbicos.

Otras diferencias significativas son las siguientes:

- Las entradas de agua en los embalses superficiales son fácilmente controlables y cuantificables, no así en los subterráneos.
- La explotación de un embalse superficial presenta una gestión más fácil que en un acuífero. En los primeros las reservas se conocen con exactitud en cada momento, en cambio en los segundos estas sólo pueden obtenerse de forma aproximada.
- En los embalses superficiales el llenado y el vaciado son rápidos y en los subterráneos son normalmente lentos.
- En los embalses superficiales el vaciado se produce por un punto; en los subterráneos puede producirse por múltiples zonas.
- Los embalses superficiales sufren pérdidas por evaporación, lo que no sucede o ésta es muy pequeña en los subterráneos.
- Los recursos renovables de un río pueden aumentarse con cierta facilidad, haciendo abstracción de los efectos medioambientales, sociológicos y del coste económico que esta operación conlleva, mediante trasvases de otras cuencas. En los acuíferos para aumentar sus recursos se requiere de la construcción de instalaciones de recarga artificial.
- La relación entre el volumen máximo de agua que se puede almacenar en un embalse superficial y el volumen de agua que satisface la demanda cubierta por dicho embalse es un número pequeño. En los subterráneos, esa relación suele ser un número muy grande. Por esta razón la garantía de suministro es superior en el caso de los acuíferos.
- Si se producen procesos que puedan afectar a la calidad de las aguas, las existentes en los embalses superficiales están desprotegidas mientras que las subterráneas encuentran cierta protección proporcionada por la franja del terreno comprendida entre la superficie y la zona saturada del acuífero. No obstante, si se llega a producir la contaminación de las aguas, la regeneración de las embalsadas es relativamente fácil, mientras que la de

las subterráneas es extremadamente compleja.

REUTILIZACIÓN Y DESALACIÓN

Hasta épocas relativamente recientes los únicos recursos disponibles han sido los procedentes de las aguas superficiales y subterráneas. No obstante, en las últimas décadas, han surgido otros nuevos, cada vez más necesarios para satisfacer demandas, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Reutilización de aguas residuales, tanto en su variante denominada de uso directo, previo tratamiento, como en la alternativa que contempla el almacenamiento y depuración adicional que se obtiene mediante la utilización de los acuíferos.
- Desalación de aguas con elevado contenido iónico, bien a partir de agua salada o salobre, captada o bombeada desde acuíferos o bien de agua captada directamente desde el mar.

La utilización de aguas reutilizadas entraña otras definiciones que es preciso considerar en esta publicación: la de “agua no retornada” y “agua retornada”.

La diferencia entre las dos es que la primera, una vez empleada, se pierde en la atmósfera, mientras que la segunda es devuelta a un río, acuífero o directamente al mar, por lo que en principio un elevado porcentaje se podría emplear de nuevo. Esta distinción es muy importante pues, por ejemplo y para dar órdenes

de magnitud, si 100 hm³ se utilizasen en una agricultura ubicada sobre un acuífero, unos 80 pasarían a la atmósfera por procesos de respiración y transpiración de las plantas (agua no retornada) y unos 20 se infiltrarían al acuífero, recargándolo (agua retornada). Si esos 100 hm³ se utilizasen en abastecimiento urbano, unos 20 podrían pasar a la atmósfera (agua no retornada) y 80 se verterían a un río (agua retornada). Si últimos estos se depuran, antes de realizar dicha operación, se podrían emplear para satisfacer determinadas demandas.

En relación con la reutilización y la desalación, como componentes 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, no existía, hasta hace poco tiempo, 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, los contemplaban como actividades temporales complementarias de la utilización conjunta, mientras que otros propugnaban impulsar la gestión coordinada de todos los recursos de agua disponibles y de los que se pudieran importar en un futuro desde otra cuenca.

Hacia esta última propuesta se ha encaminado la nueva gestión del agua, aunque minimizando la posibilidad de realizar trasvases, dada la tendencia decreciente que afecta al precio de los recursos hídricos no convencionales y a los problemas ambientales y sociológicos de los trasvases. En este sentido, ya se apuntaba, hace una década, que la tecnología

de la desalación contribuiría en breve plazo al suministro de caudales destinados al abastecimiento urbano e incluso al regadío. Asimismo la reutilización planificada de agua residual para usos agrícolas y urbanos no restringidos, en su variante denominada de uso directo, es una realidad constatada en muchos lugares.

No obstante, es preciso indicar que la integración práctica de los recursos no convencionales en los esquemas clásicos de gestión de aguas superficiales o conjunta con

aguas subterráneas precisa de la necesidad de elaborar modelos de simulación de la gestión hídrica que incluyan las aguas superficiales, las subterráneas y las no convencionales al objeto de atender y garantizar una demanda hídrica común, la única salvedad que limita esta filosofía de gestión es la compatibilidad o incompatibilidad que puede existir entre determinadas fuentes de agua y ciertos usos de la misma. (Por ejemplo agua residual y abastecimiento urbano).

REGULACIÓN Y RECURSOS

Se entiende por “regulación” la adaptación en cantidad, calidad, espacio y tiempo de una escurrentía a la estructura de las necesidades creadas por la actividad humana. Es importante no confundir regulación con regularización, ya que lo segundo pretende obtener caudales continuos e iguales en el tiempo, mientras que lo primero sólo intenta proporcionar caudales acordes a unas necesidades que pueden variar notablemente con cada situación climática.

Cuando una aportación se encuentra regulada se denomina “recurso”. Es frecuente, dentro de la terminología empleada por los hidrogeólogos, identificar recurso subterráneo con escurrentía subterránea, por lo que se atribuye a ésta última una regulación natural. Esto no es cierto, aunque sí es verdad que la escurrentía subterránea presenta una determinada uniformidad y continuidad, si se la compara con la variable pluviosidad que es una señal de entrada discreta y aleatoria.

La escurrentía estrictamente superficial, en cambio, no goza de estas atribuciones y su respuesta a la precipitación presenta carácter casi inmediato, por eso la variabilidad es la propiedad que caracteriza al caudal circulante por un gran número de ríos. La escurrentía subterránea, por las razones aducidas anteriormente, resulta más apropiada, que la superficial, para un aprovechamiento a

través de lo que se denomina “regulación natural”.

En principio, la regulación natural constituye el ideal a aplicar, puesto que no precisa de grandes obras, ni produce importantes alteraciones en el medio ambiente. No obstante, la posibilidad que tiene de satisfacer una determinada demanda, a medida que aumenta la misma, es relativamente limitada. La regulación natural resulta adecuada en aquellos países donde la irregularidad del caudal circulante por sus ríos no es muy grande.

La “regulación artificial”, que puede ser tanto de tipo superficial como subterráneo, nace como consecuencia de la irregularidad de las aportaciones y de la necesidad de satisfacer o garantizar una demanda que, hasta la fecha, ha sido siempre creciente.

La regulación de tipo subterráneo precisa de una adaptación de las explotaciones a la recarga natural del acuífero. El balance acumulado para un ciclo de varios años debe presentar siempre, al final del mismo, un ligero superávit. Esta forma de proceder, que guarda relación directa con un uso sostenible del acuífero, puede permitir explotar importantes cantidades de agua en años secos, y almacenar y reservar excedentes hídricos durante los años húmedos.

La explotación del agua subterránea no se ha realizado, generalmente, según un esquema acorde con la filosofía anteriormente expuesta. Esta forma de proceder ha provocado en algunos acuíferos, para evitar fallos en el

suministro, problemas de “sobreexplotación” de envergadura variable.

La regulación de tipo superficial, al igual que la subterránea, puede presentar carácter anual o hiperanual. En el primer caso los caudales susceptibles de utilizar son sensiblemente inferiores a la media correspondiente al año más seco del período histórico considerado, por lo que cada año se llenará completamente e incluso rebosará el embalse. Ahora bien, si se incrementa el caudal regulado hasta ser mayor que el caudal medio

durante dos fechas finales de estiaje, ya no bastan las aportaciones del propio año para llenar el embalse y, en los cálculos, hay que considerar las aportaciones correspondientes a años anteriores. Cuando se procede de esta forma se dice que la regulación es de tipo hiperanual, garantizándose entonces la satisfacción de la demanda para el año más desfavorable o para el período más desfavorable. Esta forma de operar, en contrapartida, puede conducir, en ocasiones, a la construcción de un embalse de un tamaño que no sea rentable económicamente.

UTILIZACIÓN CONJUNTA Y GESTIÓN INTEGRAL

Tradicionalmente cada demanda de agua se satisface con unos recursos que pueden proceder de un río, de un embalse, o de un acuífero. El primer caso es posible siempre que los caudales mínimos disponibles sean superiores a la demanda existente en cualquier momento.

Cuando esto no sucede las demandas se intentan satisfacer con embalses o con la explotación de las aguas subterráneas de los acuíferos. En este sentido es necesario reconocer que muchos de los sistemas tradicionales de regulación, incluyendo también la regulación natural, sólo son capaces de satisfacer o garantizar, en cuanto se presenta un episodio climático seco, hasta un cierto valor de la demanda.

Por eso, dado que la utilización de una única fuente de agua, para satisfacer una determinada demanda, da lugar en numerosas ocasiones a fallos en el suministro, nació el concepto de utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos como una filosofía de gestión hídrica que pretendía el uso planeado y coordinado de ambas fuentes de agua para la mejor satisfacción de la demanda.

No obstante, en la actualidad, este planteamiento está evolucionando hacia una nueva concepción de la gestión hídrica debido al conocimiento que se ha alcanzado sobre la hidrodinámica de los acuíferos, a las limitaciones topográficas y medioambientales que afectan cada vez más a la construcción de embalses y, por último, a la incorporación al mercado del agua de nuevas fuentes de recursos hídricos (reutilización y desalación). Por eso hoy en día, se considera que la gestión hídrica más adecuada es aquella que define y cuantifica todos los recursos disponibles en cada momento y todas las demandas esperables en cada lugar, asignando a cada una de ellas una garantía mínima de suministro y, en función de la capacidad de regulación del sistema, determina en que proporción y época se debe actuar sobre cada tipo de recurso, para satisfacer todas las demandas, con las limitaciones que inicialmente se han impuesto. Esta forma de actuar pretende obtener que la garantía de suministro a todo el sistema sea máxima con un coste económico mínimo.

En España, en lo que se refiere a la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas, cabe indicar que las primeras realizaciones que se efectuaron respondieron más a causas del azar que a una planificación programada con antelación. Dichas actuaciones fueron impulsadas y generadas en su mayoría por iniciativa privada de los usuarios, bien a escala individual u organizados en Comunidades. No obstante, la Administración colaboró posteriormente en mejorar muchos de los sistemas que espontáneamente surgieron.

Así la ejecución teórica de estudios de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas se inició en nuestro país en la década de los ochenta. La Dirección General de Obras Hidráulicas a través de la Universidad Politécnica de Valencia estudió casos concretos en las cuencas del Júcar, Guadalquivir, Sur, Tajo, Duero y Ebro. El Instituto Geológico y Minero de España realizó un estudio de carácter general a nivel nacional y posteriormente estudios específicos en las cuencas de los ríos Fluvial y Muga, Mijares, Júcar, Guadalentín, Guadalhorce y Guadalfeo.

La realización más conocida, por la profusa bibliografía que ha generado, corresponde al acuífero de la Plana de Castellón y a los ríos y embalses que con él se interrelacionan. Ahora bien, las dos actuaciones que presenta un mayor carisma se relacionan con intervenciones que implican a las dos ciudades más importantes de este país.

En este sentido, el sistema de abastecimiento a Madrid muestra que la integración de los recursos subterráneos es una realidad comprobada y constatada durante toda la década de los años noventa. El sistema del Llobregat ha pasado por diferentes situaciones desde que a principios de siglo pasado se inició una expansión del abastecimiento a Barcelona y poblaciones limítrofes con agua subterránea. La sucesiva construcción de los embalses de Sant Pons y La Baells en el río Llobregat, el escarificado del lecho del río, la llegada de Barcelona del canal del Ter, la construcción de los pozos radiales de Abrerá-Martorell, y la recarga artificial en el área de conexión entre el Valle Bajo y el Delta han modificado periódicamente la cuantía en la que intervienen

las aguas superficiales y subterráneas en este esquema de gestión conjunta.

Otras actuaciones que presentan una realidad constatada, aunque su gestión puede y debe mejorarse son las desarrolladas sobre el Valle del Guadalentín (Murcia), Plana de Sagunto y río Palancia (Castellón), Marina Baja (Alicante) y Delta del Adra (Almería).

Un cuarto grupo, caracterizado por no disponer de estructuras comunales para la explotación de las aguas subterráneas, lo constituyen las intervenciones acaecidas en el Bajo Guadalhorce y río Velez (Málaga), río Guadalfeo y Vega de Motril (Granada), Vega de Granada (Granada), Valle del Serpis y Plana de Gandía (Valencia), Campo de Tarragona (Tarragona) y Campo de Cartagena (Murcia).

Uno de los logros más importantes e interesantes que se alcanza mediante la integración de los acuíferos y de los recursos no convencionales en los sistemas de explotación de las aguas superficiales es mejorar la garantía de suministro, así como incrementar el número y calidad de las prestaciones que ofrece el nuevo sistema de recursos hídricos.

Los caudales naturales, que circulan por los cursos fluviales, son variables aleatorias que no aseguran la disponibilidad de agua nada más que con una cierta fiabilidad. La probabilidad que tienen las disponibilidades de ser mayores o iguales que las demandas a lo largo de un determinado período de tiempo se denomina "garantía". Es decir, a cada combinación del binomio aportación-capacidad de embalse le corresponde un cierto nivel de demanda atendible. Si la demanda real sobrepasa este

nivel será necesario plantear una o varias de las siguientes actuaciones:

- Aumentar la capacidad de embalse.
- Introducir en el sistema nuevas fuentes de suministro.
- Admitir la posibilidad de no satisfacer completamente, durante ciertos períodos de tiempo, la demanda de agua prevista.

La introducción en el sistema de nuevas fuentes de suministro puede contemplar aguas cuya procedencia provenga de acuíferos con una localización más o menor cercana al embalse regulador. Esta agua de origen subterráneo no sólo puede complementar los períodos en los cuales el embalse no es capaz de cubrir la demanda, sino también incrementar la regulación asegurando una determinada garantía.

El porcentaje de garantía, con que se satisface la demanda de agua, tiene una influencia muy grande sobre los parámetros técnicos y económicos que rigen en el aprovechamiento de las escorrentías. Pequeñas variaciones en el porcentaje de garantía pueden suponer variaciones muy importantes en la capacidad de los embalses. Incrementos de un diez por ciento (aumentar la garantía de un 85% a un 95%) puede incluso duplicarla. La solución estriba, por tanto, en determinar las necesidades mínimas aceptables (cuantitativa y cualitativamente) con una garantía lógica y económicamente rentable. En este sentido, la integración de los embalses subterráneos, en los sistemas de explotación de las aguas superficiales, puede permitir la construcción de embalses con una garantía más baja, ya que las

aguas subterráneas pueden complementar el resto de la demanda.

Se entiende por “gestión integral de recursos hídricos” (GIRH) un proceso que, con el fin de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos con ellos relacionados según un esquema operacional que no compromete la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

En la anterior definición se distinguen junto a los cuatro factores tradicionales que gobiernan la gestión del agua (entorno sociocultural, entorno político-legal-administrativo, entorno económico y entorno tecnológico) un quinto factor que se denomina entorno medioambiental. Así mismo implica que no existen elementos aislados dentro de un determinado sistema y que cualquier actuación que se realice sobre uno de los elementos que conforman el sistema, por pequeña que ésta sea, influye de alguna u otra forma, en mayor o menor grado, sobre el resto.

Encontrar un punto de equilibrio entre los distintos factores que participan en el sistema es el objetivo perseguido por la gestión integral de recursos hídricos. Dentro de este contexto no hay acciones marcadamente individuales, ni estrictamente locales, lo que contrasta con los enfoques de índole fragmentada e individualista que han presidido la gestión del agua desde el siglo XIX.

La gestión integral de recursos hídricos representa un concepto más amplio y genérico que el uso conjunto, ya que éste último contempla únicamente la utilización planeada y

coordinada de recursos superficiales y subterráneos con el fin de lograr un mejor aprovechamiento hídrico que el obtenido al operar con una única fuente de agua, mientras que el primero introduce, junto a conceptos de gestión hídrica, otros de tipo medioambiental, socioeconómico, legal y político, Así como objetivos de maximización del bienestar económico y social en conjunción con la conservación del medio ambiente.

CONDICIONANTES Y ESTRUCTURA DE UN PROYECTO DE USO CONJUNTO

La cantidad en la que participa el agua de una u otra procedencia en un proyecto de estas características 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 requiere obtener. Por eso la satisfacción de una demanda concreta de agua mediante el uso planeado y coordinado de recursos superficiales, subterráneos y no convencionales precisa combinar cantidades y calidades de agua de una y otra procedencia, en una proporción variable, según la época y características del ciclo hidrológico anual o hiperanual.

El estado que presenta cada uno de los elementos del sistema al cabo de un cierto período de tiempo, así como su respuesta a las solicitudes 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: acuíferos 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”.

Hasta hace muy poco tiempo los modelos de gestión hídrica que pretendían incluir a los acuíferos se encontraban limitados por una enorme complejidad matemática lo que provocaba que la operatividad del uso conjunto, en el ámbito de la planificación hidrológica, estuviera condicionada por la necesidad de incorporar una herramienta informática capaz de analizar y simular conjuntamente el complejo comportamiento de acuíferos, infraestructura hidráulica de tipo superficial y recursos hídricos 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, por lo que en estos momentos no existe ninguna razón de índole técnico que impida aplicar y elaborar, para cada una de las cuencas hidrográficas y sistemas de explotación del estado español, un modelo de simulación que contemple las aguas superficiales, las subterráneas y los recursos no convencionales.

MODELOS MATEMÁTICOS DE USO CONJUNTO

En relación con el uso conjunto cabe indicar que durante la década de 1980 la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH), a través del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), junto con la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, impulsaron, desarrollaron o promovieron sus propios modelos matemáticos de gestión conjunta que, en el caso de la DGOH, se denominaron USOCON y COGERE, y COMBI y GESTO en los diseñados por el IGME. Aunque tanto el SGOP como el IGME abandonaron a mediados de la década de 1980 esta línea de investigación, la Universidad Politécnica de Valencia tomó el testigo del SGOP y diseñó un paquete informático que denominó AQUATOOL que incluye tres módulos: OPTIGES, SIMGES y AQUIVAL. Los dos primeros permiten realizar la optimización y simulación global de un sistema de recursos hídricos siempre que el comportamiento de los acuíferos no se tenga que caracterizar mediante modelos complejos de parámetros distribuidos. Cuando esto ocurre, para que los resultados tengan una cierta garantía, es preciso emplear el tercer módulo.

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 mismos. Como componentes esenciales del mismo se citan y describen los siguientes:

- Aportaciones: corresponden a las entradas de agua al sistema. Este elemento caracteriza el origen del agua.
- Demandas: afectan el destino del agua e identifican las zonas del sistema donde se utiliza, 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 período de tiempo.
- Retornos: conciernen a los reintegros del agua procedentes de la fracción de la demanda que no es consumida.
- Embalses superficiales y subterráneos (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.
- Recarga artificial: es un elemento del sistema de recursos hídricos que permite, 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.

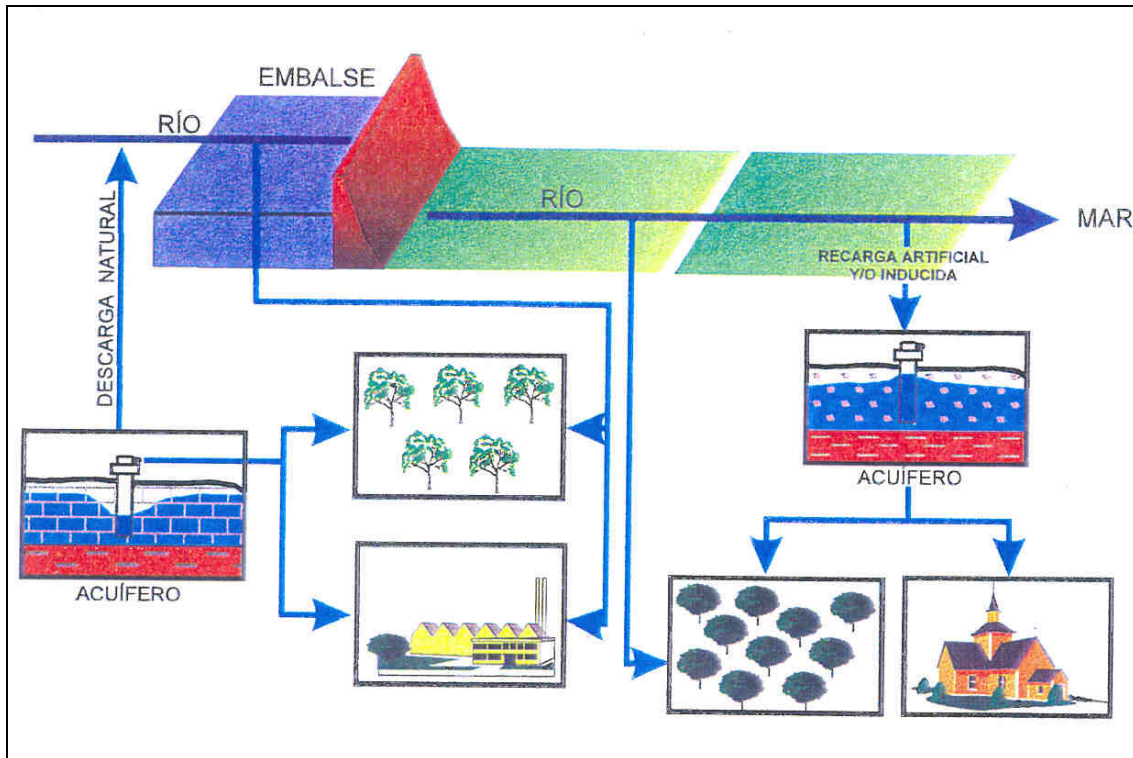


Figura 3. Esquema tipo de uso conjunto.

Aunque de un esquema de recursos hídricos a otro pueden existir pequeñas diferencias, debido a particularidades específicas, los trabajos que se han de realizar a lo largo de la modelación comprenden las siguientes actuaciones básicas:

- Recopilación, análisis y tratamiento de datos existentes sobre climatología e hidrología.
- Identificación, descripción y definición de la infraestructura hidráulica existente y prevista, que incluye embalses, acuíferos, conducciones principales, capacidad de extracción de aguas subterráneas, plantas de tratamiento de aguas residuales, desaladoras, etc.
- Descripción y definición de los elementos de la demanda al nivel de desagregación

correspondiente al esquema topológico previamente diseñado. En este sentido se determinará 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 constituye el objetivo principal y 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.

El paquete informático AQUATOOL es el más aplicado y utilizado en la actualidad en España. No obstante hay cuencas como la del Ebro que prefieren emplear en sus estudios de uso conjunto programas diseñados para la optimización de recursos superficiales como es el SIM-V. En este modelo los acuíferos se tratan como embalses, aunque los resultados que se obtienen se complementan mediante la realización de un modelo de flujo de parámetros distribuidos. Recientemente el Danish Hydrologic Institute ha desarrollado un sistema de modelación para la planificación y gestión de cuencas que ha llamado MIKE BASIN. El programa ha sido desarrollado en el lenguaje de programación orientado a objetos C++ y utiliza una interfase gráfica que lo vincula con un ambiente GIS de ArcView. El modelo sigue el esquema clásico de los modelos de uso conjunto y utiliza una red de ramas y nodos para representar a los ríos e intervenciones sobre el recurso (embalse, desvío del río, toma/descarga). Los acuíferos los trata mediante modelos simples que permiten contemplar recarga al acuífero por distintos conceptos (lluvia, retornos, pérdidas), recarga del río al acuífero y descarga del acuífero al río. Los dos primeros conceptos han de ser especificados por el usuario a través de series temporales, mientras que el tercero lo proporciona el modelo. Otra novedad que presenta el programa es que permite representar cambios en la calidad

del agua superficial y subterránea a partir de un modelo conceptual de mezcla.

La utilización de los códigos aquí expuestos, como elementos de apoyo en la planificación de la gestión conjunta de los recursos hídricos, exige, dada la actual situación hídrica, que es francamente preocupante en lo que se refiere a la sostenibilidad de numerosos ecosistemas hídricos, que se complementa con un aparato informático que aborde el cálculo de los caudales ecológicos y otros problemas ambientales dentro de un contexto que contemple la gestión integral de los recursos hídricos.

Por otro lado la Directiva Marco del Agua (DMA) requiere analizar los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y del propio recurso, por lo que es preciso disponer de módulos que contemplen los aspectos económicos dentro del contexto de la gestión integrada.

A este respecto el *Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente y la Universidad Politécnica de Valencia* han propuesto una metodología y unas herramientas para estimar de forma sistemática en un sistema de recursos hídricos el coste de oportunidad del recurso, así como el relativo a las medidas de gestión necesarias para lograr los objetivos ambientales.

En este sentido consideran que el empleo de lo que ellos llaman modelos de simulación / optimización hidrológico-económicos es imprescindible para considerar la cuenca de forma integral, preservar las interrelaciones entre los distintos elementos que la componen, y considerar la variabilidad espacio-temporal de

la disponibilidad de los recursos superficiales y subterráneos y de los requerimientos y disposición de pago de los usos del sistema. En opinión de este equipo de trabajo cualquier otro procedimiento que aborde las distintas fuentes

de suministro y las demandas de forma aislada constituye un sistema de valoración erróneo e inaceptable desde el momento que se dispone de una herramienta capaz de realizar un análisis más riguroso.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO UN ELEMENTO MÁS DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Las aguas subterráneas en la gestión conjunta se aprovechan en los momentos y lugares donde la planificación hídrica lo aconseja. Para lograr este objetivo es preciso actuar sobre los distintos elementos que conforman el sistema de recursos hídricos según diversas modalidades que se especifican a continuación:

- **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 al cabo de un cierto tiempo relativamente corto un ligero superávit en el balance hídrico.

- **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 época 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.

- **Utilización del embalse subterráneo como elemento de almacenamiento terminal.**

En esta modalidad 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.

Las grandes realizaciones americanas del sur de California y Arizona hacen uso de esta metodología para gestionar, en coordinación con los elementos superficiales (embalses, depósitos, canales y tuberías), importantes volúmenes de agua procedentes del transvase del río Colorado. Un esquema similar, aunque manejando un volumen de agua considerablemente inferior, se emplea

también en Israel para integrar los acuíferos Costero y Montaña con las aguas procedentes del lago Kinneret.

La aplicación de esta tipología de uso conjunto podría tener una especial incidencia en la recuperación y gestión sostenible de los acuíferos sobreexplotados o salinizados de la cuenca del Segura y de las provincias de Alicante y Almería.

- **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.

En la provincia de Alicante existen numerosos ejemplos de regulación de manantiales para adaptar sus aportaciones a las demandas. Así, se encuentran totalmente regulados desde el año 1979 los manantiales del Molinar y Barxell, para abastecimiento a Alcoy, cuyos caudales medios en régimen natural eran de 180 l/s

y 90 l/s, respectivamente. También lo está el de La Alberca, drenaje del acuífero Solana de la Llosa. Entre otros manantiales significativos con regulación parcial, pueden citarse los de La Bolata y La Cava, principal salida del acuífero de Mediodía. Las Fuentes del Algar, surgencia del acuífero Carrascal-Ferrer; los de Polop y La Nucía, pertenecientes al acuífero Beniardá-Polop, o la Font Major de Penáguila.



Figura 4. Regulación de manantiales mediante sondeos.

- **Recarga artificial de acuíferos.**

La recarga artificial es una herramienta de la gestión hídrica planificada en la que aguas superficiales ocasionales, sobrantes o especialmente destinadas a este fin 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.

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 convencionales.

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.

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.

La recarga artificial de acuíferos constituye una modalidad de 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.

- **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 ausencia de rentabilidad económica en algún 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.

A este respecto cabe indicar que en países como Austria y Hungría se utiliza la tecnología de la recarga inducida para complementar el abastecimiento de ciudades como Viena (30 hm³/a) y Budapest (180 hm³/a). La metodología que se emplea contempla la construcción de pozos y el bombeo de agua en las proximidades del río Danubio. Esta forma de operar da lugar a una captación inducida del agua del Danubio que se depura mediante filtrado al atravesar el terreno existente entre la orilla del río y el pozo de bombeo.

- **Utilización del embalse subterráneo 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.

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

La gestión del 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.

Algunas de las experiencias más notorias que se han realizado en los países de nuestro entorno europeo se sintetizan a continuación:

Finlandia: En la actualidad dispone de 28 plantas de recarga artificial de este tipo, 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%.

Suecia: Existen varios sistemas de abastecimiento situados en Ekerö, Eskilstuna, Gävle, Uppsala y Estocolmo que utilizan la recarga artificial como elemento de filtración y tratamiento. 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.

Alemania: En este país el agua subterránea aporta 3.100 hm³/a al

abastecimiento urbano. Esta cantidad representa el 63,5% del total destinado a tal fin. De esos 3.100 hm³/a, aproximadamente 520 hm³/a se proporcionan mediante recarga artificial.

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

Holanda: La ciudad de Ámsterdam se abastece en un 65% con agua cuyo origen proviene de la recarga artificial. Las instalaciones de recarga se sitúan en una zona de dunas situada en Zandvoort a unos 30 km al norte de la ciudad. El agua del río Rhin, que constituye la fuente para la recarga, se transporte desde una distancia de unos 55 km.

USO CONJUNTO, CAUDALES ECOLÓGICOS Y MEDIOAMBIENTE.

Según una encuesta de la Comisión Europea, realizada para conocer la percepción del denominado desarrollo sostenible y las preocupaciones medio ambientales de los ciudadanos europeos, se pone de manifiesto que las cuestiones medioambientales preocupan al 67% de sus habitantes. Este porcentaje se emplaza por encima de la inquietud que exponen dichos ciudadanos por otros factores como los económicos (61%) y sociales (59%). Los resultados que obtiene la encuesta para España muestran un grado de preocupación muy similar (66%, 64% y 65% respectivamente) para los tres factores anteriormente citados.

En dicho trabajo se pone de manifiesto que el uso inadecuado de los recursos naturales – este concepto incluye el factor agua– constituye el principal problema medioambiental para 86% de los europeos. La encuesta también concreta que un 40% de los ciudadanos, que han sido entrevistados, muestra preocupación por la calidad del agua que brota de los manantiales, circula por ríos y acuíferos o se encuentra embalsada en lagos y humedales. Esos mismos ciudadanos valoran como insuficientes las actuaciones medioambientales que llevan a cabo las autoridades públicas de su país (el 56% de los europeos y 59% de los españoles no están de acuerdo con las mismas). Resultados similares

se han obtenido en las encuestas que ha realizado la Junta de Andalucía, donde se ha puesto de manifiesto que los andaluces, tras los incendios forestales, sitúan como problemas medioambientales más preocupantes la escasez y contaminación del agua, así como la pérdida de paisaje y parajes naturales que esto puede ocasionar.

Las aguas subterráneas no escapan a este creciente interés conservacionista y su explotación ha sido causa de conflicto y polémica medioambiental desde prácticamente el mismo día en que fue promulgada la Ley de Aguas de 1985. A este respecto cabe indicar que existen opiniones encontradas, que abarcan desde voces alarmistas que propugnan la existencia de un uso insostenible e inadecuado del recurso agua, para la mayor parte de los acuíferos del Estado español, hasta otras que defienden todavía conceptos trasnochados como la minería del agua.

Entre estos escenarios extremos se localiza un universo de situaciones muy diversas. La mayor parte de las mismas extraordinariamente positivas, aunque existen algunos acuíferos, que mayoritariamente se localizan en el sudeste peninsular y áreas insulares, donde no se ha sabido o no se ha podido realizar, por imperativos legales y administrativos más que técnicos, una utilización racional y apropiada de la fase subterránea del recurso agua. Esta falta de gestión o esta mala gestión, y no la explotación *sensu stricto* de un acuífero, es la causa que provoca la generación de impactos negativo sobre el medio ambiente.

El anterior modelo conceptual puede ser válido aún en el caso de un acuífero cuyo caudal de bombeo es desde hace muchos años muy superior a su recarga. Para ello, como en

cualquier otro sistema hídrico, sólo se precisa que se tomen las medidas adecuadas para que se respeten las pautas ecológicas que mantienen y dan estabilidad a los procesos vitales. Es decir, se cuantifiquen y fijen, espacial y temporalmente, unos caudales circulantes mínimos capaces de mantener los ecosistemas de las diferentes áreas hídricas que se ven afectadas por una determinada explotación del recurso agua.

La determinación de este caudal ecológico y su distribución cronoespacial se encuentra condicionada por la elección de la metodología de cálculo. Ésta se puede fundamentar sólo en principios meramente hidrológicos, que nada o poco tienen que ver con la ecología, o bien aplicar diferentes criterios que conjuguen el análisis de los regímenes de los caudales históricos y el empleo de técnicas que tengan en consideración la variación del hábitat con los caudales circulantes. La primera de estas opciones, con los resultados que ya se conocen, corresponde a la sistemática que normalmente se ha venido aplicando en España por las Confederaciones Hidrográficas y otros Órganos de Cuenca. La segunda, que se recoge en Libro Blanco del Agua, se utiliza con profusión en Norteamérica y ha sido adaptada a los ríos de Francia y el Reino Unido.

En consonancia con la filosofía que preside la gestión integral de los recursos hídricos es preciso indicar que el caudal ecológico se puede operar y suministrar indistintamente a partir de embalses de superficie, captaciones de agua subterránea o instalaciones de recursos no convencionales. Esto se puede hacer independientemente de que el destino final sea un río, un acuífero que alimenta uno o varios manantiales o un humedal, por lo que existe la

posibilidad de actuar sobre este factor desde una perspectiva conjunta al igual que ocurre con cualquier otro elemento de un sistema de recursos hídricos. A título ilustrativo cabe citar, como teóricamente factible, proceder, cuando lo requiera el caso, a:

1. Plantear bombeos de agua en un acuífero encaminados a sustentar el caudal ecológico que debe circular por un río, se aprovechen estos o no en usos consultivos aguas abajo del punto donde se realiza la operación de vertido al cauce.
2. Tomar agua en un embalse, para recargarla artificialmente en un acuífero, con el fin de asegurar una descarga mínima de agua a través de un determinado manantial o en un tramo específico del curso de un río.
3. Emplear agua residual tratada para mantener una cota mínima en la lámina de agua de un determinado humedal.

A modo de síntesis se puede concretar, en lo que respecta a los recursos subterráneos, que no resulta siempre correcto vincular lo que a menudo es una incierta e improbable sobreexplotación de un acuífero al deterioro medioambiental, aunque dicho término se emplee con excesiva frecuencia y profusión para expresar esa idea. Especialmente hay que hacer hincapié en que el término sobreexplotación lleva aparejado un cierto confusiónismo conceptual, un intencionado matiz peyorativo, una desvirtualización de su primera significación, que quizás era demasiado inocente, y, en algunos casos, un cierto interés por elaborar una lista interminable de acuíferos sobreexplotados en función de una recarga mal conocida y un seguimiento de las explotaciones todavía peor

realizado. En este sentido es menester matizar que sólo en aquellos lugares donde existe un deterioro medioambiental, provocado por una mala gestión de las aguas subterráneas en conjunción con un mal aprovechamiento del resto de fuentes de recursos hídricos, se puede hablar de acuíferos sobreexplotados. Asimismo es primordial, por lo que se refiere a los acuíferos y a su correcta gestión, concebir el caudal ecológico tanto bajo un aspecto de mantenimiento como de recuperación.

III CONCEPTOS LEGALES Y ECONÓMICOS

BASES LEGALES Y ADMINISTRATIVAS

En el diseño e implantación de un determinado esquema de utilización conjunta también intervienen factores de índole legislativa por lo que en cada caso se necesitará un estudio legal adecuado que evidencie la posibilidad de llevarlo a cabo. En este apartado se presenta un estudio somero de la Ley de Aguas y de los Reglamentos que la desarrollan en todos aquellos aspectos que se relacionan con el uso conjunto.

La normativa legal que ampara el aprovechamiento de los recursos hídricos en España está constituida en la actualidad por una amplia diversidad de textos legales, entre los cuales hay que destacar los siguientes:

- El texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) (Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio, publicado en el BOE del 24 de julio de 2001).
- La Ley del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001 de 5 de julio, publicada en el BOE del 6 de julio de 2001), modificada parcialmente por el Real Decreto Ley 2/2004 de 18 de junio, publicado en el BOE de 19 de junio de 2004).
- La Directiva Europea 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, conocida como Directiva Marco del Agua, aprobada el 23 de octubre de 2000.
- Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos I, IV, V, VI y VII de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril (BOE del 30 de abril), posteriormente modificado por el Real Decreto 606/2003 de 23 de marzo (BOE del 6 de junio).
- Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, que desarrolla los títulos II y III de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto 927/1988 de 29 de julio (BOE de 31 de agosto).
- Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca para todas las cuencas intercomunitarias y las cuencas intracomunitarias de Cataluña; Real Decreto 378/2001 de 6 de abril por el que se aprueba el Plan Hidrológico de las Islas Baleares; Real Decreto 103/2003 de 24 de enero por el que se aprueba el Plan Hidrológico de Galicia-costa; así como los decretos que aprueban los planes insulares en Canarias.
- A nivel autonómico, existe legislación que han desarrollado algunas Comunidades Autónomas sobre abastecimiento, depuración, saneamiento y gestión del agua, dentro de sus respectivas competencias. Por otra parte, la legislación sobre las

aguas minerales, termales y minero-medicinales compete exclusivamente a las Comunidades Autónomas, en las cuales se aplicará la legislación específica, si existe, y, en su defecto, la Ley estatal de Minas (Ley 22/0973 de 21 de julio)

La nueva legislación en materia de aguas surgida de la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, ha supuesto un cambio radical en la concepción del recurso hídrico, así como en la utilización o aprovechamiento del mismo. El cambio más importante sin duda es el establecimiento de una nueva titularidad del recurso hídrico, en el cual se incluyen las aguas subterráneas, el cual pasa a ser de dominio público, superando la concepción anterior bajo la cual las aguas subterráneas eran propiedad del dueño del predio en el cual se alumbraban. No obstante, se establecen una serie de condiciones transitorias para las mismas, otorgándoles el mismo régimen de aprovechamiento anterior por un período de tiempo de 75 años, siempre que se cumplan las condiciones de inscripción de los aprovechamientos que se establecen en las disposiciones transitorias de la Ley.

Los principios básicos que informan la gestión en materia de aguas se encuentran recogidos en el art. 14 del TRLA, y pueden resumirse de la siguiente manera:

- Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios.

- Respeto a la unidad de la cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico.
- Compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza.

Como puede observarse, el primero de estos principios rectores está íntimamente ligado con la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas, conocida como uso conjunto, el cual es el objetivo de la presente publicación.

La Ley otorga las competencias sobre la administración y planificación hidráulicas a los organismos de cuenca, conocidos como Confederaciones Hidrográficas, dependientes del Ministerio de Medio Ambiente, y, por tanto, de la Administración General del Estado. Entre las funciones de los mismos está la de otorgar y controlar los permisos de aprovechamiento de aguas, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley. Hay que señalar, sin embargo que, en virtud de la configuración territorial de España como Estado de las Autonomías, y del reparto competencial que establece tanto la Constitución española como la propia Ley de Aguas en su art. 21, existen casos en los cuales estas funciones las ejerce la Comunidad Autónoma correspondiente: son aquellos en los cuales la extensión territorial de la cuenca hidrográfica se encuentra enteramente incluida dentro del territorio administrativo de la Comunidad Autónoma. Actualmente, en nuestro país, este caso ocurre con las Administraciones Hidráulicas de Cataluña, Canarias (que dispone de su propia Ley de Aguas, la ley 12/1990 de 26

de julio), Baleares y Galicia, a las cuales se ha añadido en los últimos meses la Comunidad de Andalucía, que ha asumido la gestión de la Confederación Hidrográfica del Sur.

La provincia de Alicante, a efectos de la Administración Hidráulica, se encuentra bajo la jurisdicción de dos Confederaciones diferentes: la del Júcar y la del Segura. Por tanto, las actuaciones hidráulicas dentro de la misma deberán respetar la normativa contenida en los dos respectivos Planes Hidrológicos de cuenca.

El diseño e implantación de esquemas de uso conjunto en nuestro país, como técnica dirigida a optimizar la gestión del aprovechamiento de los recursos hídricos, está sujeto a la legislación referida anteriormente. Es a la vista de todas estas disposiciones normativas, donde debe encajarse el uso conjunto, en cuanto a sus aspectos normativos.

Es evidente que la utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos está claramente amparada, e incluso fomentada, y hasta en ocasiones obligada, por el TRLA. En efecto, según el art. 14 de dicho texto, uno de los principios rectores de la gestión en materia de aguas es el respeto a la unicidad del ciclo hídrico, que implica la no separación entre la fase superficial y la subterránea, y que se ve apoyado en los principios de unidad de gestión y tratamiento integral de los recursos, lo cual implica claramente una apuesta por la utilización conjunta de los recursos superficiales y los subterráneos.

La utilización conjunta es además un instrumento muy útil en la planificación hidrológica. De hecho, los objetivos de esta

técnica coinciden básicamente con los de la planificación, que están establecidos en el artículo 40 del TRLA, que establece que “La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus recursos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales”.

El uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas permite fundamentalmente optimizar la gestión de los recursos hídricos, integrando en los esquemas de explotación diferentes fuentes de agua con el fin de hacer frente a la demanda existente. Asimismo, la utilización de las técnicas del uso conjunto permiten hacer frente a situaciones hídricas de excepcionalidad, como pueden ser las sequías u otros fenómenos hídricos extremos.

La Planificación Hidrológica se realizará mediante los Planes de Cuenca. En la actualidad, todos los planes de las grandes cuencas intercomunitarias españolas se encuentran aprobados y vigentes. Cada Plan Hidrológico de cuenca debe contener una serie de puntos a que obliga el TRLA, alguno de los cuales, como los que enumera el art. 42 letras b (usos y demandas), c (criterios de prioridad de usos), g (perímetros de protección y medidas de conservación), i (recarga artificial) están íntimamente relacionado con el uso conjunto, y a veces son los objetivos que se persiguen con la implantación de esquemas de uso conjunto.

El Plan Hidrológico Nacional, en su artículo 27, obliga a los distintos Organismos de cuenca a elaborar planes de gestión de las sequías, que, como ya se ha indicado, en la práctica son planes de utilización conjunta de los recursos superficiales y subterráneos.

También el Plan Hidrológico del Júcar, en su art. 4.c. otorga prioridad, en el caso de solicitud de nuevas concesiones de agua, a aquellas que se basen en una “explotación conjunta y coordinada de todos los recursos disponibles, incluyendo las aguas residuales depuradas y las experiencias de recarga de acuíferos”. Este texto incluye a las aguas residuales depuradas como un recurso hídrico más que puede incluirse dentro de la planificación. Por otra parte, otorga importancia también a las experiencias de recarga artificial de acuíferos, que puede considerarse una técnica específica dentro del uso conjunto, de la cual existen en la provincia de Alicante ejemplos muy interesantes y exitosos de su aplicación.

El Plan Hidrológico de la cuenca del Segura establece, en su art. 8 que, para establecer la prioridad entre aprovechamientos se atenderá a la forma cómo sea satisfecha la secuencia óptima del aprovechamiento, determinada éste mediante el modelo de simulación de gestión de los recursos, lo cual implica la elaboración de modelos de optimización de la gestión, o de uso conjunto.

Dentro de los esquemas de uso conjunto que pudieran implantarse, en aquellos en los que fuere necesario disponer de nuevos recursos de agua para su correcto funcionamiento, hay que tener en cuenta que, en todo lo que se refiere a la concesión de nuevos aprovechamientos de

agua, habrá que tener en consideración lo que dispone el art. 59 del TRLA.

Cuando la implantación de proyectos de utilización conjunta haya sido aprobada por la correspondiente Confederación Hidrográfica o autoridad hídrica, y para su puesta en funcionamiento necesite del establecimiento de servidumbres legales, la regulación de las mismas está desarrollada en el Título IV, Capítulo I del TRLA, en concreto en el art. 48, apartados 1 y 2.

Dentro del uso conjunto existe una técnica, conocida como recarga artificial de acuíferos, que en la provincia de Alicante ha tenido un desarrollo muy significativo debido fundamentalmente al interés y apoyo por parte de la Diputación Provincial de Alicante. La utilización de esta técnica está condicionada, como es natural, por la normativa que en materia de aguas esté vigente en cada momento. En la actualidad, a la vista del TRLA hoy vigente, cabe distinguir dos supuestos:

a) Si la recarga artificial se realiza a iniciativa privada, sería un supuesto de uso privativo de las aguas, y por tanto, la disposición de los caudales necesarios estaría sometida al régimen de concesión administrativa (art. 59 TRLA).

b) Por el contrario, si la recarga artificial se realiza dentro de las actividades de investigación de la Administración Pública, o dentro de los objetivos marcados en la planificación Hidrológica, solamente será necesaria una autorización especial extendida a favor de la Administración Pública de que se trate, sin perjuicio de terceros (art. 59.5 TRLA).

La recarga artificial está contemplada como un instrumento de gestión en la Ley de Aguas y como tal está recogida en el artículo 42, en el que se establece que “los Planes Hidrológicos comprenderán obligatoriamente: i) Las directrices de recarga y protección de acuíferos”.

El R.D. 927/88, que aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RAPAPH), en desarrollo de los títulos II y III de la ley de Aguas, precisa lo siguiente:

Art. 84.1.- El Plan Hidrológico podrá incluir las áreas de posible recarga artificial de acuíferos, para las que se detallarán el objetivo de la recarga, así como la procedencia, cuantía y calidad de los recursos aplicados ...

Art. 84.3.- Se determinan también los criterios básicos para la protección de las aguas subterráneas frente a la intrusión salina u otras causas de deterioro. Dentro de estos criterios podrían incluirse proyectos de recarga artificial de acuíferos. Es por tanto en la Planificación Hidrológica, en donde se deberán reflejar las posibles actuaciones a nivel general de recarga artificial de acuíferos.

La recarga artificial debe considerarse, a los efectos de la legislación en materia de aguas, como un vertido, según lo que establece el art. 100.1 del TRLA. Por ello, está sujeta al régimen de concesiones de autorizaciones de vertido que establece el Título V, capítulo II del TRLA, en especial en lo relativo a la posible afección a las aguas subterráneas, en cuyo caso es preceptivo un informe hidrogeológico previo que

demuestre la inocuidad de la recarga (art. 102 TRLA)

De igual manera, la recarga artificial está sujeta al régimen económico-financiero de la utilización del dominio público hidráulico que establece el título VI del citado texto, en lo que se refiere al pago de los correspondientes cánones:

- Canon de utilización de los bienes del dominio público hidráulico (art, 112).
- Canon de vertido.
- Canon de regulación y tarifa de utilización del agua. Se aplicarán en el caso de que las obras de recarga sean financiadas por la Administración pública, y afectarán a los beneficiarios de las mismas.

Como la utilización conjunta de los recursos superficiales y subterráneos, para satisfacer las demandas existentes en una zona, precisa de la cesión de intereses particulares al general de la zona, ya que los recursos disponibles deben ser tratados conjuntamente, la Ley determina cómo y en qué circunstancias se prevé la constitución de las mismas. Así el artículo 73 de la LA y el 198 del RT-II a VII señalan:

“Los usuarios del agua y otros bienes del dominio público hidráulico de una misma zona o concesión deberán constituirse en comunidades de usuarios (...).

Los Estatutos u Ordenanzas se redactarán y aprobarán por los propios usuarios y deberán ser

sometidos para su aprobación administrativa, al Organismo de cuenca.

Los Estatutos u Ordenanzas regularán la organización de las comunidades de usuarios, así como la explotación en régimen de autonomía interna de los bienes hidráulicos inherentes al aprovechamiento”.

“El Organismo de cuenca podrá obligar a la constitución de comunidades que tengan por objeto el aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas, cuando así lo aconseje la mejor utilización de los recursos de la misma zona”.

Por otro lado cabe indicar que la unicidad del ciclo hídrico considera como públicas todas las aguas, independientemente de su procedencia, pero mantiene los títulos de propiedad anteriores a la promulgación de la citada LA. Esto, a su vez, origina cierta complejidad, ya que unas son privadas y otras responde a una concesión administrativa que se otorga durante un tiempo determinado.

También es menester indicar que la utilización compartida de un recurso puede conllevar a una dejación de “derechos” individuales adquiridos por los distintos usuarios sobre suministros específicos, a favor de las denominadas comunidades de usuarios.

La Ley de Aguas da, por tanto, una base jurídica para que, en determinadas circunstancias, se plantee la conveniencia de crear comunidades de usuarios para posibilitar la utilización racional de los distintos recursos de agua disponibles, de modo que se consiga una mejora global de la garantía de suministro a

las distintas demandas existentes, todo ello de acuerdo con los objetivos que persigue la planificación hidrológica y que en esas circunstancias coinciden con los que pretende la utilización conjunta.

De todos modos, lo que sería deseable es que fueran los propios usuarios los que constataran las ventajas de crear las comunidades de usuarios y de aplicar la utilización conjunta de los recursos hídricos. De esta forma el proceso a realizar sería una necesidad surgida de abajo hacia arriba en la que los usuarios solicitarían a las distintas administraciones las ayudas y asesoramientos necesarios para implantar un método racional de explotación de los recursos hídricos.

En la actualidad y a escala internacional existe consenso respecto a la creciente necesidad de hacer reformas de cierta entidad en las leyes y políticas hidráulicas, así como en la forma de administrar el recurso agua, para poder afrontar los problemas de escasez, conflictos sociales y medioambientales que se plantean en el mundo.

Por lo que respecta a España se es partícipe de que existe un desfase legal y administrativo, que afecta especialmente a las aguas subterráneas, que está provocado por la vigencia de leyes y articulados imperantes, que pudieron ser efectivos en un pasado relativamente reciente, pero que actualmente se encuentran totalmente desfasados y obsoletos, por lo que no permiten la aplicación y puesta en funcionamiento de programas de gestión integral de recursos hídricos dirigidos a lograr un aprovechamiento hídrico sostenible y compatible con el medio ambiente.

En este sentido es necesario que ciertas leyes o articulados se modifiquen, cambien o adapten lo más rápidamente posible a las nuevas demandas de la sociedad, especialmente las de tipo ecológico. En relación con este último aspecto algún autor señala que la preocupación por los afectos medioambientales es apenas testimonial en la Ley de Aguas de 1985 y no mejora ni apreciable ni significativamente en el Texto Refundido.

Esta reforma, que precisa con urgencia el contexto legal en materia de agua del Estado español, permitiría la ejecución y puesta en funcionamiento de proyectos de recarga artificial de acuíferos o de gestión conjunta de aguas superficiales, subterráneas y recursos no convencionales que en estos momentos resultan totalmente inviables o de muy difícil realización.

Asimismo es necesario que la situación del inventario y registro/catálogo de aguas subterráneas, que a juicio de diferentes expertos es todavía muy deficiente y colapsa el inicio de una gestión adecuada de las aguas subterráneas, se resuelva lo más rápidamente posible.

A título de ejemplo se apunta la dificultad que supone en la gestión del agua lo que algún autor llama doble situación jurídica de las aguas subterráneas. Este escenario proporciona que actualmente el 80% del agua subterránea siga siendo de titularidad privada. Este hecho dificulta la aplicación de un programa de recarga artificial a escala nacional o de un cierto acuífero, ya que la puesta en funcionamiento de este tipo de operaciones supondría el almacenamiento de un agua pública (el agua de recarga) en un lugar (acuífero) donde la mayor parte del agua (agua subterránea) es privada.

Algo semejante sucede cuando se quieren aplicar otros esquemas de gestión conjunta, como el denominado de uso alternativo, donde se precisa, según la tipología climática del año en curso, que usuarios de aguas públicas superficiales den parte de sus aguas, en las épocas húmedas, a usuarios de aguas subterráneas, que son mayoritariamente privadas, a cambio de que estos últimos, cuando la climatología sea adversa, cedan parte de las suyas a los primeros. Este esquema, que aparentemente goza de una extraordinaria sencillez, presenta una enorme dificultad de aplicación práctica debido a intereses particulares de los usuarios, más o menos justificables, y de propiedad privada de una parte del agua subterránea.

Por último hacer hincapié en la enorme complejidad legal y administrativa que implica la recuperación de un acuífero sobreexplotado y la de los caudales ecológicos asociados al mismo mediante introducción en dicho embalse subterráneo de agua pública, a través de la aplicación de la tecnología de la recarga artificial, con el objeto de restituir los niveles piezométricos iniciales y restaurar el entorno ecológico de unos manantiales que se habían secado, puesto que el agua que se está introduciendo, que es pública, se almacena en un lugar donde una serie de usuarios detentan unos derechos de uso, legalmente concedidos, que pueden ser muy superiores a la recarga natural del acuífero.

Todas las situaciones expuestas anteriormente se pueden ver agravadas por los usos no regularizados del agua que precisan de una solución urgente, ya que se encuentran muy extendidos sobre muchos acuíferos de España. Especialmente significativo es el aumento que

se ha detectado últimamente de esta problemática en Andalucía.

Evidentemente el uso conjunto de aguas superficiales, subterráneas y recursos no convencionales, incluyendo o no recarga artificial, y su afección más amplia que es la gestión integral de recursos hídricos, no son posibles sin el apoyo y participación de las Comunidades de Usuarios, por lo que éstas deben de incorporarse a la gestión del agua lo más rápidamente posible, aunque esto no es un problema únicamente de la administración hidráulica española, que está deseosa de que dicho suceso se produzca, sino también de los propios usuarios, especialmente de aquellos que tienen que ver con las aguas subterráneas, ya que hay muchos que son reacios a formar parte de este tipo de asociación o a renunciar a ciertos derechos. En este sentido es preciso explicar y concienciar a los usuarios del agua que este tipo de asociación y lo que ello apareja beneficiará ampliamente a todos, pues permitirá poner en juego herramientas de gestión difíciles de implementar de otra forma.

La problemática que presenta la gestión del agua, especialmente la que hace referencia a las aguas subterráneas, es complicada y, para poder obtener soluciones viables, se precisa generar una cultura de pacto y de diálogo social, no sólo en el ámbito de los usuarios, sino también en las principales fuerzas políticas, que tiene que llegar a un acuerdo en las directrices fundamentales que han de presidir dicha gestión. Si no se procede de esta forma se puede desembocar en una situación caótica que agrave todavía más el problema del levante español, que ya presenta una situación medioambiental en algunos sitios prácticamente irreversible.

ASPECTOS ECONÓMICOS

No parece probable que un enfoque estricto de libre mercado sea capaz de compatibilizar, según los principios básicos que preside la denominada gestión integral de recursos hídricos, cuestiones tales como equidad social y protección ambiental con privatización del agua. Por otro lado tampoco se juzga viable, a partir de la experiencia acumulada a lo largo de todo el siglo XX, que una economía totalmente intervenida sea capaz de compaginar, bajo la premisa de una estatalización total del recurso agua, el concepto de creación de riqueza con la armonización de la igualdad social y la salvaguardia del medio ambiente.

En contrapartida a estas dos alternativas cabe la posibilidad de considerar un sistema mixto, donde ciertos factores o por lo menos algunos aspectos de los mismos se encuentren bajo el control de instituciones legales que los regulen. Esto implicaría que el agua o por lo menos un cierto porcentaje de la misma no se pueda contemplar como un bien estrictamente económico, ya que, por un lado, es necesario preservar aquella parte del recurso que se encuentra ligada a la conservación del medio ambiente y, por otro, reservar o utilizar otra parte del mismo para favorecer determinados usos sociales de especial interés. El resto, que tendría un valor económico

fluctuante en función de la demanda, participaría y se sometería a las fuerzas del mercado al objeto de aumentar la eficiencia de su uso. El orden jurídico español puede permitir este tipo de actuación siempre que se compatibilice con el concepto de dominio público hidráulico. Esto implicaría que el particular no actúe sobre un bien de su propiedad, sino sobre un derecho temporal de un aprovechamiento creado y otorgado por la Administración.

En este contexto, frente a la actual definición de caudal ecológico que se presenta como una restricción que se impone al aprovechamiento de un sistema de explotación, resulta primordial establecer un concepto legal e inequívoco de caudal ecológico, que permita identificar la finalidad, cuantía y objetivos del mismo, de acuerdo a la consideración de demanda prevalente frente a otros usos del agua, incluido el abastecimiento urbano, aunque dentro de éste cabría considerar excepciones y particularidades que lo priorizen en determinados casos y ocasiones, como pueden ser las épocas de extrema sequía. En cuanto a los usos sociales de especial interés cabe un tratamiento análogo al propuesto para el caudal ecológico, aunque con la salvedad de establecer sobre el mismo la prioridad de uso para abastecimiento urbano. Esta forma de proceder permitiría contemplar lo que algunos autores llaman "activo ecosocial" del valor económico del agua.

Una vez realizado esto se estará en condiciones de discernir –parafraseando a Antonio Machado cuando escribe “*Todo necio confunde valor y precio*” –entre el agua que goza de valor y es intocable, y la que tiene precio y es susceptible de comercialización. Sobre ésta última serían aplicables los conceptos de coste de uso y coste de oportunidad. El primero contempla el coste de construir y poner en operación la infraestructura necesaria para almacenar, transmitir y distribuir agua. El segundo se relaciona con los usos alternativos que puede tener el agua, por lo que hace referencia al coste que afecta o repercute en un determinado consumidor por que otro utiliza o pretende utilizar también el agua.

La utilización conjunta será una alternativa a considerar siempre que los beneficios que produzca, bien sean económicos o sociales, la justifique. Desde esta óptica, la valoración habrá que realizarla comparando los costes que origina la utilización del agua con los beneficios que produciría cada una de las alternativas de utilización de los recursos que podría plantearse.

El cálculo del coste del agua consumida, cuando ésta puede proceder de distintos suministros, como es el caso del uso conjunto, se realiza aplicando una metodología muy compleja que requiere un estudio pormenorizado de todos los factores y variables que intervienen en el proceso y que a su vez son función de las problemáticas particulares que se presentan en cada cuenca. Dado el carácter divulgativo de esta publicación se ha considerado más adecuado presentar una serie de factores que siempre será preciso tener en cuenta, mejor que un desarrollo detallado de

todos los estudios económicos que siempre habrá que realizar antes de decidir una alternativa de utilización conjunta de entre las distintas alternativas de suministro existentes.

Ante todo es preciso considerar el coste real, actualizado, de los distintos suministros existentes, en función de su posible tiempo de utilización. Para el cálculo hay que considerar que unos, por ejemplo los embalses, precisan inversiones y tiempos, antes del aprovechamiento del agua, que son muy importantes las primeras y muy dilatados los segundos, mientras que otros, por ejemplo las tomas directas a ríos (si son posibles) presentan inversiones y tiempos pequeñas y cortos, respectivamente. Por el contrario, en explotación, los primeros presentan gastos energéticos que suelen ser menores que los segundos.

Existen otras posibles fuentes de suministro, tales como las desaladoras, que se encuentran en una situación intermedia, e incluso otras, como la reutilización de aguas residuales en la que se añade un valor a un agua que previamente carecía de él, ya que se consideraba un residuo, al que había que añadir gastos de depuración.

Además del coste de inversión del agua procedente de distintas fuentes de suministro, es preciso considerar los costes de mantenimiento y los costes de explotación. Los primeros, en general, se pueden acotar aplicando factores que son proporcionales al coste total de construcción y que, lógicamente, son distintos para las distintas fuentes de suministro (embalses, desaladoras, sondeos, etc). Los costes de explotación son, fundamentalmente,

energéticos y de tratamiento de aguas en el supuesto de recarga artificial de acuíferos, por lo que la explotación de los recursos subterráneos, si conllevan recarga artificial, presentaría un gasto que podría ser la suma del coste de tratamiento más el de extracción propiamente dicho. Este último es función del caudal a extraer y de la profundidad a la que se localizaría el nivel dinámico de las perforaciones. Este coste puede variar si se demanda la energía en horas punta o en horas valle.

Los costes reales del agua hay que contrastarlos con los beneficios que se espera obtener de la utilización conjunta. Para

calcularlos hay que realizar, al menos, análisis microeconómicos, macroeconómicos e, incluso socioeconómicos, todo ello para distintas alternativas de utilización del agua (hidroeléctrica, industria, distintos tipos de cultivos en diferentes zonas, etc).

El proceso es, pues, complejo y precisa de la realización de modelos que permitan plantear con cierta flexibilidad distintas hipótesis de procedencia del agua y de empleo de la misma, con el fin de valorar si la utilización conjunta es económicamente ventajosa, y, en caso afirmativo, definir la alternativa más adecuada.

IV MODELO DE GESTIÓN DEL SISTEMA VINALOPÓ ALICANTÍ.

ALTO VINALOPÓ

El Alto Vinalopó

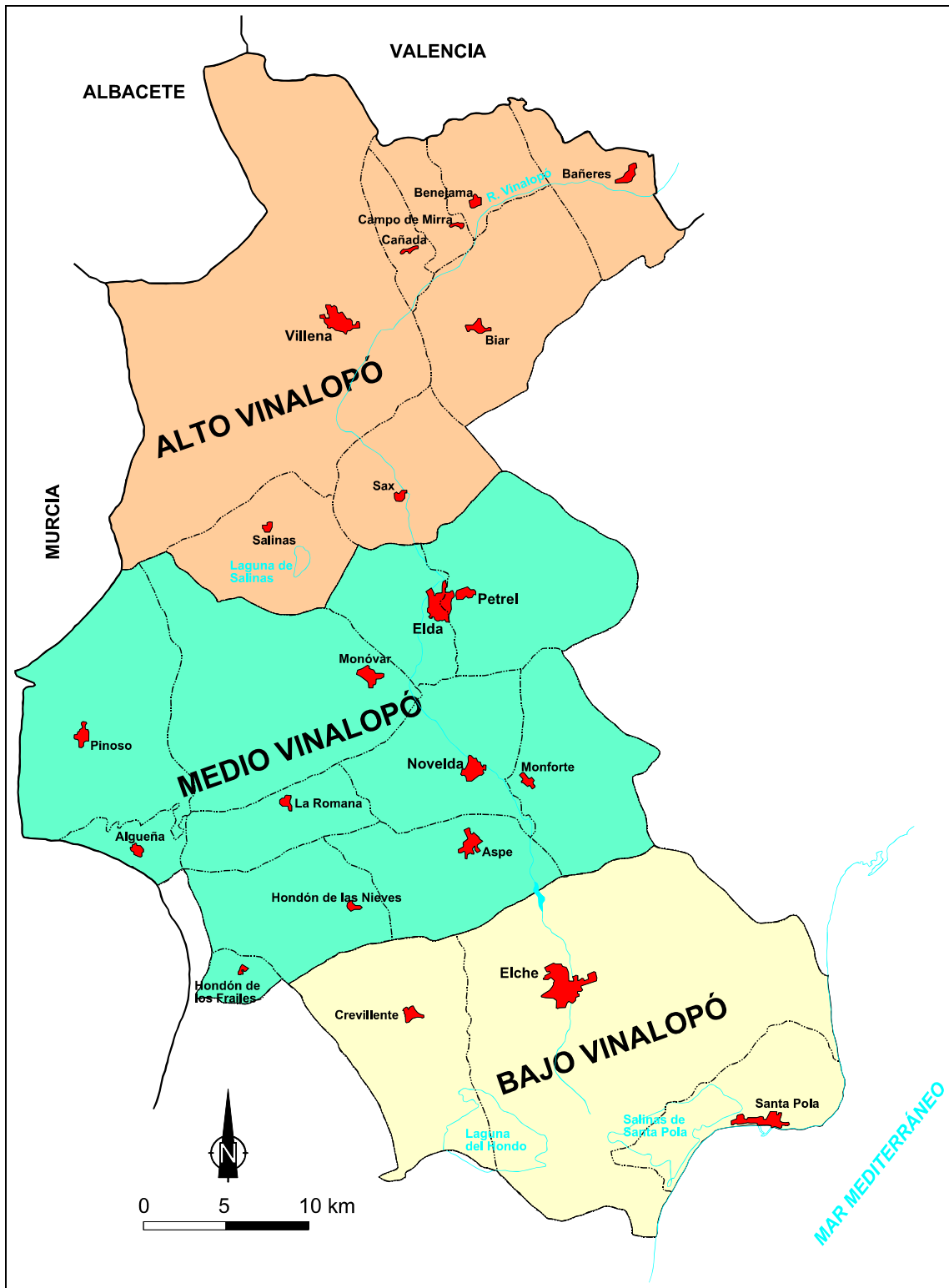
El Valle del Vinalopó, situado en su mayor parte en la provincia de Alicante, constituye el principal paso natural de comunicaciones entre la meseta castellana y la zona costera mediterránea del Levante español.

En ese sector se han diferenciado tres comarcas agrícolas diferenciadas por sus características geológicas y climáticas, Alto, Medio y Bajo Vinalopó. En el Medio y en el Bajo Vinalopó, con clima netamente mediterráneo, se han desarrollado cultivos especializados y rentables, mientras en el Alto Vinalopó el clima es mediterráneo continentalizado, con heladas, lo que ha originado la existencia de cultivos menos competitivos por ser esencialmente de temporada.

Por otra parte, las precipitaciones son escasas y muy irregulares, pero son más abundantes en el Alto Vinalopó que en el resto del Valle. Además, la menor deformación de las formaciones geológicas en el Alto Vinalopó que en el resto del Valle, ha favorecido la existencia de acuíferos con mayores recursos y reservas en ese sector.



Panorámica del área de regadío en el valle del Vinalopó desde la localidad de Biar



Comarcas agrarias de la cuenca del Vinalopó en la provincia de Alicante, (modificado de Rico, 1994), diferenciadas por los recursos y usos de aguas subterráneas

La evolución histórica de los consumos de agua ha estado muy influida por el desarrollo económico de la zona y del Campo de Alicante, y a la mejora de las técnicas extractivas de las aguas subterráneas, dada la escasez de recursos superficiales.

Se ha producido un proceso de sobreexplotación de los acuíferos que se ha desplazado desde el sur hacia el norte del Valle, de modo que el Alto Vinalopó se convirtió en la gran reserva de aguas subterráneas del Valle del Vinalopó y de la comarca del Campo de Alicante (o L'Alacantí), ya desde finales del siglo XIX. Esos acuíferos pertenecen a las unidades hidrogeológicas 08.35 (Jumilla-Villena), 08.36 (Yecla-Villena-Benejama), 08.40 (Sierra Mariola), 08.41 (Peñarrubia), 08.42 (Carche-Salinas) y 08.43 (Argueña-Maigmo), perteneciendo la mayoría también a otras comarcas e incluso otras cuencas hidrográficas.

La evolución histórica de los problemas creados por la escasez de recursos hídricos en la zona debido a la vocación agrícola, y las distintas soluciones que se han ido adoptando, han originado una interrelación extremadamente compleja y cambiante entre los distintos usuarios, organizaciones y organismos interesados en los recursos hídricos del sector.

En ese complejo entramado existe una serie de componentes físicos, como son los elementos de extracción, almacenamiento y distribución de aguas subterráneas y residuales (éstas, por otra parte, relativamente escasas), que afectan a las tres zonas del Valle, al Campo de Alicante, y marginalmente a las provincias de Albacete y Valencia.

Los propietarios o concesionarios de esos elementos físicos no siempre coinciden con los usuarios del agua, que pueden ser ayuntamientos, asociaciones agrícolas y hasta empresas municipales o privadas. Esos usuarios pueden estar asociados a diferentes niveles, hasta el de Comunidad General de Usuarios. En la del Alto Vinalopó (CGUAV), están integrados, además de ayuntamientos y asociaciones de regantes de la comarca, municipios y asociaciones del Medio Vinalopó y empresas de extracción y comercialización de agua, de antigua implantación en la zona, como la Sociedad del Canal de la Huerta de Alicante (SCHA) y Aguas Municipalizadas de Alicante (AMA). Existen también otras entidades no integradas en la CGUAV que extraen, utilizan o comercializan los recursos hídricos a usuarios de la CGUAV u otros diferentes.

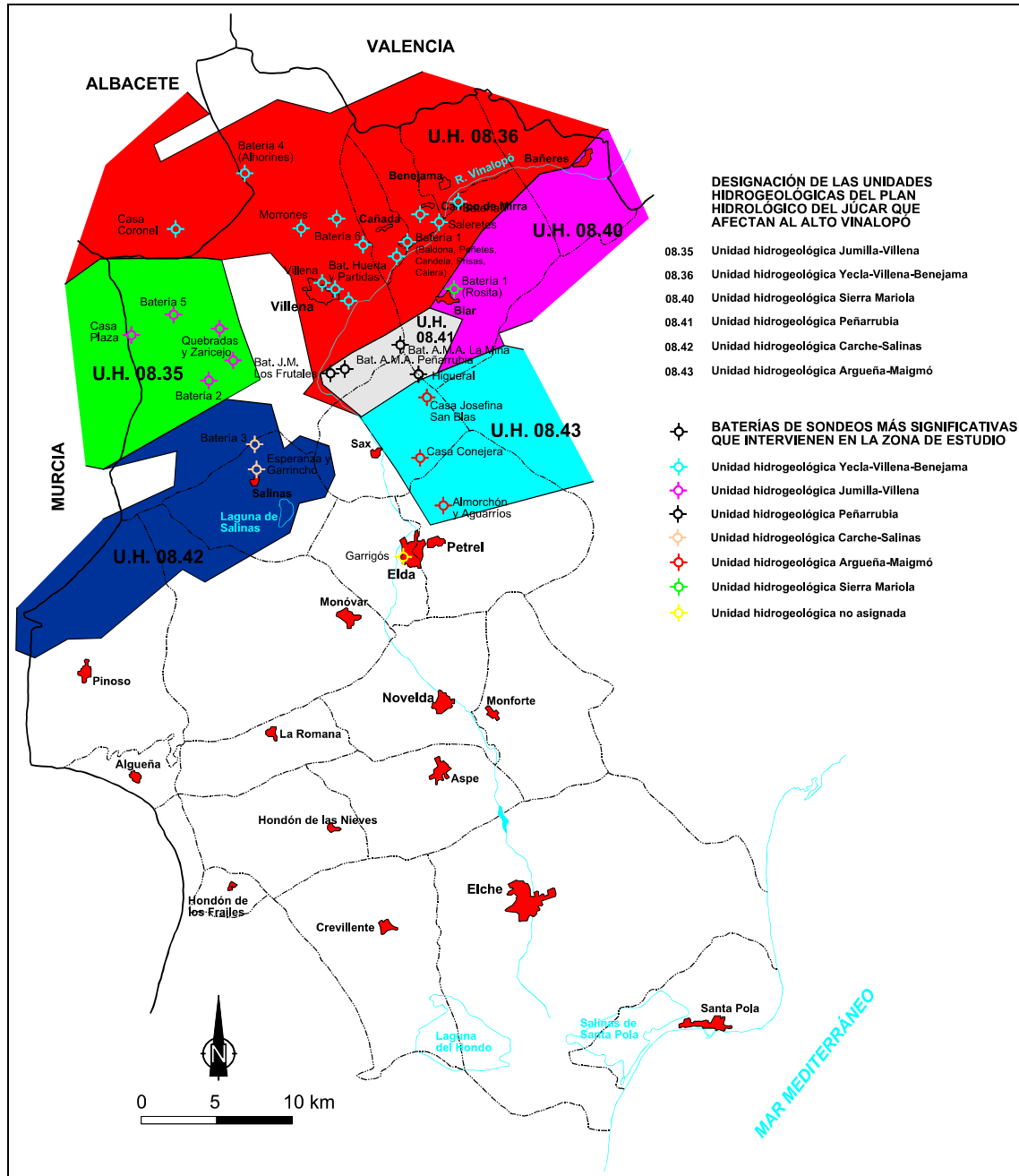
En este contexto de déficit crónico de agua del Valle del Vinalopó y del sector costero del Campo de Alicante, y también de la Marina Baja, y de sobreexplotación de los sistemas acuíferos que se ha provocado para satisfacer las demandas, la Planificación Hidrológica del Organismo de Cuenca (Confederación Hidrográfica del Júcar o CHJ) planteó como casi única solución la importación de agua excedentaria del sistema de explotación Júcar. En la normativa del Plan Hidrológico del Júcar publicada

en el Boletín Oficial del Estado se cuantificó en 80 hm³ anuales el volumen máximo a importar desde la cuenca del Júcar, aunque en el futuro se podría incrementar, siempre que en esa cuenca se procediese a una mejora en la modernización de los riegos tradicionales. Este incremento ha sido cuantificado en 120 hm³/a.



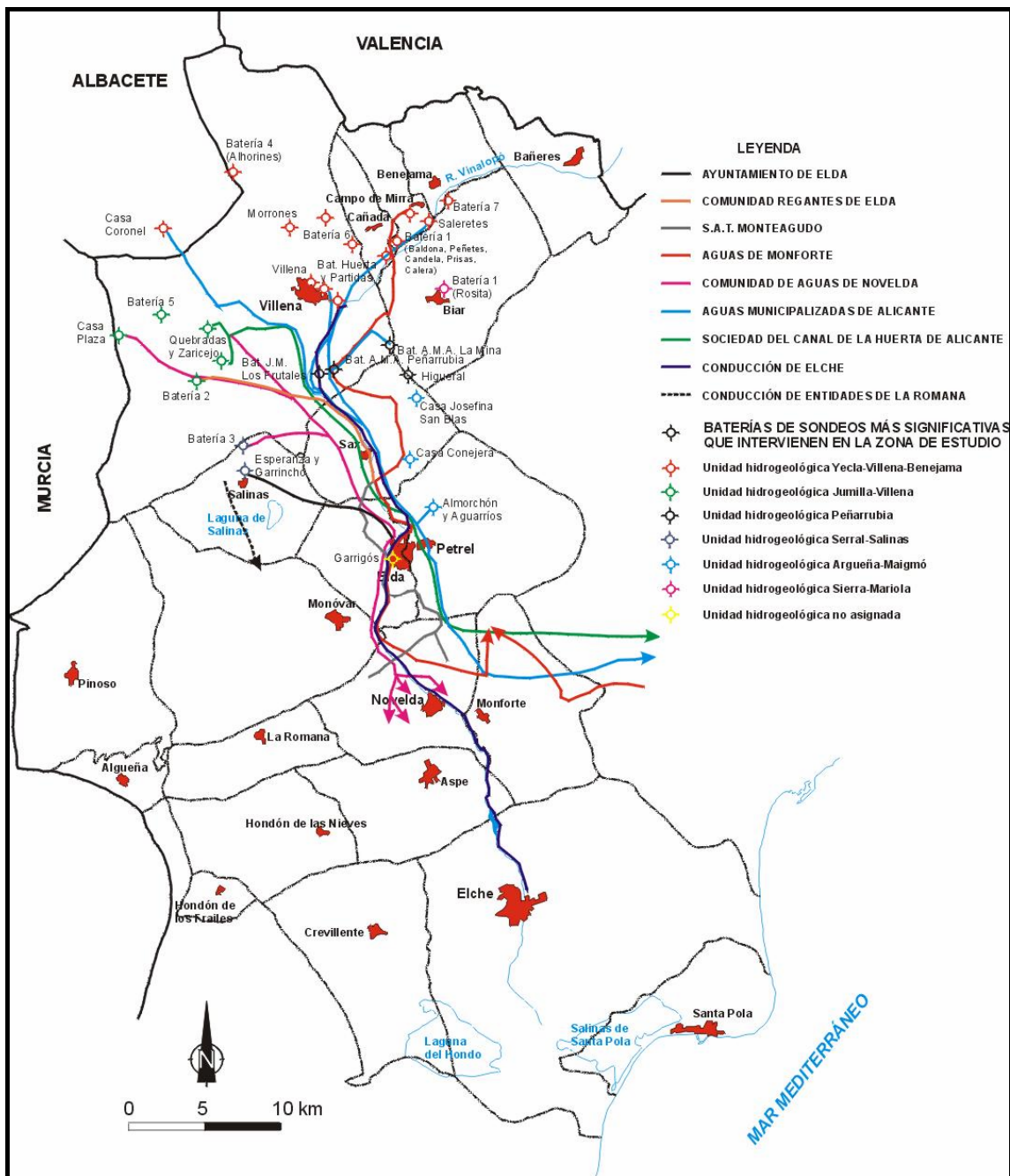
Pozo Alorines II perteneciente a la Batería IV. Término municipal de Villena

La llegada de esa agua tiene como fin paliar la sobreexplotación y déficit de abastecimiento del área Vinalopó-Alacantí y Marina Baja. A nivel de sistemas acuíferos, esta llegada de agua repercutirá enormemente en los del Alto Vinalopó, los que llevan soportando durante décadas fuertes extracciones con destino a zonas de demanda externas que se abastecerán con aguas de ese trasvase.



Unidades hidrogeológicas situadas total o parcialmente en el Alto Vinalopó alicantino y zonas de extracción de agua subterránea más significativas de la comarca

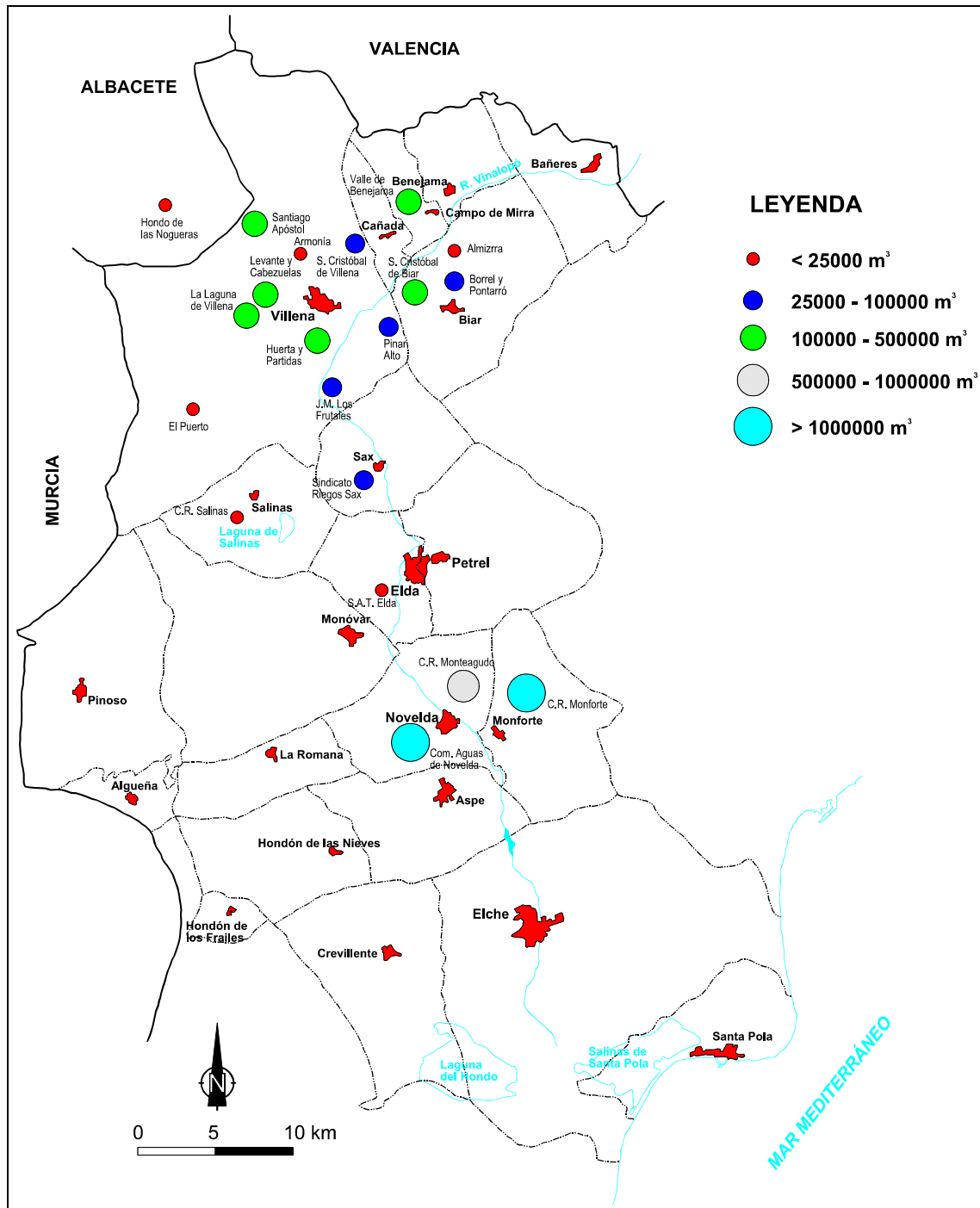
Complementariamente, otras administraciones y la CGUAV están realizando un plan de modernización de las infraestructuras de almacenamiento y distribución de agua para adaptarlas a la nueva situación hídrica que se produciría en la comarca.



Conducciones de alta capacidad de transporte de agua hacia el Medio y Bajo Vinalopó y el Campo de Alicante

En este contexto, la Diputación Provincial de Alicante y el Instituto Geológico y Minero de España promovieron un estudio específico destinado a obtener información sobre la situación hídrica del Alto Vinalopó y mejorar su gestión ante las sustanciales modificaciones que podrían producirse en el sistema. El trabajo realizado ha sido una etapa de un conjunto de estudios destinados finalmente a servir de apoyo a la gestión de

los recursos hídricos de todo el Valle del Vinalopó y a la evaluación de las posibilidades de recarga artificial en los acuíferos de la zona.



Almacenamiento superficial de las principales entidades de riego relacionadas con la explotación de los recursos hídricos del Alto Vinalopó



Balsa del Salse. Término municipal de Benejama

Objetivo y metodología del estudio

El objetivo principal del estudio mencionado ha sido intentar optimizar la gestión del sistema de recursos hídricos del Alto Vinalopó considerando diferentes alternativas, comprobar su efecto sobre el grado de explotación de los sistemas acuíferos y las posibilidades de recarga artificial, especialmente con la llegada de agua procedente del Sistema de Explotación Júcar.

La respuesta de los acuíferos del Alto Vinalopó dentro del sistema de recursos hídricos de la comarca ante distintas alternativas de explotación se ha estudiado con el apoyo de un modelo de simulación de dicho sistema que sea capaz de contemplar las aguas subterráneas. Como en el caso de la Marina Baja se ha utilizado como herramienta el programa SIMGES, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia. Dicho programa, originariamente para simular sistemas de recursos hídricos basados en embalses alimentados por escorrentía superficial, permite considerar a los acuíferos como elementos del sistema mediante distintos tipos de modelos.

Para la utilización de ese programa ha sido necesario establecer, con la mayor precisión posible, las características del sistema hídrico en la actualidad, basándose en

la información que se ha podido recopilar de distintas fuentes, en general parcial, y muchas veces contradictoria, integrándose esa información para establecer un esquema de funcionamiento general del sistema. Además por las características especiales del Alto Vinalopó, se han debido incluir en el esquema subsistemas que permiten variar las necesidades de agua a lo largo del período de simulación (unos 40 años) incorporando un balance de agua en el suelo, y otros que calcularían almacenamiento de aguas subterráneas en las múltiples balsas de la comarca.

Alternativas planteadas

Con el fin de analizar la respuesta del sistema de recursos hídricos del Alto Vinalopó ante la llegada de nuevos recursos se plantearon diferentes escenarios. En todos los casos, la demanda urbana se ha considerado con una garantía completa, según los datos facilitados. Las demandas agrícolas se calcularon en base a un balance de agua en el suelo, integrado en el propio modelo. Las aguas residuales depuradas presentan un índice de reutilización del orden del 60%, pero suponen una cuantía muy pequeña en relación con los bombeos que se llevan a cabo en la comarca para usos agrícolas.

Se han analizado de los diversos componentes que forman el sistema de recursos hídricos del Alto Vinalopó. Este análisis es extremadamente complejo ya que el sistema es muy cambiante en el tiempo en cuanto al número y tipo de componentes que lo forman y a que algunos de los principales usuarios se sitúan fuera de la comarca y utilizan conjuntamente fuentes de agua externas al sistema.

Dada la complejidad del esquema considerado y la información de la que se ha dispuesto de los acuíferos, éstos han sido considerados en la simulación a escala de unidad hidrogeológica. Se han simulado de modo simplificado y sólo se han tenido en cuenta las acciones que se llevan a cabo en ellos por las entidades de explotación consideradas en la simulación. Las unidades hidrogeológicas que se han incluido son Yecla-Villena-Benejama (08.36), Jumilla-Villena (08.35), Carche-Salinas (08.42), Peñarubia (08.41), Sierra Mariola (08.40) y Argueña-Maigmo (08.43).

En el primer escenario planteado, denominado 00, se simuló la situación hídrica de la zona con la información más actualizada de la que se pudo disponer en cuanto a demandas, capacidad de bombeo e infraestructuras.. Este escenario se utilizaría como referencia para cualquier otro de los que se han planteado.

Otro escenario, denominado 01, respondería a la situación planteada por la Normativa del Plan Hidrológico del Júcar, con un trasvase de 80 hm³/a destinado a las comarcas del Valle del Vinalopó, Campo de Alicante y Marina Baja, y cuyo fin sería la mejora de la demanda urbana y la reducción de la sobreexplotación de los acuíferos, sustituyendo aguas subterráneas por trasvasadas. Este volumen de aguas trasvasadas se repartió por zonas según un preacuerdo alcanzado por los destinatarios de las mismas, y que para las entidades correspondientes al sistema de recursos hídricos simulado, suman cerca de 30 hm³/a.

Las simulaciones se realizaron considerando caudal de trasvase constante y las nuevas infraestructuras que se vienen construyendo. También se tuvo en cuenta el efecto del nuevo embalse regulador de las aguas trasvasadas, previsto en la cabecera del Valle. Con la situación planteada se evaluó la mejora del sistema de recursos hídricos del Alto Vinalopó.

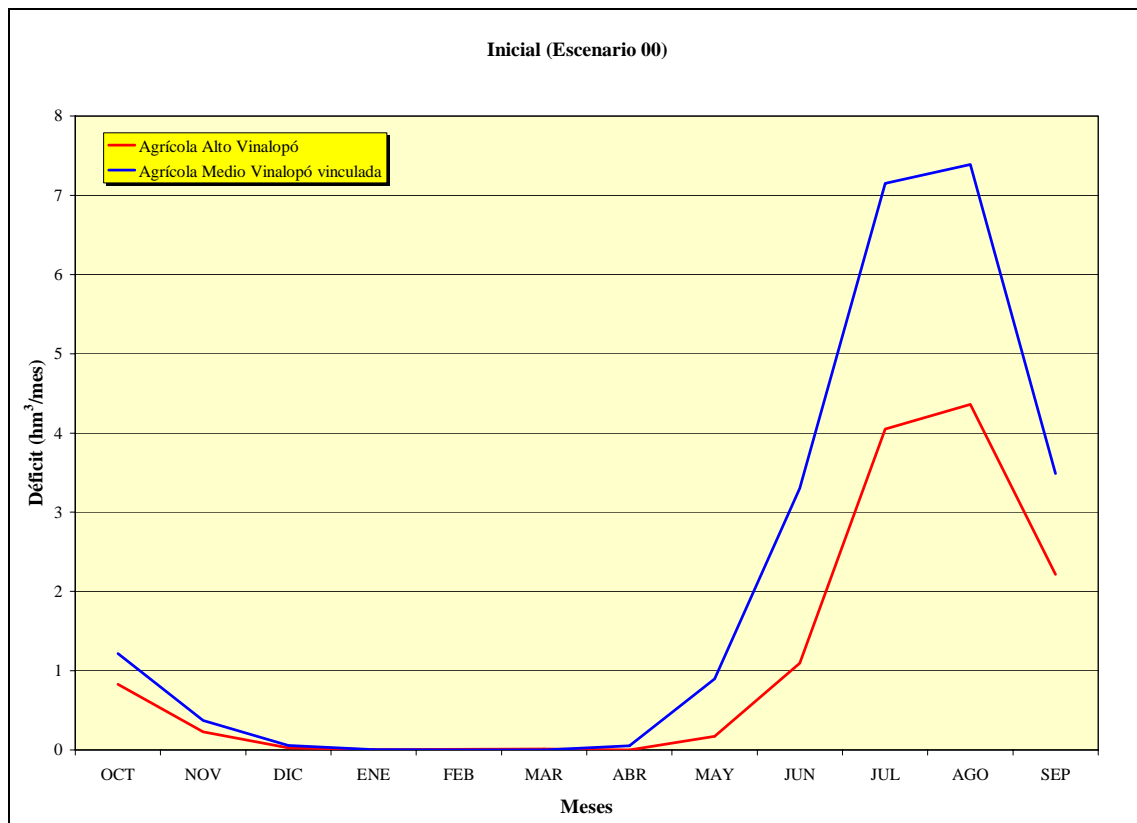
El último escenario considerado, más ligado a la gestión real de la zona en un futuro próximo, denominado 02, sería equivalente al anterior, pero considerando la posibilidad de que se realicen bombeos de apoyo, que estarían limitados exclusivamente por la capacidad extractiva que las baterías de bombeos tienen actualmente.

Resultados principales

En el escenario 00 la simulación muestra un importante déficit de agua en todo el sistema, motivado por el que sufren las demandas agrícolas, ya que las urbanas tienen satisfechas sus necesidades. Para las demandas agrícolas situadas en el Alto Vinalopó la garantía volumétrica es del 74%, con un déficit medio de 13 hm³/a, variable en el período simulado entre 1 hm³/a y más de 21 hm³/a, concentrándose entre julio y septiembre el 80% del déficit anual, siendo la garantía mensual superior al 60%.

Para las entidades de riego del Medio Vinalopó incluidas en el esquema, el déficit medio calculado es de 24 hm³/a, lo que representaría una garantía mensual ligeramente superior al 50% y una garantía volumétrica inferior al 60%. En ambos casos, aunque especialmente para el Medio Vinalopó, es posible que existan otras fuentes de suministro de agua no tenidas en cuenta, con lo que la garantía podría incrementarse.

Como los recursos necesarios para satisfacer las demandas de la zona y de comarcas próximas proceden de los acuíferos del Alto Vinalopó, éstos presentan una intensa explotación, en unos volúmenes que superan sus recursos medios, aun cuando sólo se han contabilizado las extracciones situadas en el Alto Vinalopó alicantino. Los bombeos simulados superan los 90 hm³/a, de los que sólo 26 hm³/a se destinarían a entidades propias de la comarca. De aquel total, más del 50% se bombearía de la unidad hidrogeológica 08.36 (Yecla-Villena-Benejama), y cerca del 30% de la unidad 08.35 (Jumilla-Villena). Dados los recursos medios que se estiman para estas unidades, 30 hm³/a y 17 hm³/a respectivamente, y que no se ha dispuesto de toda la información referente a los bombeos, ambas unidades se encuentran en un evidente estado de sobreexplotación.



Distribución mensual de los déficits totales medios en las entidades de riego incluidas en la simulación inicial (Escenario 00) del sistema de recursos hídricos del Alto Vinalopó

Volúmenes medios bombeados para los distintos usos y unidades hidrogeológicas según las condiciones de la simulación inicial (Escenario 00)

USO	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS						Total
	08.36	08.35	08.42	08.41	08.40	08.43	
URBANO Alto Vinalopó	3.0		0.3	0.6	1.1	0.0	5.0
AGRÍCOLA Alto Vinalopó	17.2	3.0	0.7		0.4	0.5	21.8
AGRÍCOLA Medio Vinalopó	6.0	8.5	0.3		2.0	0.4	17.3
URBANO Medio Vinalopó			6.2				6.2
URBANO Ext. Prov. Alicante	0.1						0.1
SCHA		14.5					14.5
AMA	19.4			2.3		0.5	22.1
Elche	1.9			1.6			3.5
TOTAL	47.6	26.1	7.5	4.5	3.5	1.4	90.6

Datos en hm³/a

No se ha calculado en ningún caso almacenamiento de aguas subterráneas en las balsas de las distintas entidades de riego, quizá porque la escala temporal de simulación utilizada por SIMGES (mensual) sea muy diferente a la escala operacional de esas balsas.

En el caso del escenario 01, las garantías de suministro, a la escala temporal de trabajo (mensual) no varían respecto al escenario 00 dado que únicamente ha existido una sustitución de aguas subterráneas por aguas trasvasadas, aunque se han considerado las mejoras en las infraestructuras.

Sí se reducen las extracciones de aguas subterráneas, que son del orden de los recursos medios, aunque los acuíferos seguirán en un estado de sobreexplotación, ya que en las simulaciones sólo se han considerado las extracciones del Alto Vinalopó de las que se ha dispuesto de información.

La situación de los acuíferos mejoraría ligeramente, al reducirse la explotación en unos 30 hm³/a, de los que más del 40% corresponderían a la unidad 08.36 (Yecla-Villena-Benejama). Esta unidad y la de Jumilla-Villena tendrían una explotación del orden de sus recursos medios. En este caso, el dimensionamiento de las conducciones principales permite una distribución de agua con un amplio margen de variación en los caudales. La existencia de un embalse de cabecera de 20 hm³ y de múltiples balsas repartidas por todo el sector también parecen ser suficientes para regular una variación en los aportes del trasvase.

Volúmenes medios bombeados para los distintos usos y unidades hidrogeológicas según las condiciones del Plan Hidrológico del Júcar (Escenario 01)

USO	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS						Total
	08.36	08.35	08.42	08.41	08.40	08.43	
URBANO Alto Vinalopó	0.9		0.1	0.2	0.8	0.0	2.0
AGRÍCOLA Alto Vinalopó	11.9	1.9	0.4		0.1	0.5	14.8
AGRÍCOLA Medio Vinalopó	3.6	5.1	0.2		1.2	0.3	10.3
URBANO Medio Vinalopó			6.2				6.2
URBANO Ext. Prov. Alicante	0.1						0.1
SCHA		9.0					9.0
AMA	15.1			0.0		0.0	15.1
Elche	3.3			0.2			3.5
TOTAL	34.9	16.0	6.9	0.4	2.1	0.8	61.1

Datos en hm³/a

Como uno de los objetivos del estudio era establecer la posibilidad de realizar recarga artificial en los acuíferos del Alto Vinalopó con aguas del trasvase, a la vista de los resultados obtenidos, no parecen existir volúmenes de agua suficientes para ser utilizados en recarga artificial, al menos con los valores medios obtenidos. Únicamente sería posible si el trasvase se realizara a caudal variable, de modo que se superaran la cuantía de las demandas y de los dispositivos de almacenamiento superficial (embalse de regulación y balsas de las entidades de riego), especialmente si se lleva a cabo la segunda fase prevista del trasvase, que incrementaría en 120 hm³/a los 80 hm³/a de la primera fase. Por otra parte, y aunque no tratado en el estudio, habría que considerar el coste de la operación de recarga de un agua, ya gravada, que llegue al Alto Vinalopó.

Finalmente, el escenario 02, que contempla un trasvase en las mismas condiciones que el escenario 01 y bombeos de apoyo a distintas demandas agrícolas muestra un incremento sustancial de las garantías volumétricas de suministro, que superarían el 85%, con una garantía mensual del 75% frente al 62% de los otros escenarios, muy aceptables para la agricultura.

En el escenario 02 se obtiene una mejora considerable en el abastecimiento al sistema, ya que las garantías para riego se incrementarían en más del 10%. Sin embargo, ello requería aún unos bombeos cercanos a 70 hm³/a, de los que el 60% corresponderían a la unidad 08.36 (Yecla-Villena-Benejama) y el 25% a la unidad hidrogeológica 08.35 (Jumilla-Villena), con lo que se mantendría la sobreexplotación en ambas.

En este caso las circunstancias para realizar recarga artificial serían las mismas que en el escenario 01.

Así pues, en ninguno de los escenarios planteados se considera oportuno el empleo de recarga artificial como alternativa de almacenamiento de aguas superficiales, ya que existe un déficit permanente de agua que no la haría viable.

Aunque no ha sido posible realizar ninguna alternativa de simulación más, dada la complejidad del sistema que se ha planteado, se pueden considerar otros escenarios en los que la recarga artificial fuese una alternativa más a tener en cuenta, como son la llegada de una aportación apreciable del trasvase, especialmente si es un período húmedo en el Alto Vinalopó, o si se llega a completar los planes del trasvase con un aporte total de 120 hm³/a. En cualquiera de estos casos, es imprescindible realizar estudios de detalle desde el punto de vista de la viabilidad económica (coste del agua del trasvase, su potabilización, transporte, inyección y recuperación) y desde el punto de vista hidrogeológico (modificación del sistema de flujo, distribución de los puntos de extracción, calidad del agua inyectada frente a la del acuífero, etc.).

Volúmenes medios bombeados para los distintos usos y unidades hidrogeológicas según las condiciones del Plan Hidrológico del Júcar (Escenario 02) con bombeos de apoyo

USO	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS						Total
	08.36	08.35	08.42	08.41	08.40	08.43	
URBANO Alto Vinalopó	0.9		0.1	0.2	0.8	0.0	2.0
AGRÍCOLA Alto Vinalopó	16.1	3.0	0.4		0.2	0.5	20.2
AGRÍCOLA Medio Vinalopó	4.0	4.6	0.2		1.0	0.9	10.7
URBANO Medio Vinalopó			6.2				6.2
URBANO Ext. Prov. Alicante	0.1						0.1
SCHA		9.0					9.0
AMA	15.1			0.0		0.0	15.1
Elche	3.3			0.2			3.5
TOTAL	39.6	16.6	6.9	0.4	2.0	1.4	66.9

Datos en hm³/a

MEDIO
VINALOPÓ-ALICANTÍ

Problemática existente y objetivos planteados

La comarca del Vinalopó ha estado ligada tradicionalmente a un complejo sistema hídrico que ha sido objeto de numerosas actuaciones, trabajos y estudios. En la actualidad este sistema adquiere un particular interés, ante la próxima materialización de la transferencia de recursos hídricos procedentes del río Júcar.

Esta infraestructura hidráulica pretende subsanar el histórico déficit hídrico que ha sufrido el Valle del Vinalopó, especialmente a partir del desarrollo de nuevos regadíos en la segunda mitad del siglo XX. La posibilidad de disponer de nuevos recursos subterráneos facilitó la mejora de los cultivos, pero también el aumento de las superficies de riego, con el consiguiente incremento de las demandas agrícolas y una mayor presión sobre los acuíferos, que empezaron a sufrir procesos de sobreexplotación y deterioro de la calidad de sus aguas. A este hecho hay que sumar la fuerte demanda para abastecimiento fruto del aumento de población y de la actividad industrial de la zona, junto con la exportación de una parte importante de sus recursos hídricos a las comarcas vecinas del Bajo Vinalopó y El Alacantí.

Una parte de la problemática se ha resuelto mediante la utilización de agua externa procedente de la cuenca del Segura y aportada por la Mancomunidad de Canales del Taibilla para abastecimiento urbano de algunos municipios del Bajo Vinalopó, Campo de Alicante y Medio Vinalopó.

También se ha ido produciendo un progresivo incremento en la reutilización para regadío de aguas residuales urbanas depuradas, aunque los volúmenes usados actualmente son reducidos en relación con las demandas agrícolas. Estas posibilidades de reutilización son todavía importantes en el Medio Vinalopó y el Alacantí, ya que se dispone de excedentes en las depuradoras de la ciudad de Alicante y zonas urbanas circundantes.

Sin embargo, esas soluciones no han satisfecho hasta el momento más que una parte del conjunto de demandas del sistema, y se sigue llevando a cabo una fuerte explotación de los sistemas acuíferos del Alto y Medio Vinalopó, como principal fuente de recursos hídricos disponible.

En este contexto, la Planificación Hidrológica ha planteado como solución la importación de agua excedentaria del sistema de explotación Júcar, para minimizar la sobreexplotación a que están sometidos los acuíferos locales y el déficit de abastecimiento del área Vinalopó-Alacantí y Marina Baja.

La normativa del Plan Hidrológico del Júcar cuantifica en 80 hm³ anuales el volumen máximo a importar desde la cuenca del Júcar, aunque en el futuro se podría incrementar hasta 120 hm³/año, bajo la premisa de una mejora en la modernización de los riegos tradicionales en esa cuenca.

Las aguas trasvasadas sustituirán a una parte de los bombeos actuales, para lo cual se deberá dejar inactivos algunos de los sondeos en explotación. Sin embargo, está previsto

mantener un cierto número de ellos como apoyo al nuevo sistema de satisfacción de demandas. Con este nuevo esquema los acuíferos del Alto y Medio Vinalopó pueden adquirir importancia desde el punto de vista del almacenamiento estratégico (incremento de reservas por descenso de la explotación, recarga artificial, etc.), convirtiendo el sistema de recursos hídricos en un sistema con utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas, aunque en este caso, las entradas superficiales sean siempre reguladas.

En este marco, la Diputación de Alicante ha promovido la realización de un estudio, llevado a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España, que tiene como objetivo principal la optimización de la gestión en el sistema de recursos hídricos del Medio Vinalopó, con el apoyo de un modelo de simulación de la gestión. Se han considerado diferentes alternativas en la misma y se ha simulado su efecto sobre el grado de explotación de los sistemas acuíferos y sobre las garantías en la satisfacción de demandas, así como las posibilidades de recarga artificial con la llegada de agua procedente del Sistema de Explotación Júcar.

Para ello se han analizado las principales entidades de demanda que comparten los recursos hídricos del Medio Vinalopó, así como las infraestructuras hidráulicas del sistema.

Se han determinado, con la precisión que permite la información facilitada por los usuarios y la recopilada en la documentación consultada, el origen y cuantía de las

extracciones que llevan a cabo las diferentes entidades.

Y con todo ello se ha simulado la situación de distribución de los recursos hídricos que se va a producir con la llegada de las aguas del río Júcar, y el ahorro que se puede conseguir en la extracción de aguas subterráneas del sistema.

El sistema hídrico del Medio Vinalopó

Las principales fuentes de suministro de recursos hídricos en el Medio Vinalopó son los acuíferos de la zona, y en cuantía sensiblemente inferior las aguas superficiales procedentes del aprovechamiento de aguas residuales depuradas y del Canal del Taibilla en los municipios de Aspe y Hondón de las Nieves.

En lo que se refiere a unidades hidrogeológicas se han considerado como integrantes del sistema las siguientes:

- 08.35 Jumilla-Villena
- 08.36 Yecla-Villena-Benejama
- 08.40 Sierra Mariola
- 08.41 Peñarrubia
- 08.42 Carche-Salinas
- 08.43 Argueña-Maigmo
- 08.49 Agust-Monnegre
- 08.50 Sierra del Cid
- 08.51 Quibas
- 08.52 Sierra de Crevillente

Por otra parte, no existen en el sistema obras de regulación de aguas superficiales. Únicamente disponen las comunidades de regantes de balsas de distribución, de hasta 1 hm³ de capacidad las de mayor tamaño, que reciben las aguas procedentes de los acuíferos correspondientes, previamente a su reparto entre los usuarios.

Las aguas de cabecera del Vinalopó son captadas para el sistema del Alto Vinalopó, cuya gestión fue analizada en un estudio previo. Las pocas aguas que recoge el cauce del Vinalopó procedentes de la escorrentía superficial provocada por las irregulares y escasas precipitaciones, así como las residuales procedentes de los retornos de depuradoras urbanas e industriales, finalizan su recorrido en un tramo canalizado hasta el azarbe de Dalt, conectado con el humedal de las Salinas de Santa Pola y finalmente el mar.

En épocas de avenidas se producen inundaciones que afectan por un lado a edificaciones y zonas agrícolas de la parte más baja del río, y por otro a una franja de terreno entre los Azarbes de Dalt y del Robatorio, incluida en el paraje natural de las Salinas de Santa Pola.

Pero estas aguas ya tienen una calidad muy mala a su paso por el Medio Vinalopó, con altos contenidos en sales disueltas procedentes de la formación arcilloso-evaporítica del Keuper sobre la que discurren, así como de los vertidos industriales y urbanos que jalonan su recorrido.

Por otro lado existe un aporte puntual de aguas superficiales de fuera del sistema procedentes de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, en la cuenca del Segura, destinadas a los centros de demanda urbana de los municipios de Aspe y Hondón de las Nieves.

También se han tenido en cuenta los denominados recursos alternativos, en este caso la reutilización de aguas residuales depuradas para regadío. Algunas comunidades de regantes

ya aprovechan estos recursos, cubriendo hasta un 30 % de su demanda. Pero en general todavía existe un alto potencial de reutilización. Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) consideradas son las siguientes:

- EDAR Pinoso
- EDAR Algueña
- EDAR Pedanías de Monóvar
- EDAR Valle del Vinalopó
- EDAR La Romana
- EDAR Hondón de los Frailes
- EDAR Hondón de las Nieves
- EDAR Aspe
- EDAR Novelda
- EDAR Agost
- EDAR Rincón de León
- EDAR Castalla

Así mismo, en el análisis de alternativas se ha considerado el embalse de regulación previsto para recoger las aguas del trasvase Júcar-Vinalopó tal como aparece en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar, que finalmente parece que tendrá una capacidad de 20 hm³ y se ubicará en las proximidades de la pedanía de La Encina.

En cuanto a las conducciones actuales y futuras (las previstas en el Plan de Modernización de Regadíos del Medio Vinalopó), se ha constatado que no suponen un elemento limitante para la satisfacción de las demandas, por lo que se han simplificado en el sistema simulado, sustituyéndolas por conexiones equivalentes que enlazan los elementos de aporte de recursos con los centros de demanda.

Los elementos de demanda considerados corresponden a los más significativos del sistema, es decir, aquellos que por el volumen de recursos demandados o la

prioridad en su satisfacción no pueden ser obviados. Estos son los siguientes:

1. Abastecimiento urbano a los siguientes municipios:

- Pinoso
- Monóvar
- La Algueña
- La Romana
- Hondón de las Nieves
- Hondón de los Frailes
- Pedanía de Barbarroja (Orihuela)
- Aspe
- Petrel
- Elda
- Novelda
- Monforte
- Agost

2. Dotaciones para satisfacer las necesidades de los regadíos agrupados como sigue:

- Riegos de Pinoso: SATs Aguas de Pinoso y Santa Bárbara de Ubeda.
- Riegos de Monóvar: SATs Alciri, Casas de Juan Blanco y Percamp.
- Riegos de La Algueña: CR de La Algueña.
- Riegos de La Romana: SAT La Romana, Coop. La Romana, CR Hondón de Monóvar y CR Chinorlet.
- Riegos de los Hondones: SATs Hondón de las Nieves y Hondón de los Frailes.
- Riegos de Aspe: SAT Virgen de las Nieves y CR Zona Baja de la Huerta Mayor.
- Riegos de Novelda-Elda: CR Aguas de Novelda, SAT Monteagudo y SAT Elda.

- Riegos de Petrel: Coop. Regantes de Petrel.
- Riegos de Monforte: CR Monforte del Cid.
- Riegos de Agost: CR Virgen de la Paz y Canalillo.

En las simulaciones que incorporan la futura transferencia de recursos del Júcar al Vinalopó, se considera además la parte del trasvase destinada para abastecimiento a municipios no pertenecientes al sistema, correspondientes a las comarcas del Alto Vinalopó, Alacantí y Marina Baja. Así mismo la parte del trasvase destinada a los regadíos en las comarcas del Alto Vinalopó y Alacantí.

Demandas del sistema

El Sistema del Medio Vinalopó constituye un importante entramado de satisfacción de demandas hídricas en la provincia de Alicante, no sólo por el volumen anual de demanda consuntiva satisfecho (66,31 hm³), sino porque permite el abastecimiento para el desarrollo de una actividad económica de gran importancia para esta comarca y para el conjunto de la provincia como es la actividad agraria, y en particular los cultivos de uva de mesa y hortofrutícolas.

Las principales demandas internas existentes en el sistema Medio Vinalopó (tabla 1) corresponden al regadío (68,26 hm³/año, según datos de la Comunidad General de Usuarios del Medio Vinalopó), que constituye el 80 % del total, y la demanda urbano-industrial (16,59 hm³/año), que supone el restante 20 % del total.

Para la satisfacción de las demandas se utilizan fundamentalmente las captaciones de aguas subterráneas a partir de los acuíferos del Medio y Alto Vinalopó, que aportan el 90 % de los recursos consumidos en el total del sistema. Por acuíferos, las mayores extracciones proceden del Serral-Salinas con 18,75 hm³/año, Jumilla-Villena con 12,23 hm³/año, y Solana con 9,36 hm³/año. Hay que señalar que un volumen de 4,74 hm³ son aportadas por Aguas Municipalizadas de Alicante y proceden tanto de Solana como de Peñarrubia y Argueña, sin tener datos del reparto detallado por acuíferos, por lo que se han aplicado los porcentajes de la explotación global de esta sociedad correspondientes a cada acuífero (85,5 % de Solana, 12 % de Peñarrubia y 2,5 % de Argueña). La distribución detallada de extracciones de aguas subterráneas se refleja en la tabla 3.

Además de estas extracciones de origen subterráneo hay que considerar la aportación procedente de la Mancomunidad de Canales del Taibilla para consumo urbano de los municipios de Aspe y Hondón de las Nieves. Son recursos superficiales externos al sistema procedentes de la cuenca del Segura (1 hm³/año).

Los recursos superficiales propios del sistema son escasos y muy irregulares, de acuerdo con el régimen de precipitaciones de la cuenca. Además su calidad es muy deficiente debido a la contaminación producida por los vertidos urbanos e industriales, que a menudo constituyen la práctica totalidad del caudal circulante por el río, así como por el elevado grado de salinización producido por la disolución de sales contenidas en la formación triásica de facies Keuper sobre la que discurre el

cauce. Estas circunstancias hacen que no se aprovechen las aguas superficiales en el sistema, y que no existan infraestructuras para su regulación dentro del mismo. Únicamente la comunidad de regantes de la Acequia Nueva de la Zona Baja de la Huerta Mayor de Aspe utiliza las aguas circulantes por la rambla de Tarafa, si bien en realidad la mayor parte del escaso caudal procede del vertido de la depuradora de aguas residuales urbanas de Aspe a este cauce.

De las demandas satisfechas, sólo corresponden a recursos reutilizados parte de los consumidos por algunas comunidades de regantes para el regadío de cultivos de uva de mesa y otros. Proceden de aguas residuales depuradas en algunas de las EDAR existentes en la comarca y en comarcas próximas, alcanzando un volumen anual de 5,384 hm³, es decir, el 8 % del total consumido en el sistema, y casi el 11 % del consumo agrícola. Es previsible que este consumo para regadío de retornos depurados aumente todavía por el potencial existente. En la tabla 4 se detalla la procedencia del agua reutilizada.

La gestión de las extracciones es llevada a cabo por los titulares de las infraestructuras de bombeo y distribución. Corresponde por una parte a la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación (CAPA) como titular de algunas de las baterías de sondeos ubicadas en el Alto y Medio Vinalopó. La gestión de algunas de ellas ha sido cedida a la Comunidad General de Usuarios del Medio Vinalopó y L'Alacantí, que aglutina a la mayor parte de los usuarios del sistema, mientras que otras baterías de sondeos son de titularidad y gestión de las distintas comunidades de regantes y Ayuntamientos. Así mismo las sociedades del

Canal de la Huerta de Alicante y Aguas Municipalizadas de Alicante poseen sondeos de explotación en los acuíferos del Alto Vinalopó fundamentalmente (Jumilla-Villena y Solana), e infraestructuras de distribución que suministran recursos a diversos usuarios del Medio Vinalopó.

Los recursos subterráneos

En el sistema del Medio Vinalopó la utilización de recursos subterráneos permite la satisfacción de un 90% de la demanda total (59,92 hm³/año, lo que representa un caudal instantáneo de 1900 l/s), lo que pone claramente de manifiesto la necesidad de considerar los acuíferos con el máximo detalle posible, teniendo en cuenta, por otra parte, que se trata de construir un modelo de simulación de gestión de cuencas y no modelos de simulación de flujos subterráneos, que podrían constituir herramientas complementarias.

La inclusión de los acuíferos en el sistema permite, asimismo, la utilización de esquemas de gestión de uso conjunto, que determinen por una parte el grado de explotación actual y de satisfacción de las demandas con estos recursos subterráneos, y por otra la reducción de la sobreexplotación que se produciría con la aplicación de las diferentes alternativas planteadas (fundamentalmente con la incorporación de las aguas de la futura transferencia de recursos Júcar-Vinalopó).

Partiendo de las unidades hidrogeológicas asociadas al sistema Medio Vinalopó han sido considerados los siguientes acuíferos como elementos unitarios del sistema simulado:

- Unidad 08.35 Jumilla-Villena
- Unidad 08.36 Yecla-Villena-Benejama. Acuífero de Solana
- Unidad 08.40 Sierra Mariola. Acuífero Jurásico
- Unidad 08.41 Peñarrubia
- Unidad 08.42 Carche-Salinas. Acuífero Serral-Salinas
- Unidad 08.43 Argueña-Maigmo. Acuífero de Argueña. Acuífero Caballo-Fraile
- Unidad 08.49 Agost-Monnegre. Acuífero Ventós-Castellar
- Unidad 08.50 Sierra del Cid
- Unidad 08.44 Barrancones-Carrasqueta. Acuífero de Tibi
- Unidad 08.51 Quibas. Acuífero Madara. Acuífero Umbría
- Unidad 08.52 Sierra de Crevillente. Acuífero S^a de Crevillente. Acuífero Argallet
- Acuíferos aislados. Aislado de Aspe. Acuífero de Elda

En total, se han diferenciado 16 acuíferos, para cuya simulación se han utilizado los modelos unicelular y tipo depósito de que dispone SIMGES. Estos modelos se han considerado los más adecuados dadas las características de los acuíferos y sus relaciones con el sistema superficial.

El modelo unicelular está concebido para el caso genérico de un acuífero conectado hidráulicamente con el sistema superficial, con un coeficiente de desagüe α . Se basa en el cálculo del volumen almacenado en un mes dado a partir del volumen en el mes anterior, el coeficiente de desagüe y la recarga en el mes.

Permite el control de los bombeos mediante el establecimiento de un umbral para el volumen almacenado o el caudal de relación con el río.

Los acuíferos incluidos en el sistema simulado no presentan realmente conexión hidráulica con el sistema superficial, por lo que la aplicación del modelo unicelular ha sido convencional para permitir la inclusión de estos recursos subterráneos en el modelo de gestión. Se ha utilizado un coeficiente $\alpha=0,10$ mes⁻¹ común para todos ellos, tal como se aplicó en el modelo de gestión realizado para el Alto Vinalopó.

El modelo tipo depósito corresponde al caso de acuíferos no conectados con el sistema superficial, como sucede en el sistema del Medio Vinalopó, y únicamente permite dar una indicación del estado de llenado y vaciado de los mismos. Establece como parámetro de control el volumen almacenado. En el esquema simulado se ha empleado para los acuíferos de los que se han podido obtener estimaciones de la recarga media mensual.

En la tabla 5 se ha reflejado la explotación a que están sometidos los acuíferos para satisfacer las demandas del sistema Medio Vinalopó, así como la recarga media anual por infiltración de lluvia según diversos estudios consultados. Se ha reconstruido el cociente entre ambos parámetros de explotación y recarga, a partir del cual se puede concluir que:

- Los principales acuíferos implicados en el sistema presentan una situación de explotación sensiblemente superior a la recarga media. Destacan los acuíferos de S^a de Crevillente, Serral-Salinas, Solana y

Umbría, con valores del coeficiente explotación/recarga del 601%, 571%, 212% y 229% respectivamente. En el acuífero jurásico de Sierra Mariola (Cabranta) no se han considerado todas las extracciones, sólo las correspondientes al Medio Vinalopó, y además recibe recarga desde otros acuíferos, por lo que no se pueden sacar conclusiones del coeficiente calculado.

- Así mismo presentan una explotación superior a la recarga o próxima al equilibrio el resto de acuíferos considerados, excepto el Caballo-Fraile en el que es posible que la estimación de la recarga no sea muy acertada, y se encuentre igualmente próximo al equilibrio.

Simulación de la gestión conjunta

La metodología que se ha aplicado para el análisis de la gestión integrada de recursos hídricos ha contemplado el importante papel que juegan los recursos subterráneos en un marco de utilización conjunta. En nuestro caso este papel se ve en peligro por los problemas de sobreexplotación que sufren los acuíferos de la comarca, y cuya incidencia se pretende mitigar con la futura transferencia de recursos desde el Júcar. Por ello en este caso se analizará tanto la insostenible situación actual de explotación de aguas subterráneas junto con el papel sustitutivo de la futura aportación de recursos superficiales externos a la cuenca.

Para el desarrollo de la metodología aplicada ha sido preciso definir:

- Las características hidrológicas de la cuenca (régimen de las aportaciones).
- Las demandas de agua y orden de prioridad en la satisfacción de las mismas.
- Las infraestructuras hidráulicas de regulación / conducciones existentes.
- Las posibilidades adicionales de infraestructuras de regulación, contempladas en el Plan de la Cuenca del Júcar o de nueva consideración.
- Las normativas sobre gestión del agua.

El desarrollo metodológico se ha fundamentado en la ejecución de una serie de actividades que pueden resumirse en las siguientes etapas:

Primera etapa: Se ha realizado un esquema topológico del sistema hídrico de la cuenca. En este esquema se han incluido los siguientes aspectos:

- Situación de acuíferos y embalses.
- Puntos de toma para satisfacción de demandas.
- Características de las conducciones.
- Nudos representativos de confluencias, derivaciones y retorno significativos.
- Puntos de control a considerar en los cauces (aportaciones de cabecera e intermedias).
- Situación espacial de la demanda. Se han considerado como caracteres diferenciadores la garantía de servicio

requerida, las preferencias de utilización, orden de prioridad en su satisfacción, etc.

- Caracterización de los enlaces y vínculos entre los elementos descritos.

Segunda etapa: Definición conceptual de los elementos del esquema para su inclusión en el modelo de simulación.

El paso de tiempo de la simulación considerado ha sido el mes, el cual viene impuesto por el software utilizado (SIMGES). Asimismo, el periodo de simulación se ha extendido desde el año 1995 al 2001, condicionado por la disponibilidad de datos de las aportaciones consideradas.

Alternativas de gestión

Para la realización del modelo de simulación y optimización de la gestión conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos se ha utilizado el paquete AQUATOOL. El paso de tiempo de la simulación considerado ha sido el mes, el cual viene impuesto por el software utilizado. Asimismo, el periodo de simulación se ha extendido desde el año 1995 al 2001, condicionado por la disponibilidad de datos de las aportaciones consideradas. Se han planteado siete simulaciones correspondientes al esquema actual de gestión y seis diferentes escenarios alternativos.

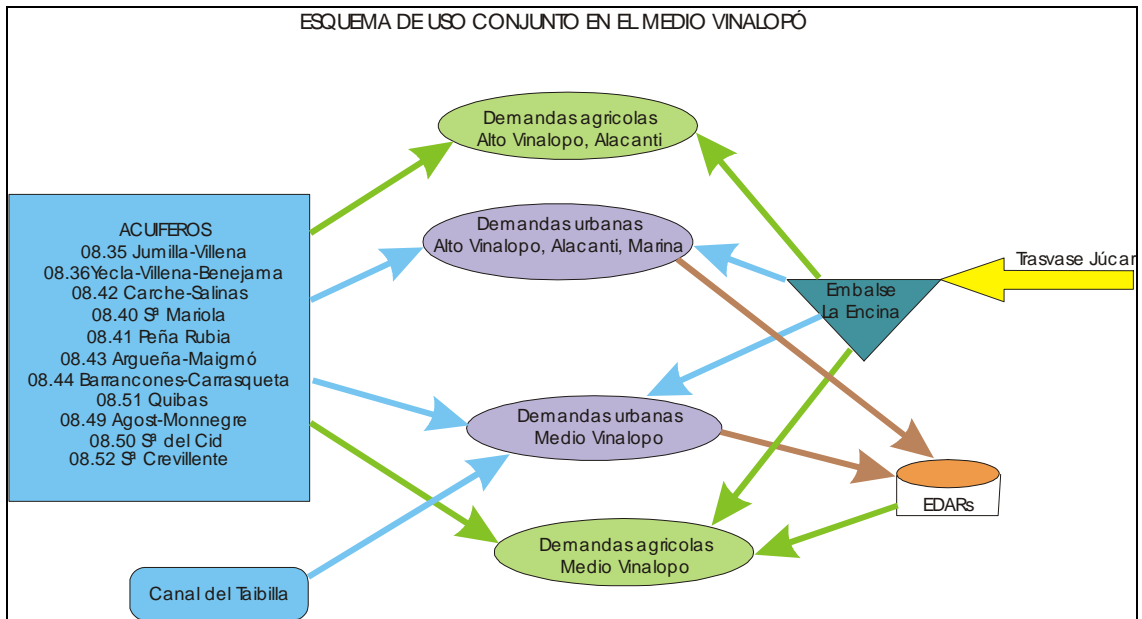


Figura 6. Esquema simplificado de uso conjunto en el Medio Vinalopó, con el futuro trasvase del Júcar.

Como resultado del modelo planteado para el esquema de gestión actual (SIM1), se ha calculado un volumen medio de extracciones de 123,3 hm³/año en el conjunto de acuíferos que constituyen el sistema. De ellos se destina un 54% (66,9 hm³/año) a la satisfacción de las demandas urbano-industriales y agrícolas en el Medio Vinalopó, estimadas en 84,8 hm³/año. Con este esquema se alcanzan unas garantías mensuales medias del 80,1% y anuales medias del 63,6%, con un déficit anual medio de 16,7 hm³/año. A este respecto conviene señalar que las demandas agrícolas consideradas corresponden en algunos casos a demandas potenciales en función de las superficies regables, por lo que se pueden encontrar algo sobrevaloradas. El resto de los bombeos se

destina a atender demandas exteriores al sistema correspondientes a las comarcas del Alto Vinalopó, Bajo Vinalopó y L'Alacantí.

A partir de las extracciones calculadas y las hipótesis de recarga consideradas para cada acuífero, se deduce que se encuentran en situación de sobreexplotación grave los de Sierra de Crevillente, con un coeficiente explotación/recarga del 601%, Serral-Salinas (571%), Umbría (229%), Solana (212%) y Argueña (191%). Así mismo presentan un grado de sobreexplotación importante Jumilla-Villena (153%) y Argallet (123%), mientras el resto se encuentra en situación más próxima al equilibrio.

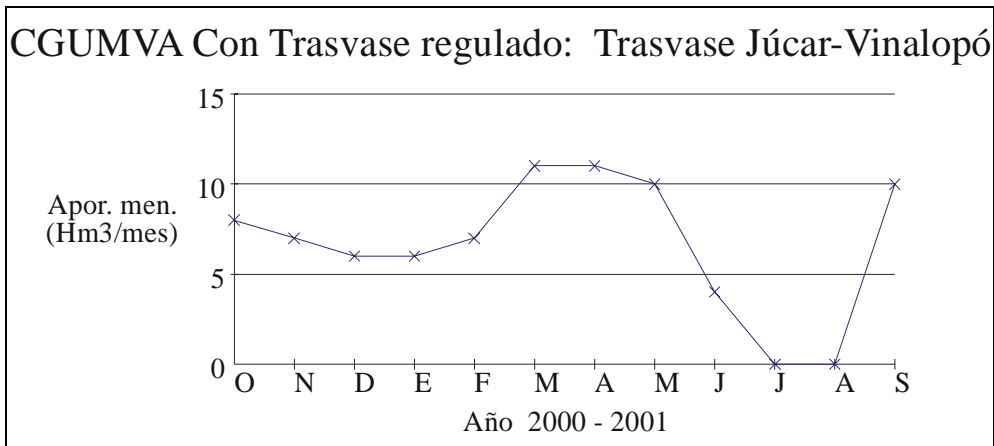


Figura 7. Distribución mensual propuesta del trasvase en las simulaciones 2 y 3.

Las simulaciones 2 y 3 (SIM2 y SIM3) incorporan un trasvase de 80 hm³/año distribuido en 10 meses (excepto julio y agosto), y consiguen con ese esquema una reducción considerable de la sobreexplotación en los acuíferos más afectados, en mayor medida la simulación 3 que supone un incremento adicional en la reutilización de aguas residuales urbanas, aunque seguirían en situación de

sobreexplotación los de Sierra de Crevillente, Serral-Salinas y Umbría. Así mismo mejoran sensiblemente las garantías de suministro respecto a las actuales. Para ello requieren la regulación del trasvase en origen y su distribución en diez meses según se refleja en los apartados correspondientes a estas simulaciones.

ACUÍFERO	CAUDALES CAPTADOS (hm ³ /año)						
	SIM1	SIM2	SIM3	SIM4	SIM5	SIM6	SIM7
Serral-Salinas	19,739	12,777	12,095	12,882	13,184	12,777	1,767
Madara	3,872	3,579	3,571	3,771	3,724	3,763	2,767
Umbría	5,726	3,563	3,481	3,683	3,718	3,679	0,972
Argallet	1,232	0,971	0,961	1,017	0,996	1,018	0,303
S ^a Crevillente	9,020	6,322	6,054	7,193	7,207	7,192	1,517
Aislado Aspe	0,150	0,140	0,141	0,150	0,150	0,150	0,000
Jumilla-Villena	26,056	14,447	12,621	13,185	17,179	13,147	10,618
Solana	45,949	22,436	22,436	23,920	24,583	15,059	20,838
S ^a Mariola (Cabranta)	2,849	0,320	0,320	0,680	0,680	0,680	0,000
Peña Rubia	4,637	2,404	2,404	2,404	2,404	2,000	2,404
Argueña	1,916	0,234	0,234	0,620	0,595	0,620	0,159
Elda	0,226	0,161	0,161	0,308	0,231	0,308	0,019
Caballo-Fraile	0,267	0,267	0,214	0,205	0,205	0,205	0,212
S ^a Cid	1,144	0,446	0,446	0,830	0,830	0,830	0,392
Tibi	0,264	0,118	0,118	0,141	0,137	0,139	0,118
Ventós-Castellar	0,258	0,053	0,053	0,113	0,084	0,084	0,053
TOTALES.....	123,305	68,238	65,310	71,102	75,907	61,651	42,139

Tabla 1. Comparación de los bombeos en acuíferos en las siete simulaciones

El escenario más probable, según las previsiones del Plan Hidrológico del Júcar, se analiza en la simulación 4 (SIM4), con un trasvase de 80 hm³/año distribuido en seis meses (octubre a marzo), y con sustitución de parte de los bombeos por aguas trasvasadas. Con este esquema se consigue igualmente una reducción importante de la explotación de los acuíferos respecto a la situación actual, aunque en menor grado que con las alternativas 2 y 3. Se mantendría como en los casos anteriores la sobreexplotación en los de Sierra de Crevillente, Serral-Salinas y Umbría, y ligeramente en los de Solana y Madara. En cuanto a las garantías, mejorarían sensiblemente las agrícolas pero no

así las urbanas, que empeorarían significativamente. Esto es debido a la obligación de sustituir determinados bombeos para abastecimiento urbano por aguas del trasvase, que con la regulación propuesta en seis meses y la infraestructura prevista, no es capaz de garantizar adecuadamente el suministro en los meses de verano, mientras que se producirían excedentes no aprovechables en los meses de invierno. Por ello no se considera adecuada esta sustitución de bombeos para abastecimiento urbano, sino que debería permitirse mantenerlos operativos como apoyo a este esquema de gestión.

ACUÍFERO	EXPLOTACIÓN versus RECARGA de LLUVIA						
	SIM1	SIM2	SIM3	SIM4	SIM5	SIM6	SIM7
Serral-Salinas	571,3%	369,8%	350,1%	372,9%	98,2%	369,8%	51,1%
Madara	110,6%	102,3%	102,0%	107,7%	106,4%	107,5%	79,1%
Umbría	229,0%	142,5%	139,2%	147,3%	148,7%	147,2%	38,9%
Argallet	123,2%	97,1%	96,1%	101,7%	99,6%	101,8%	30,3%
S ^a Crevillente	601,3%	421,5%	403,6%	479,5%	480,5%	479,5%	101,1%
Jumilla-Villena	153,3%	85,0%	74,2%	77,6%	68,0%	77,3%	62,5%
Solana	212,6%	103,8%	103,8%	110,7%	99,0%	69,7%	96,4%
Peña Rubia	98,7%	51,1%	51,1%	51,1%	51,1%	42,6%	51,1%
Argueña	191,6%	23,4%	23,4%	62,0%	59,5%	62,0%	15,9%
Caballo-Fraile	19,1%	19,1%	15,3%	14,6%	14,6%	14,6%	15,1%
S ^a Cid	114,4%	44,6%	44,6%	83,0%	83,0%	83,0%	39,2%
Tibi	105,6%	47,2%	47,2%	56,4%	54,8%	55,6%	47,2%
Ventós-Castellar	103,2%	21,2%	21,2%	45,2%	33,6%	33,6%	21,2%
TOTALES.....	205,8%	113,9%	109,0%	118,7%	93,3%	102,9%	70,3%

Tabla 2. Comparación de la explotación en acuíferos en las siete simulaciones.

Sin embargo si se utilizan esos excedentes invernales para la recarga artificial de los acuíferos del Alto Vinalopó (Serral-Salinas, Solana y Jumilla-Villena), tal como se analiza en la simulación 5 (SIM5), a la vez que se mantienen operativos los sondeos actuales para abastecimiento urbano, se conseguiría eliminar la sobreexplotación en esos tres acuíferos, con lo que sólo quedarían en esa situación los de Sierra de Crevillente, Umbría, y

ligeramente Madara. Pero al incrementar los recursos de los acuíferos, esta situación permitiría aumentar los bombeos respecto a las alternativas anteriores. Eso se reflejaría también en una mejora significativa de las garantías y reducción del déficit respecto a la simulación 4.

Otra medida analizada, mediante la simulación 6 (SIM6), es la posible sustitución de las extracciones de aguas subterráneas del

sistema destinadas a satisfacer demandas urbanas del Alacantí, por recursos procedentes de la desalación. También se ha supuesto en esa alternativa la sustitución de los 10 hm³ del trasvase destinados a la Marina Baja por agua desalada, destinando este volumen a para atender el resto de demandas del sistema. Con este escenario, similar por lo demás a la alternativa 4, la explotación de los acuíferos sólo mejora sensiblemente con respecto a esa simulación para el acuífero de Solana, que se conseguiría poner en situación de recuperación. En las garantías se produce una mejora con respecto a la alternativa 4, pero las urbanas siguen siendo más desfavorables que en el

sistema actual de gestión. Seguiría siendo insuficiente la capacidad de regulación para un trasvase concentrado en seis meses (octubre a marzo).

Se ha calculado, a través del escenario 7 (SIM7), el volumen y distribución del trasvase necesarios para satisfacer demandas y equilibrar o recuperar acuíferos. Se propone a ese efecto una distribución mensual de la aportación del trasvase regulada en origen y repartida a lo largo de todo el año, que suma un total de 104,25 hm³, lo que supone un incremento de 24,25 hm³/año con respecto al trasvase máximo previsto por el Plan Hidrológico (80 hm³/año).

	Demanda anual (hm³)	Garantía mensual media (%)	Garantía anual media (%)	Déficit medio anual (hm³)	% Déficit medio respecto demanda
SIMULACIÓN 1. SITUACIÓN ACTUAL					
Suma urbanas	15,601	89,9	100,0	0,163	1,0
Suma agrícolas	68,126	68,2	20,0	16,590	24,4
Total	83,727	80,1	63,6	16,753	20,0
SIMULACIÓN 2. CON TRASVASE 10 MESES					
Suma urbanas	15,913	96,6	97,2	0,074	0,5
Suma agrícolas	68,263	91,0	88,3	2,174	3,2
Total	84,176	94,1	93,2	2,248	2,7
SIMULACIÓN 3. CON TRASVASE 10 MESES Y EDARS					
Suma urbanas	15,913	96,6	94,4	0,084	0,5
Suma agrícolas	68,263	93,3	86,7	1,300	1,9
Total	84,176	95,1	90,9	1,384	1,6
SIMULACIÓN 4. CON TRASVASE OCT-MAR Y EDARS					
Suma urbanas	15,913	76,3	33,3	2,077	13,1
Suma agrícolas	68,263	81,7	35,0	5,938	8,7
Total	84,176	78,7	34,1	8,015	9,5
SIMULACIÓN 5. CON TRASVASE OCT-MAR Y RECARGA					
Suma urbanas	15,913	95,1	100,0	0,072	0,5
Suma agrícolas	68,263	87,3	66,7	3,155	4,6
Total	84,176	91,6	84,9	3,227	3,8
SIMULACIÓN 6. SIN DEMANDAS URBANAS ALACANTÍ NI MARINA					
Suma urbanas	15,913	81,3	50,0	1,998	12,6
Suma agrícolas	68,263	83,3	30,0	4,836	7,1
Total	84,176	82,2	40,9	6,834	8,1
SIMULACIÓN 7. TRASVASE NECESARIO PARA EQUILIBRAR ACUÍFEROS					
Suma urbanas	15,913	97,9	100,0	0,036	0,2
Suma agrícolas	68,263	98,3	100,0	0,128	0,2
Total	84,176	98,1	100,0	0,164	0,2

Tabla 3. Comparación de las garantías obtenidas en las siete simulaciones.

Propuestas de actuación

Como consideraciones finales se puede concluir que con un trasvase de 80 hm³/año distribuido en seis meses (octubre a marzo), y con sustitución de parte de los bombeos por aguas trasvasadas, se consigue una reducción importante de la explotación de los acuíferos respecto a la situación actual, aunque se mantendría la sobreexplotación en los de Sierra de Crevillente, Serral-Salinas y Umbría, y ligeramente en los de Solana y Madara. Las garantías para demandas agrícolas mejorarían sensiblemente, pero no así las urbanas que empeorarían significativamente debido a la obligación de sustituir determinados bombeos para abastecimiento urbano por aguas del trasvase. Esto unido a la regulación propuesta en seis meses y la infraestructura prevista, no permite garantizar adecuadamente el suministro en los meses de verano, mientras que se producirían excedentes no aprovechables en los meses de invierno. Se deduce por tanto, que la capacidad del embalse proyectado en La Encina (20 hm³) resulta insuficiente para regular los caudales trasvasados sin modulación.

Para solventar estos inconvenientes sería necesario por una parte la regulación en origen del trasvase para distribuirlo al menos en diez meses, o bien la aplicación de recarga artificial en los acuíferos del Alto Vinalopó (Serral-Salinas, Jumilla-Villena y Solana) con los excedentes producidos en los meses invernales, así como mantener los sondeos actuales de abastecimiento urbano como apoyo. Con estas medidas se conseguiría mejorar las garantías tanto agrícolas como urbanas, además de permitir una mayor recuperación de los acuíferos.

Debe señalarse, por otra parte, la conveniencia de mantener los abastecimientos con aguas subterráneas por su mayor calidad, en general, respecto a las aguas superficiales.

Otra medida complementaria que podría contribuir a mejorar garantías y recuperar acuíferos, sería la sustitución de parte de la explotación de recursos subterráneos del sistema destinados a satisfacer demandas urbanas del Alacantí y Marina Baja, por recursos procedentes de la desalación.

V CONCLUSIONES

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 de aguas superficiales y subterráneas. Cuando en este esquema intervienen también los recursos no convencionales se denomina gestión integral.

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 período de tiempo, así como su respuesta a las solicitudes a las que se le somete, se determina normalmente 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 conducción 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.

La gestión integral se caracteriza mediante tres ideas claves:

- Complementariedad de actuación entre las distintas componentes o fuente de agua de un único recurso hídrico.
- Posibilidad de incrementar o mantener la disponibilidad de los recursos hídricos y/o 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).

En el diseño e implantación de un determinado esquema de gestión integral 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 gestión. La distribución de los costes a aplicar, salvo cuando se contemplen beneficios de índoles social, no deberá ser uniforme, sino proporcional al uso que se haga de las infraestructuras.

La Ley de aguas en lo que se refiere a la utilización 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 compleja debido

a diversas causas entre las que se pueden citar:
dificultad de acuerdos económicos, derechos
adquiridos, individualismo, desconfianza,
enfrentamientos, etc.

VI BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Albacete Carreira, M. (1995). "El papel del agua subterránea en los regadíos españoles: aspectos legales, de planificación y económicos". *Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas Española: Un decenio de Experiencia*. Murcia.
- Andreu Álvarez, J. (1993). *Análisis de sistemas y modelación. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. (Ed. Andreu, J.). Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). Barcelona, pp. 24-33.
- 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. Carcelona, pp. 298-321.
- Andreu, J.; Capilla, J. y Cabezas, F. (1994). *Los sistemas soporte de decisión en la planificación gestión racionales de los recursos hídricos*. Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente. (Ed. TIASA). Zaragoza, pp. 95-106.
- 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 págs.
- Andreu, J.; Capilla, J. y Sánchez, E. (1993). "El 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, pp. 327-391.
- Andreu, J.; Capilla, J.; Sanchís, 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 págs.
- Aragonés Beltrán, J.M. (1997). *Gestión de la utilización conjunta: aspectos administrativos y legales. Curso sobre utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 8 págs.
- Arenas Cuevas, M (1995). "El papel del agua subterránea en los regadíos españoles: aspectos legales, de planificación y económicos". *Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas Española: Un decenio de Experiencia*. Murcia.
- Barba Romero, J.; Batlle Gargallo, A.; López Arechavala, G.; López a, J.A.; López Vilches, L. y Navarro Alvargonzález, A. (1991). "Determinismo y estadística, fiabilidad y garantía en la evaluación de los recursos hídricos". *I. Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera*.
- Batlle Gargallo, A. (1998). "Gestión de los acuíferos costeros en España". *TIAC'88. Tecnología de la Intrusión Marina en Acuíferos Costeros*. Almuñecar (Granada).
- Brandt, G. (1998). *Arrenaes artificial recharge trial plant, Denmark. Hydrological and chemical aspects*. Third International Symposium on Artificial Rcharge of Groundwater. Amsterdam, pp. 217-222.
- Cabezas Calvo-Rubio, F. (1993). *Consideración 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, pp. 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), pp. 95-118.
- Custodio, E. (1983). *El uso conjunto en el Pirineo Oriental*. Problemas de Calidad. Curso sobre utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Servicio Geológico de Obras Públicas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-Castellón de la Plana. Documento E-8, pp. 1-21.
- 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), pp. 197-203.
- De la Orden, J.A. y Murillo, J.M. (1996). *¿Es posible recuperar todos los acuíferos sobreexplotados dentro de los dos horizontes definidos en la planificación hidrológica?*. II Congreso Nacional de Agua y Medioambiente. Zaragoza, pp. 137-143.
- Diputación Provincial de Jaén-ITGE. (1997). *Atlas hidrogeológico de la Provincia de Jaén*. Jaén, 175 págs.
- Dreher, J.E. & Gunatilaka, A. (1998). *Groundwater manangement system in Vienna, Austria. An evaluation after three years of operation*. Third International Symposium on Artificial Recharge of Grondwater. Amsterdam, pp. 167-172.
- Estrela Monreal, T. (1996). *Integración de los recursos de aguas subterráneas en el conjunto de los recursos. Papel de las aguas subterráneas en la garantía de suministro urbano y agrícola. 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, pp. 291-295.
- Fernández Bethencourt, J.D. (1997). *El Plan Hidrológico de Tenerife y las aguas subterráneas. Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria, Pp. 43-51..
- Galofrei i Torredemer, A. Y Llamas Madurga, M.R. (1999). *La gestión de las aguas subterráneas en España y en Cataluña*. Homenaje AlfonsBayó. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona, Pp. 201-213.
- Guerra Marrero, J.L. (1997). *El Plan Hidrológico de Gran Canaria y las Aguas Subterráneas, Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria, Pp.53-58.
- Gutierrez Escudero (1983). "Problemas institucionales y Legales". *Curso sobre Utilización conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.
- Hatva, T. (1996). *Artificial groundwater recharge in Finland*. Intenational symposium on Artificial Recharge of Groundwater. Helsinki, pp. 3-12.

- Heras, R. (1976). *Hidrología y Recursos Hidráulicos*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos.
- Hjort, J & Ericsson, P. (1996). *Investigation of a future artificial groundwater supply of greater Stockholm*. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater. Helsinki, pp. 25-30.
- ITGE (1984). *Estudio general de las posibilidades que ofrecen los grandes sistemas acuíferos en la regulación del potencial hídrico nacional mediante módulos de gestión simplificados*. Madrid.
- ITGE-CAOPTJA. (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 Sistema de Abastecimiento Público de Andalucía. Granada, 87 págs.
- 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 págs.
- Jos, H. (1996). *Are there any blueprint for artificial recharge?*. International Symposium on artificial recharge of groundwater. Helsinki, Finlandia. The Nordic coordinating committee for hydrology, Kohyno, pp. 257-269.
- Lanz, K.; Greenpeace España (1997). *El Libro del Agua*. Temas de Debate. Editorial Debate.
- László, F. & Literathy, P. (1996). *Processes affecting the quality of bank-filtered water*. International symposium on Artificial Recharge of Gronswater. Helsinki, pp. 53-64.
- 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 págs.
- Llamas, R. y Custodio, E. (1999). "Aguas Subterráneas". *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*. Fundació CIDOB, núms.. 45-46, pp. 35-37.
- Llamas, R.R., (1999). *La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada*. Curso verano. Departamento de Química. Universidad de Burgos, pp. 79-102.
- López Arechavala, G. (1993). "Datos de Base para los Estudios Hidrológicos". *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. ITGE-Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- López Arechavala, G.; López Geta, J.A. y Murillo Díaz, J.M. (1996). "Reordenación hidrológica de cuencas o subcuencas hidrográficas con intervención de sistemas acuíferos subterráneos". *Boletín Geológico y Minero*, vol. 107, 2: 162-179.
- López Camacho y Camacho, B. (1983). "Aspectos económicos". *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.
- López García, J. (1993). *Simulación de sistemas de recursos hidráulicos*. (ed. Andreu, J.).

- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). Barcelona, pp. 125-135.
- López Geta, J.A. (1993). *Consideración de estos recursos en los Planes Hidrológicos. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales*. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, pp. 349-370.
- López Geta, J.A. y Murillo Díaz, J.M. (1993). “Recarga de acuíferos y reutilización de recursos hídricos”. *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. Instituto Tecnológico y Minero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- López Geta, J.A. y Murillo Díaz, J.M. (1994). “Mejora de la Regulación Hídrica mediante la integración de los acuíferos en los Sistemas de Explotación”. *Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*. León.
- López Geta, J.A. y Murillo Díaz, J.M. (1995). “Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de aguas superficiales. Importancia de la interrelación geográfica entre unidades hidrogeológicas y elementos de regulación superficial”. *XI Congreso Latinoamericano de Geología*. Caracas (Venezuela).
- López Geta, J.A. y Murillo Díaz, J.M. (1996). “Optimización y tratamiento de recursos hídricos”. *Boletín Geológico y Minero*, vol. 107, 1: 55-68.
- 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 págs.
- López Geta, J.A.; Martín Machuca, M.; Rubio Campos, J.C.; Mediavilla Laso, C.; Murillo Díaz, J.M. y González Ramón, A. (1995). “Consideraciones sobre la integración de los acuíferos de la cuenca del Guadalquivir en la planificación Hídrica”. *Tierra y Tecnología*, vol. 9, Madrid, pp. 7-21.
- Martín Mendiluce, J.M. (1983). *Los planes hidrológicos y las aguas subterráneas*. III Simposio de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, tomo X, pp. 31-47.
- Mateos Ruiz, R.M.; Crespí Bestard, D.; Galmés Díaz Plaja, A. y González Casanovas, C. (2001). *Regadío con aguas residuales tratadas en la isla de Mallorca. Afección de las aguas subterráneas*. VII Simposio de Hidrogeología, 24, pp. 243-253.
- MIMAM. (2000^a). *Libro blanco del agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, 637 págs.
- MIMAM. (2000^b). *Plan Hidrológico Nacional. Análisis de los Sistemas Hidráulicos*. Ministerio de Medio Ambiente, 390 págs.
- MINER-MOPTMA (1994). *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 135 págs.
- Morel-Seytoux, H.J. (1985). *Conjunctive use of surface and ground waters*. Artificial Recharge of Groundwater (Ed. Asano, T.). Butterworth Publisher. Stoneham. United States of American, pp. 35-67.
- 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, pp. 35-67.
- Mujeriego, R. (1993). *La reutilización planificada del agua: elemento básico de la gestión de los recursos hidráulicos*. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, pp. 237-260.
- Mujeriego, R. (1996). *La recarga de acuíferos con aguas residuales*. Jornadas Técnicas XXX Aniversario del Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona, 9 págs.
- Murillo Díaz, J.M. (1994). *Unicidad del recurso hídrico y dicotomía de sus posibilidades técnicas de explotación*. Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente. (Ed. TIASA). Zaragoza, pp. 107-113.
- 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 Tecnológico Geominero de España. Alicante, 157 págs.
- Navarro Alvargonzález, A; Fernández Uría, A. Y Doblas Domínguez, J.A. (1993). *Las Aguas Subterráneas en España*. Estudio de Síntesis. Instituto Tecnológico Geominero de España, 591 págs.
- Navarro Iañez, J.A. y Murillo Díaz, 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. España.
- 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, pp. 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. Papel de las subterráneas en la garantía de suministro urbano y agrícola. 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, pp. 283-289.
- Porras Martín, J. (1977). “Utilización de las aguas residuales urbanas para riego y recarga artificial”. *Beletín Geológico y Minero*, T. LXXXVIII, pp. 43-58.
- Postel, S. (1993). *El último Oasis*. Apóstrofe Divulgativo. Barcelona.
- 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, pp. 73-88.
- Sahún Artigas, B. Y Murillo Díaz, J.M. (2000). *Identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos en las cuencas intercomunitarias*. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Tecnológico Geominero de España, 57 págs.

- Sahuquillo Herraiz, A. (1983^a). *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, pp. 1-8.
- Sahuquillo Herraiz, 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-Castellón de la Plana. Documento A-1, pp. 1-17.
- Sánchez González, A. (1983). “Definición e Identificación del Sistema de Recursos Hidráulicos”. *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.
- Sánchez González, A. (1993). “Aspectos socioeconómicos. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales”. *Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo* de Santander.
- Sánchez González, A. (1995). “Las aguas subterráneas en la planificación y gestión de los recursos de agua españoles”: uso conjunto y combinado con las otras fuentes de agua. Estado actual y perspectivas”. *Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas Española: Un decenio de Experiencia*. Murcia.
- Sánchez González, A. (1995). *Las aguas subterráneas en la planificación y gestión de los recursos de aguas españolas: uso conjunto y combinado con las otras fuentes de agua. Estado actual y perspectivas. Las aguas subterráneas en la Ley de Aguas española: un decenio de experiencia*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Murcia, pp. 193-200.
- 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 págs.
- Sanchís Moll, E.J. y Morell Evangelista, I. (1983) “Corrección del déficit hidráulico de la cuenca del río Vinalopó (prov. Alicante)”. III Simposio de Hidrogeología. *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, tomo IX, Madrid, pp. 419-427.
- Sahuquillo Herraiz, A. (1985). “Criterios actuales para la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas. *Revista de Obras Públicas*, año CXXXII, núm. 3235, pp. 231-253.
- Sahuquillo Herraiz, A. (1993). “Las Aguas Subterráneas en la Planificación y Gestión de los Recursos Hidráulicos”. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander.
- Sahuquillo Herraiz, S. (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 Intenacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Lleida, pp. 59-71.
- 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, pp. 103-117.

- Sauquillo, A. (1996). *Posibilidades del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en la planificación hidrológica*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Lleida, pp. 59-71.
- Sauquillo, 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), pp. 183-196.
- Sauquillo, A. (2001). *El Plan Hidrológico Nacional y el Uso Conjunto. Las Aguas Subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español, pp. 62-77.
- Saura Martínez, J. (1993). “Análisis de la cuenca del Guadalquivir. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales”. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez de Santander.
- Shamir, U. (1993). *Desarrollo y gestión de los recursos de aguas subterráneas: principios generales y el caso de Israel. Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid, pp. 134-144.
- Torres Corral, M. (1993). *La desalación de agua en España. Panorama actual y futuro. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales*. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, pp. 111-127.
- Varela Sánchez, M. y Fernández Sánchez, J.A. (1998). *Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados. Formulación de estudios y actuaciones*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, 66 págs.