PAPEL DE LOS ACUÍFEROS EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

J.A. LÓPEZ GETA Y J.M. MURILLO DÍAZ

Instituto Tecnológico Geominero de España, Ríos Rosas, 23, 28003 - Madrid

ASPECTOS BÁSICOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL CICLO DEL AGUA. UTILIZACIÓN COORDINADA DE RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS

La hidrología superficial y subterránea emplea un léxico que, en determinados casos, está afectado de una dualidad conceptual para un mismo vocablo. Esta falta de afinidad terminológica, que propugna en cierta medida la pervivencia de la dicotomía aguas superficiales - aguas subterráneas, constituye el argumento del presente apartado, cuyo contenido intenta precisar y unificar una serie de ideas concernientes a la intervención de los acuíferos como un componente adicional de la gestión integral del ciclo del agua.

Aportación y escorrentía

Se denomina **escorrentía** al volumen total de agua contabilizado 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 infiltrada 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 ocu-

rrir 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.

a) **Escorrentía estrictamente superficial**: Corresponde a la fracción de la lluvia útil que circula siempre en superficie hasta su cesión al mar y, por consiguiente, no es nunca subterránea.

b) **Escorrentía superficial de origen subterráneo**: Corresponde a la fracción de la lluvia útil que se infiltra directamente a través de la superficie del terreno, circulando 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 se infiltra en el subsuelo 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 se infiltra directamente en el terreno, circulando a través del subsuelo, hasta drenarse directamente en el mar.

La multiplicidad mostrada por el recurso hídrico, al presentarse en la naturaleza con distinta apariencia, 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 o canales) y la contenida en los acuíferos mediante la aplicación de las técnicas de tipo subterráneo (normalmente sondeos o pozos). 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. 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 acuíferos 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 construidos sobre nuestra geografía que aprovechan, como mínimo, del orden de 2.800 hm³/a de escorrentía superficial de origen subterráneo.

El mejor o peor conocimiento que se tenga de las distintas fases o componentes de la escorrentía, anteriormente referenciadas, determinará que la utilización conjunta proporcione soluciones más o menos efectivas, aunque casi siempre más eficaces que las obtenidas planteando una utilización de forma separada.

Usos, consumos y demandas

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. Demanda, en cambio, es el volumen de agua que es necesario disponer para satisfacer un uso en cantidad, calidad, lugar y momento preciso. El agua aplicada por unidad de uso y tiempo recibe el nombre de dotación. Cuando se especifica la cadencia de su aplicación en el tiempo se 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 normalmente. La utilización conjunta constituye una técnica que puede y debe aportar soluciones a los graves problemas derivados de la escasez de agua. Su empleo no tiene por qué estar limitado a comarcas con un importante déficit de recursos hídricos. Su aplicación práctica se debe circunscribir, casi exclusivamente, a un problema de satisfacción de la demanda, no de ofertar recursos. En este sentido es preciso tener presente que la gestión del agua no sólo debe de ser integral, sino también racional, lo que implica conjugar la productividad inmediata y la sostenibilidad.

La aplicación adecuada de dotaciones moduladas, así como la adaptación del consumo a la demanda teórica necesaria para satisfacer un determinado uso, constituye un fin a alcanzar dentro de la nueva ética del agua, que no debe pasar desapercibido cuando se plantea la formulación de objetivos en un determinado esquema de utilización conjunta.

Regulación y recursos

Se entiende por regulación la adaptación en cantidad, calidad, espacio y tiempo de una escorrentía 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 escorrentía subterránea, por lo que se atribuye a ésta última una regulación natural. Esto no es cierto, aunque sí es verdad que la escorrentía 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 escorrentía estrictamente superficial, en cambio, no goza de estas atribuciones y su respuesta a la precipitación presenta carácter casi inmediato. La variabilidad es la propiedad que caracteriza al caudal circulante por un río. La escorrentía subterránea, por las razones aducidas anteriormente, resulta más apropiada, que la superficial, para un aprovechamiento a través de lo que se denomina regulación natural. Este tipo de regulación precisa que la demanda máxima sea del mismo orden de magnitud que el mínimo caudal suministrado por un río o manantial en estiaje.

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. En España se considera que la aportación regulada de forma natural alcanza aproximadamente una cuantía de 10.000 hm³/año. Su distribución espacial se centra, además, en las cuencas del norte peninsular y zonas con formaciones acuíferas importantes. 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 una demanda, cada vez más creciente.

La regulación de tipo superficial 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 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 la satisfacción de la demanda, según los casos, para el año más desfavorable o para el período más desfavorable.

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 reservar excedentes hídricos en 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. Es necesario reconocer que los sistemas tradicionales de regulación, incluyendo también la regulación natural, sólo son capaces de satisfacer o garantizar hasta un cierto valor de la demanda en cuanto se presenta un episodio climático seco.

La situación final de un determinado sistema hídrico, tras un año seco, depende del grado de llenado del embalse al comienzo del mismo. Dos años seguidos secos originan, en algunos sistemas, fallos en el suministro. Tres años, con casi toda seguridad, agravan la situación de otros muchos y así sucesivamente año tras año.

La utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas puede solventar estas situaciones extremas haciendo uso de la capacidad de almacenamiento de los acuíferos que, con frecuencia, es varias decenas o centenares de veces superior a su recarga media anual. Las aguas subterráneas en el uso conjunto se aprovecharán en los momentos que la planificación lo aconseje. El uso prioritario de la aportación superficial, en épocas húmedas, creará un vaciado en el vaso de los embalses, que permitirá aprovechar las puntas de las avenidas, anteriormente perdidas 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 suministrarán a partir de bombeo en los acuíferos. Esta forma de proceder permite aprovechar una mayor cantidad de agua su-

periférica, ya que su 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 de utilización, se recuperarán en los períodos húmedos, ya que en dicha época no se explotarán los acuíferos.

Garantía de suministro

Uno de los logros más importantes e interesantes que se alcanza mediante la integración de los acuíferos 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. Estas aguas de origen subterráneo no sólo pueden 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 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 acuíferos en los sistemas de explotación de las aguas superficiales pueden permitir la construcción de embalses con una garantía más baja, ya que las aguas subterráneas podrían complementar el resto de la demanda.

Aspectos legislativos y financieros

La implantación del uso conjunto exige realizar un análisis económico estructurado según las peculiaridades que caracterizan la inversión para cada tipo de regulación (superficial o subterránea) individualmente, así como de los costes que implica no satisfacer una determinada demanda. La rentabilidad del proyecto la determinará la comparación de estos resultados con

los obtenidos para el esquema de utilización conjunta. La realización de estos análisis puede resultar una operación notablemente complicada. En general se puede indicar que la explotación de las aguas superficiales precisa de grandes inversiones, mientras que sus costes de operación son normalmente reducidos. En cambio, las aguas subterráneas requieren de inversiones iniciales pequeñas, aunque sus costes de operación son más elevados.

Una vez confirmada la viabilidad del proyecto será preciso distribuir los costes de creación y operación de la infraestructura entre los distintos usuarios implicados en el proyecto, así como evaluar los efectos negativos que se puedan derivar hacia otros usuarios no integrados en el sistema de uso conjunto. Evidentemente, la distribución de los costes a aplicar, salvo cuando se contemplen beneficios de índole social, no deberá ser uniforme, sino proporcional al uso que se haga de las infraestructuras.

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

Otros artículos de la ley de Aguas relacionados con la utilización coordinada de los recursos superficiales y subterráneos son el 53 (Fijación por el Organismo de cuenca del régimen al que habrá de adaptarse la utilización coordinada de los aprovechamientos existentes), el 57 (Otorgamiento de concesiones), el 59 (Sustitución de caudales), el 68 (Afección a concesiones existentes), el 106 (Canon de regulación), así como el 30 y el 31 relativos a la Junta de Explotación y a la Comisión de Desembalse.

ANTECEDENTES Y EVOLUCIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN EL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

La satisfacción de una demanda concreta de agua mediante el uso planeado y coordinado de recursos superficiales y subterránea se denomina utilización conjunta. Para el suministro de dicha demanda habrá que 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.

La integración de los acuíferos y los embalses de superficie en una gestión conjunta, precisa de estudios que interrelacionen la localización geográfica y potencialidad hídrica de las Unidades Hidrogeológicas y de la infraestructura hidráulica existente y prevista con las correspondientes unidades de demanda. Aunque no siempre resulta fácil realizar una esquematización estrictamente conceptual de una cuenca hidrográfica se puede subdividir la misma, en relación con sus elementos de regulación y almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, en las zonas que se detallan en el cuadro 1. A dicha subdivisión es preciso superponerle la localización geográfica de los centros de demanda.

En general se admite que en Europa occidental, debido a la abundancia de agua superficial, la utilización coordinada de recursos superficiales y subterráneos no constituye una actividad que se aplique con relativa frecuencia. Esta apreciación se refiere fundamentalmente a la

Cuadro 1

ZONAS SITUADAS AGUAS ARRIBA DE LA REGULACIÓN SUPERFICIAL	Subcuencas reguladas por embalses sin acuíferos aguas arriba.
	Subcuencas reguladas por embalses con aportes de acuíferos con escasa o nula explotación.
	Subcuencas reguladas por embalses con aportes de acuíferos explotados en su cuenca vertiente.
ZONAS CON ACUÍFEROS SITUADAS AGUAS ABAJO DE LA REGULACIÓN SUPERFICIAL	
ZONA CON SUBCUENCAS NO REGULADAS POR EMBALSES Y SIN ACUÍFEROS	

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

Las experiencias más notorias realizadas en otros países se resumen a continuación:

Finlandia: En la actualidad dispone de 28 plantas de recarga artificial, con capacidades de hasta 21.000 m³/día. 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 en Suecia varios sistemas de abastecimiento situados en Ekerö, Eskilstuna, Gävle, Uppsala y Estocolmo que utilizan la recarga artificial como fuente de agua. Estos sistemas abastecen a poblaciones de entre 2.500 y 150.000 habitantes. Las plantas tienen capacidades de entre 1.000 y 55.000 m³/día.

Alemania: En este país el agua subterránea aporta 3.100 hm³/año al abastecimiento urbano representando esta cantidad el 63,5 % del total destinado a tal fin. De esos 3.100 hm³/año, aproximadamente 520 hm³/año 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 industrial experimental, situada en la isla de Zealand, construida por la compañía de abastecimiento a Copenhague.

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

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

En España, la gestión integral de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, presenta una situación relativamente pareja a la Europea, aunque con la particularidad de enfocarse hacia un esquema de utilización alternativo, donde se hace más uso de las aguas superficiales en los años húmedos y de las subterráneas en los secos.

Las realizaciones existentes en España responden 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 nivel individual u organizados en Comunidades. No obstante, la Administración ha colaborado posteriormente en mejorar muchos de los sistemas que espontáneamente surgieron. 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 más relevantes efectuadas en materia de utilización conjunta se relacionan, probablemente, 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 principios de siglo en que 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 a 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, Plana de Sagunto y río Palancia, Marina Baja y Delta del Adra.

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, Valle del Serpis y Plana de Gandía (Valencia), Campo de Tarragona y Campo de Cartagena.

La ejecución teórica de estudios de utilización conjunta 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 estudiaron casos concretos en las cuencas del Júcar, Guadalquivir, Sur, Tajo, Duero y Ebro. El Instituto Geológico y Minero de España, actualmente Instituto Tecnológico Geominero de España, realizó un estudio de carácter general a nivel nacional y posteriormente estudios específicos en las cuencas de los ríos Fluviá y Muga, Mijares, Júcar, Guadalentín, Guadalhorce y Guadalfeo.

Ambos Organismos desarrollaron o promovieron sus propios modelos matemáticos de Gestión que en el caso de la DGOH se denominaron USOCON y CONGERE. Los modelos desarrollados por el ITGE se denominaron COMBI-2 y GESTO. La Universidad Politécnica de Valencia ha creado el modelo AQUATOOL de gestión e investigación de recursos hidráulicos que incluye un módulo de optimización, un módulo de simulación de la gestión y un módulo de preproceso de aguas subterráneas. En la cuenca del Segura se ha aplicado este último mo-

delo de simulación y gestión integrando los recursos superficiales y subterráneos; diversas unidades de demanda agraria, urbana e industrial; los retornos que se producen a las aguas superficiales y a los acuíferos; y los vínculos de unión existentes entre los elementos de recursos y las unidades de demanda. Sobre dicho modelo se han ensayado diversas estrategias de gestión que desembocaron, durante la última sequía, en un incremento de la capacidad de bombeo de los acuíferos de las Vegas Alta y Media, así como del Sinclinal de Calasparras. No obstante, la gestión adecuada de estos acuíferos requiere de una simulación complementaria sobre modelos de flujo suficientemente detallados.

LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA Y LA INTEGRACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

El programa “Integración de las Unidades Hidrogeológicas en los Sistemas de Explotación”

La integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de las aguas superficiales se encuentra recogida en diversos artículos de la Ley de Aguas.

El programa Nº 16 del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas titulado “Integración de las Unidades Hidrogeológicas en los Sistemas de Explotación” determina la línea a seguir para implantar la utilización conjunta en las zonas donde puedan obtenerse mejoras significativas en la gestión. Para lograr este objetivo establece tres etapas secuenciales de actuación.

1. Realización de estudios y análisis de sistemas para definir los elementos básicos de la gestión conjunta en cada zona: infraestructura a crear y regla de operación de las mismas.

2. Redacción de los proyectos de las infraestructuras, evaluación económico-financiera, análisis de costes y tarifas, estudios legislativos del régimen de utilización conjunta y creación de comunidades de usuarios.

3. Implantación real de los esquemas.

Previamente a la realización de la primera etapa se ha efectuado un estudio para concretar una serie de aspectos básicos que comprende los siguientes puntos:

- Seleccionar e identificar los sistemas de explotación de recursos que serán objeto de análisis en términos de utilización conjunta.
- Definir, para cada uno de los sistemas identificados, los elementos esenciales de configuración: acuíferos y ríos o tramos de ríos que intervienen, demandas de agua, infraestructuras de almacenamiento y transporte, vínculos y relaciones a considerar entre los elementos descritos.
- Describir el alcance y contenido de los estudios que es preciso realizar en cada caso.
- Valorar el coste de realización de dichos estudios.

Los sistemas de uso conjunto integrantes del programa

- Los criterios utilizados para la selección de los sistemas o zonas donde la incorporación de los acuíferos a los sistemas de explotación de aguas superficiales pueden introducir mejoras significativas en la gestión hídrica han sido los siguientes:

- El ámbito territorial se ha restringido a las cuencas intercomunitarias.
- Se ha procurado que el acuífero o acuíferos implicados en cada esquema posean unas posibilidades mínimas de explotación del orden de 10 hm³/año.

- No se han formulado esquemas de uso conjunto con acuíferos a explotar situados por encima de grandes embalses de regulación, salvo cuando se presenta la excepción de una demanda objetivo situada también por encima de dichos embalses.

- Se ha efectuado una coordinación con otros Programas del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. Particularmente con el de Recarga Artificial (nº 15) y el de Emergencias de Sequía (nº 13).

- Se ha contemplado la existencia de estudios previos en los que se han alcanzado conclusiones de naturaleza equivalente a las perseguidas en la primera etapa propuesta.

La aplicación de estos criterios ha llevado a la selección de 27 esquemas de explotación (cuadro 2) en los que se integran 70 unidades hidrogeológicas junto a 71 embalses y 16 grandes infraestructuras de conducción.

Esta selección no presupone que sólo sean 27 las zonas de España donde se precisa integrar la explotación de las aguas subterráneas en la gestión del sistema hídrico, sino que la coordinación, con otros programas del Libro Blanco, considera más adecuado contemplar en esos programas los otros posibles esquemas que se pueden plantear. Asimismo, existen actuaciones de uso conjunto (río Serpis, Plana de Castellón o acuífero de Madrid) que no precisan de esta primera etapa.

Dentro del programa (nº 13) que contempla el apoyo a los abastecimientos urbanos en épocas de sequía se estudiarán aquellos grandes sistemas de abastecimiento urbano (p.ej. Bilbao-Vitoria, Valencia, Alicante-Murcia, Granada), basados en aguas superficiales, que disfrutan de una elevada garantía de servicio, por lo que sólo precisan del complemento de las aguas subterráneas en circunstancias excepcionales. Estos sistemas, así como otros de dimensiones más reducidas, que requieren una garantía total de suministro, se verán muy favorecidos por la integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de los recursos hídricos. A medio plazo todos los abastecimientos urbanos deberían contar con una reserva estratégica de aguas subterráneas que pueda paliar posibles déficits estructurales.

Cuadro 2

CUENCA	DENOMINACIÓN DEL ESQUEMA
NORTE	Asturias Centro
DUERO	Cega-Pirón y Adaja-Eresma Órbigo Cea
TAJO	Alberche
GUADIANA	Bullaque
GUADALQUIVIR	Alto Guadiana Menor Baza Comarca de Jaén Alto Genil Cabra-Gaena Mancomunidad del Víboras Barbate
SUR	Guadiaro-Costa del Sol Occidental Guadalhorce-Guadalmedina Vélez y Costa Oriental de Málaga Verde (Almuñécar) Guadalfeo Andarax-Almería Adra-Campo de Dalías
JÚCAR	Palancia Júcar-Turía Marina Baja Cenia-Servol
EBRO	Martín Jiloca Aluviales del Ebro

El programa propuesto y las diferentes tipologías existentes de utilización conjunta

Es clásico estructurar (cuadro 3) las diversas modalidades de uso conjunto según cinco grandes grupos. La práctica totalidad de los sistemas de uso conjunto propuestos pertenecen a la denominada utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas. Esta tipología se fundamenta en hacer un mayor uso de las aguas superficiales en los años húmedos y de las subterráneas en los secos. No obstante, en dichos esquemas también intervienen, aunque en menor medida, otras tipologías del uso conjunto como son la recarga artificial, la regulación de manantiales, el aprovechamiento de la relación río-acuífero mediante la recarga inducida, etc. El único esquema que no se ha previsto realizar es el que contempla la sobreexplotación temporal de los acuíferos.

Cuadro 3. **Tipología del uso conjunto**

Utilización del acuífero como fuente de suministro de agua.	Sobreexplotación temporal del acuífero y uso de reservas.
	Uso de la recarga artificial.
Utilización del almacenamiento subterráneo.	Utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas.
	Utilización de los acuíferos como elementos de almacenamiento terminal.
	Regulación de manantiales.
Utilización del acuífero, suelo y zona no saturada como elemento de filtración y tratamiento.	
Utilización del acuífero mediante la inter-relación existente con las aguas superficiales o el mar.	Sistema río-acuífero.
	Acuíferos aislados.
	Acuíferos costeros.
Utilización del acuífero como elemento de transporte y distribución de agua.	

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 ALVAREZ, J.; CAPILLA, J. ; CABEZAS, F. (1994). «Los sistemas soporte de decisiones en la planificación y gestión racional de los recursos hídricos». *Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente*. Zaragoza.

ARAGONES BETRAN, 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.

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.; LOPEZ ARECHAVALA, G.; LOPEZ GETA, J.A.; LOPEZ VILCHES, L.; NAVARRO ALVARGONZALEZ, A. (1991). «Determinismo y estadística, fiabilidad y garantía en la evaluación de los recursos hídricos». *I. Biental 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).

BATLLE GARGALLO, A. (1993). «El papel de los embalses superficiales en la regulación de los recursos hidráulicos». *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

CUSTODIO GIMENA, E. (1983). «El uso conjunto en el Pirineo Oriental. Problemas de calidad». *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.

DOGH (1996). *Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de recursos hídricos. Proposición del programa estatal. Cuencas del Duero, Sur, Segura, Júcar y Ebro*.

DOGH-ITGE (1996). *Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de recursos hídricos. Proposición del programa estatal. Cuencas del Norte, Tajo, Guadiana y Guadalquivir*.

GUTIERREZ ESCUDERO (1983). «Problemas Institucionales y Legales». *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.

HERAS, R. (1976). *Hidrología y Recursos Hidráulicos*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos.

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 (1989). *Las Aguas Subterráneas en España. Estudio de Síntesis*.

LANZ, K.; GREENPEACE ESPAÑA (1997). *El libro del Agua*. Temas de Debate. Editorial Debate.

LOPEZ 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.

LOPEZ ARECHAVALA, G.; LOPEZ GETA, J.A.; MURILLO DIAZ, J.M. (1996). «Reordenación hidrológica de cuencas o subcuencas hidrográficas con intervención de sistemas acuíferos subterráneos». *Boletín Geológico y Minero*. Vol 107-2.

LOPEZ CAMACHO Y CAMACHO, B. (1983). «Aspectos económicos». *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.

LOPEZ GETA, J.A.; MURILLO DIAZ, J.M. (1993). «Recarga de acuíferos y reutilización de recursos hídricos». *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

LOPEZ GETA, J.A.; MURILLO DIAZ, 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.

LOPEZ GETA, J.A.; MURILLO DIAZ, 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).

LOPEZ GETA, J.A.; MURILLO DIAZ, J.M. (1996). «Optimización y tratamiento integral de recursos hídricos». *Boletín Geológico y Minero*. Vol 107-1.

MOPTMA-MINER (1994). *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente – Ministerio de Industria y Energía. Centro de Publicaciones del MOPTMA. Octubre 1994.

MURILLO DIAZ, J.M. (1994). «Unicidad del recurso hídrico y dicotomía de sus posibilidades técnicas de explotación». *Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente*. Zaragoza.

NAVARRO IAÑEZ, J.A.; MURILLO DIAZ, 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.

POSTEL, S. (1993). *El último Oasis*. Apóstrofe Divulgación. Barcelona.

SAHUQUILLO HERRAIZ, A. (1983). «Panorámica mundial. Tipología del uso conjunto». *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.

SAHUQUILLO HERRAIZ, A. (1985). «Criterios Actuales para la Gestión Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas». *Revista de Obras Públicas*. Año CXXXII. Núm. 3235.

SAHUQUILLO HERRAIZ, A. (1993). «Papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hidráulicos». *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectiva*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

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.

SANCHEZ GONZALEZ, A. (1983). «Definición e Identificación del Sistema de Recursos Hidráulicos». *Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Valencia-Castellón de la Plana.

SANCHEZ GONZALEZ, A. (1993). «Aspectos socioeconómicos. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales». *Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo* de Santander.

SANCHEZ GONZALEZ, 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.

SANCHEZ GONZALEZ, A.; MURILLO DIAZ, J.M. (1997). «Integración de los Acuíferos en los sistemas de explotación». *Programa estatal de estudios para la definición de la utilización coordinada de recursos superficiales y subterráneos*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas.

SAURA MARTINEZ, J. (1993). «Análisis de la cuenca del Guadalquivir. Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales». *Seminario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo* de Santander.