

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
EN LA
PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL EBRO

ANTONIO AZCÓN GONZÁLEZ DE AGUILAR
EDUARDO GARRIDO SCHNEIDER
JAVIER LAMBÁN JIMÉNEZ

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
OCTUBRE DE 2007

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL EBRO

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	4
2.1. La evolución del conocimiento hidrogeológico de la cuenca. Bosquejo histórico	4
2.2. Actual grado de conocimiento de los acuíferos.....	9
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	15
4. PROPUESTAS, CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LA CONSIDERACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO	18
4.1. Mejora del conocimiento hidrogeológico en la cuenca del Ebro	18
4.2. Mejora de la infraestructura hidrogeológica.....	23
4.3. Integración de los recursos hídricos subterráneos en la gestión hidrológica de la cuenca	25
4.4. Propuestas técnico-administrativas para la gestión de las aguas subterráneas	31
5. VISIÓN APROXIMADA SOBRE LOS EFECTOS ECONOMICOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS PROPUESTAS REALIZADAS	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUCCIÓN

El vigente Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, informado favorablemente por el Consejo del Agua de la cuenca el 15 de febrero de 1996, aprobado en el artículo 1.h) del Real Decreto 1664/98, de 24 de Julio, supuso en su formulación el primer intento de incorporar las Aguas Subterráneas a la Planificación Hidrológica de la cuenca del Ebro y la plena asunción de las competencias que la Ley 29/1985, de Aguas, encomendaba al Organismo de Cuenca. Comenzaba así el cierre de un periodo de “impasse” en el campo de las Aguas Subterráneas iniciado diez años antes, tras la promulgación de dicha Ley, en el que la mayor parte de la energía y los recursos se consumieron en asumir y adaptar el conocimiento hidrogeológico existente a los criterios del nuevo organismo gestor.

La consideración de las Aguas Subterráneas en el vigente Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro era correcta en la mayor parte de su articulado. Tanto la Normativa como la Memoria y sus respectivos Anexos contenían una aceptable descripción del conocimiento entonces disponible, la problemática existente, la infraestructura de control y las medidas para paliar las carencias detectadas, y el tratamiento genérico era coherente en planteamientos y variedad temática de las actuaciones contempladas con los Programas de Acción del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (1995). No obstante, se detectaba la omisión de actuaciones referidas a las Infraestructuras Básicas en materia de Aguas Subterráneas y en los Programas de Estudio requeridos por el Plan; pero, sobretodo, era llamativa la inconcreción de las actuaciones expresamente citadas en lo que hacía referencia a contenidos, dotaciones económicas y plazos temporales. En todo caso, se detectaba una situación paradójica: se preveían mas actuaciones dedicadas a conocer, controlar y proteger las Aguas Subterráneas que a aprovecharlas, lo que no le auguraba un papel relevante en la planificación hidrológica de la cuenca.

Tras una década de vigencia del Plan Hidrológico cabe concluir que las actuaciones previstas para el aprovechamiento de las Aguas Subterráneas en la Cuenca del Ebro no han cubierto las expectativas esperadas. Para apoyar esta afirmación basta revisar el escaso grado de cumplimiento de lo previsto en el capítulo 9 del anejo 8 de la Normativa (Tomo II, página 329), en donde se contemplaba la creación de la infraestructura en Aguas Subterráneas para múltiples usos (apoyo en caso de sequía,

abastecimiento urbano, abastecimiento agrícola, integración de las entonces denominadas Unidades Hidrogeológicas en los Sistemas de Explotación y recarga artificial de acuíferos). Desafortunadamente, las carencias detectadas son el reflejo en la cuenca del Ebro de una realidad aplicable a todo el país, cual es el escaso cumplimiento de parte significativa de los 16 Programas de Acción previstos en 1995 en el Libro Blanco de las Aguas Subterráneas.

Pero sería injusto quedarse sólo en esta crítica, que, en todo caso, sería mas intensa si se dirige a otros Organismos de Cuenca que al de la cuenca del Ebro, y no valorar el esfuerzo realizado en otros campos, tales como redes de control, discretización hidrogeológica de la cuenca, caracterización geológica e hidrodinámica de los acuíferos, comprensión conceptual de su funcionamiento y gestión de unidades hidrogeológicas con problemática de explotación o medio ambiental. Y también hay que valorar la incorporación a la plantilla técnica de la Confederación Hidrográfica del Ebro de personal con formación hidrogeológica, lo que constituye una notable excepción en el panorama desolador que a este respecto presenta otras confederaciones.

Parte importante de los avances citados en materia de infraestructura de control o en caracterización hidrogeológica son consecuencia de la aprobación por el Parlamento Europeo y del Consejo de la Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, también conocida como Directiva Marco de Aguas (DMA), por la que se establece un marco comunitario para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas, cuya aplicación está incidiendo plenamente en el desarrollo del vigente Plan Hidrológico e, inevitablemente, condicionará favorablemente el contenido de su sustituto, así como de todas las actuaciones futuras en materia de aguas subterráneas. Esta Directiva ha sido traspuesta al Derecho español mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de medidas fiscales administrativas y del orden social, que procedió a modificar el Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001) y recientemente con el Real Decreto 907/2007, que aprueba el reglamento de la Planificación Hidrológica, introduciendo aquellos aspectos de la DMA relacionados con la planificación hidrológica, que por su excesivo detalle no fueron incorporados en la transposición anterior.

La Directiva Marco del Agua marca un hito importante en la política de aguas, tanto por la consideración y enfoque específico que se otorga a las aguas subterráneas como en el establecimiento de una serie de programas de medidas cuyo objetivo es alcanzar su buen estado cualitativo y cuantitativo para el año 2015. Si bien la Directiva no supone nuevos campos de actuación en materia de aguas subterránea ni incide en los aspectos concesionales o de usos del agua, sus implicaciones son importantes en la Planificación hidrológica en cuanto al establecimiento de objetivos medioambientales, plazos determinados y medidas de obligada adopción, salvo excepciones concretas, para evitar o limitar la entrada de contaminantes en el subsuelo y evitar el deterioro del estado de las masas de agua subterráneas (m.a.s.); adopción de las medidas necesarias para invertir toda tendencia sostenida al aumento de la concentración de cualquier contaminante, mejorar y regenerar las afectadas y garantizar el equilibrio entre los recursos y las extracciones de las m.a.s.

Los plazos marcados por la Directiva resultan ambiciosos y en ocasiones quizás sean de muy difícil cumplimiento, pues fija en diciembre de 2009 la fecha límite para adoptar una serie de programas de medida, que deben estar plenamente operativos en 2012, para alcanzar el buen estado de las aguas a más tardar en 2015. En lo referente a medidas específicas de prevención y control de la contaminación de agua subterránea, la propia Directiva abre la puerta en su artículo 17 a la redacción de un nuevo documento legislativo del Parlamento Europeo y del Consejo: la Directiva 2006/118/CE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, conocida como Directiva de Aguas Subterráneas o Directiva Hija, donde se contemplan una serie de criterios para evaluar el estado químico de las aguas subterráneas, la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento de contaminantes, la definición de puntos de partida para la inversión de dichas tendencias y las medidas para prevenir o limitar las entradas de contaminantes en las aguas subterráneas.

Para poder dar cumplimiento a la Directiva Marco de Aguas y a la Directiva de Aguas Subterráneas es necesario dedicar en los próximos años un arduo esfuerzo investigador y estudios específicos en diferentes campos de la hidrogeología, siendo necesario el apoyo de todas las Administraciones y Entidades implicadas en los recursos hídricos subterráneos.

2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1. LA EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA. BOSQUEJO HISTÓRICO

La moderna investigación hidrogeológica se inicia en nuestro país en el período de vigencia del Decenio Hidrológico Internacional, lanzado por la UNESCO en 1965. Se abordaron bastos proyectos de investigación por organismos de la administración que con el soporte técnico de la FAO o con medios propios, tenían por objetivo explorar y evaluar las aguas subterráneas. Así vieron la luz una serie de estudios, modélicos en su época, que cubrieron áreas concretas de nuestro territorio (Cuenca del Pirineo Oriental, Cuenca del Guadalquivir, Cazorla-Hellín-Yecla y, en la Cuenca del Ebro, el Proyecto Hidrogeológico de Navarra), y tuvieron la virtud de servir de modelo a otros, entre los que destaca el Proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), que promovidos por el IGME, permitieron disponer al final de los setenta de una primera discretización en regiones como Valencia, Murcia o Andalucía con mayor tradición de uso de las aguas subterráneas, y posteriormente, a finales de 1981, de la Cuenca del Ebro y resto del territorio nacional, con una sinopsis de los principales Sistemas Acuíferos, su funcionamiento hidrogeológico, calidad de las aguas, evaluación de recursos e infraestructura de aprovechamiento.

Durante el periodo de gestación del PIAS otros organismos, como el entonces denominado Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) y el antiguo Instituto Nacional de Colonización (INC) protagonizaron destacadas actuaciones; el primero en los acuíferos aluviales de los ríos Ebro y Gállego, en tanto que el INC abordó en colaboración con el IGME la más importante campaña de construcción de sondeos de explotación para uso agrícola realizada hasta la fecha en la cuenca del Ebro, concretamente en el valle del Alto Jiloca, mediante los cuales aún se abastece parte importante de los regadíos de la zona.

Durante buena parte de los años ochenta, el IGME continuó protagonizando la investigación hidrogeológica en la cuenca del Ebro a través del Proyecto Nacional de Abastecimientos Urbanos (PANU), el Proyecto para el Seguimiento y Control de Acuíferos y numerosos estudios de hidrogeología regional que abordaron el estudio de

áreas cuyo conocimiento era insuficiente para responder a las problemáticas planteadas (Sierra de Solorio, Somontano del Moncayo y cuenca del Huecha, el acuífero de Alfamén, el aluvial del Oja, el Alto Jiloca y el acuífero de Valdegutur) o, simplemente, no habían sido estudiadas en el desbroce inicial realizado por el PIAS (acuífero aluvial del Bajo Jiloca, la cuenca de los Arba de Luesia, Biel y Riguel, Sierra de Guara, cuenca del Huerva, e interfluvio del Ésera-Isábena).

No obstante, en los años ochenta aparecen otros actores que contribuyen a la mejora del conocimiento de las Aguas Subterráneas debido a:

Asunción por parte de las Comunidades Autónomas de competencias en materia de aguas subterráneas con un grado de actividad muy variable, que continúa en la actualidad. Así, en la Comunidad Autónoma del País Vasco, el Ente Vasco de la Energía (EVE) publicó en 1996 el Mapa Hidrogeológico del País Vasco, que sintetizaba el conocimiento previo existente con el generado por el propio EVE, la Universidad del País Vasco y las Diputaciones Forales de Álava y Guipúzcoa. En Cataluña, la Junta d'Aigües heredaba la gran tradición hidrogeológica de la antigua Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y, aunque en gran medida su actuación ha derivado hacia la gestión, mantiene un conocimiento profundo de la problemática hidrogeológica de sus respectivos ámbitos territoriales a través de sus servicios comarcales, alguno de ellos destacados en la cuenca del Ebro (Servei de Ponent, Servei de les Terres de l'Ebre). Por su parte, el Gobierno Navarro continúa protagonizando en su territorio la investigación hidrogeológica que inició en los setenta. Estas tres comunidades mantienen sus propias redes de control piezométrico, calidad de las aguas y foronómica cuya densidad y frecuencia de muestreo hacen de ellas las de más alta calidad de cuantas existen en España.

En el resto de las comunidades representadas en la cuenca, como Aragón, Rioja, Castilla y León, no consta la existencia de gabinetes con formación hidrogeológica, aunque ello no fue óbice para que se desarrollara una labor en este campo mediante contratación de consultoras o convenios con otros organismos. La actividad no estaba generalizada al conjunto del territorio y se solía centrar en áreas concretas. Por su parte, la Diputación General de Aragón (DGA) desplegó una intensa labor

prospectiva con destino al abastecimiento agrícola de algunos acuíferos de las cuencas de los ríos Huecha y Jalón.

Creación de gabinetes de Servicios Geológicos en diversas Diputaciones Provinciales (Teruel, Zaragoza), que centran parte importante de sus actuaciones en la prospección de aguas para abastecimiento urbano. Fruto de su actividad es la existencia de una base documental hidrogeológica que contiene abundante información básica (inventario, columnas litoestratigráficas, ensayos de bombeo, análisis químicos, etc.) cuya asimilación por los organismos competentes aún no está totalmente lograda.

Incorporación de la hidrogeología a los planes de estudios universitarios, en cuyo marco de actividades se abordan trabajos de índole diversa, que se unen a los realizados por la actividad docente de los cursos de postgrado. A este respecto hay que destacar la inconclusa serie denominada “Estudio Hidrológico Comarcal de Aragón”, realizada por la Universidad de Zaragoza con el patrocinio del Gobierno de Aragón, y que aportó abundante información básica del Somontano de la Sierra de Guara, Cuenca del Río Martín y Comarca de la Ribagorza.

El periodo comprendido entre el final de los años ochenta y la aprobación del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro se caracteriza por la progresiva asunción por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) de las competencias que le atribuye la Ley de Aguas en materia de Aguas Subterráneas. En esta etapa adquiere protagonismo el antiguo SGOP, que bajo la denominación de Servicio Geológico (SG) de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH), tutela a la CHE, junto con el IGME, en el proceso de asumir y asimilar los conocimientos existentes. En este periodo, el SG publica el Mapa de Unidades Hidrogeológicas mediante el que se adapta la discretización territorial realizada en el PIAS a los criterios de la DGOH, transformando los antiguos Subsistemas Acuíferos en Unidades Hidrogeológicas, y colabora en el Estudio de los Recursos Hidráulicos Subterráneos de los Acuíferos relacionados con la Provincia de Zaragoza, con el que la CHE inicia su andadura en el campo de la Aguas Subterráneas. Mas adelante, en el periodo 1990/91, la CHE extiende el estudio al resto de las Unidades Hidrogeológicas de la margen derecha de la cuenca.

En este mismo periodo la CHE recopiló la información suministrada por las redes de control de calidad de las Aguas Subterráneas de diversos organismos y, tras su estudio y análisis, define una nueva red de observación general y crea otras específicas para el control de problemas concretos (nitratos, plaguicidas, etc.), que desde entonces pasa a controlar directamente. Respecto a las redes piezométricas y foronómicas, CHE e IGME colaboraron en un proyecto para la reestructuración de las redes históricas y en su mantenimiento de forma transitoria hasta que estas fueron definitivamente traspasadas años después, hacia 2002.

Desde la aprobación del Plan Hidrológico de Cuenca hasta la actualidad, la CHE incrementa notablemente su hasta entonces exigua plantilla de expertos en Aguas Subterráneas y aborda una nueva Catalogación de los Acuíferos de la Cuenca del Ebro de acuerdo con criterios técnico más solventes que los utilizados en la discretización anterior, de modo que las nuevas Unidades Hidrogeológicas, agrupadas en Dominio Hidrogeológicos, pasan de 48 a 72; se completa el Estudio de los Recursos Hidráulicos Subterráneos de los Acuíferos de la Margen Izquierda (1997-2000); se comienza a abordar estudios hidrogeológicos más específicos que los anteriores, como el establecimiento de las Normas de Explotación y Perímetro de Protección de la Unidad Hidrogeológica de Gallocanta y otros, aún en curso, en el Bajo Jalón; se desarrolla la base de datos de Inventario de Puntos acuíferos (IPA) y se asume el traspaso de la red piezométrica del IGME, que se remodela y amplía con la perforación (en curso) de 108 nuevos piezómetros en áreas deficientemente conocidas, y cuyo proceso de construcción, testificación y ensayos aspira a contribuir notablemente a la mejora del conocimiento del subsuelo.

Por su parte, el IGME, además de colaborar con la CHE en el desarrollo y supervisión de buena parte de los trabajos realizados por este organismo, se centra en estudios para la caracterización hidrogeológica en un amplio sector de la Depresión del Ebro en la provincia de Huesca, de los Pirineos entre los ríos Veral y Gállego, en la provincia de Burgos, así como otros orientados a las aguas minerales y termales de Aragón, o a problemáticas hidrogeológicas muy específicas relacionadas con termalismo (Sallent de Gállego, Alhama de Aragón), inyección profunda de salmuera (Beriaín), hidroquímica de macizos graníticos (Panticosa, Benasque), geotecnia (Biscarrués, Santaliestra), perímetros de protección, impacto ambiental de la gasificación subterránea del carbón (Alcorisa) e

investigación I+D en la aplicación de técnicas geofísicas en hidrogeología (Resonancia Magnética Nuclear). En la actualidad la actividad se centra en el estudio del funcionamiento hidrogeológico de humedales (Estaña y Chiprana), caracterización de los parámetros hidrogeológicos que rigen en la cuenca del Ebro (en convenio con la CHE), caracterización del Aluvial del Ebro y caracterización hidrogeológica para el almacenamiento geológico de CO₂.

Como aportación adicional, de elevada calidad, al conocimiento generado por los organismos tradicionales cabe resaltar el correspondiente a diversas Tesis de Doctorado de las universidades de Zaragoza, País Vasco y Politécnica de Cataluña. En el campo de la hidrogeología regional cabe citar las realizadas en los acuíferos de la sierra de Guara y sus somontanos (Sánchez, 1987), Sierra de Urbasa, Montes de Vitoria y Treviño (Llanos, 1992), acuíferos del interfluvio Queiles-Jalón (San Román, 1994) y Acuífero de Cuaternario de Vitoria (Arrate, 1994), zonas endorreicas en climas áridos, Monegros (García Vera, 1996), acuíferos de Alfamén (De Miguel, 1998) y de la cuencas riojanas orientales: Iregua, Leza, Cidacos y Alhama (Coloma, 1999). También dentro del ámbito universitario cabe resaltar los estudios de la sierra de Cantabria (Llanos *et al.*, 2001) y la modelación de flujo y transporte del acuífero aluvial de Vitoria (Garfias *et al.*, 2000).

La actividad hidrogeológica más reciente ha estado marcada por la necesidad de implantar la DMA en los plazos previstos. La complejidad de la tarea es de tal magnitud que los aspectos logísticos, formales y metodológicos absorben, tal vez, tanto recursos como los estrictamente técnicos. Refiriéndonos a estos, cabe destacar: la Identificación de las masas de agua subterránea, la Caracterización Inicial de todas ellas y la Caracterización Adicional de las que están en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales.

La Identificación de las Masas de Agua Subterránea (m.a.s.) se ha resuelto bien mediante su asimilación, tal cual, a las Unidades Hidrogeológicas previamente establecidas, la división de estas, o su consideración por primera vez al ubicarse en zonas que con anterioridad eran consideradas sin interés acuífero. En total se han definido 28 m.a.s. adicionales sobre las UH preestablecidas, por lo que su número asciende a 105, de las cuales, tras la caracterización inicial, 46 deberán ser objeto de Caracterización Adicional por presentar riesgo seguro (35) o por carecer de su insuficiente información para determinar su situación.

La memoria descriptiva de estas m.a.s. es un buen indicador del avance de conocimiento experimentado a lo largo de la andadura antes expuesta, pero también pone de manifiesto las carencias que aún persisten.

2.2. ACTUAL GRADO DE CONOCIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS

En la actualidad se posee un aceptable -aunque desigual- conocimiento del panorama hidrogeológico general de la cuenca de Ebro y de sus posibilidades. Sin embargo, este conocimiento aún presenta lagunas relativas tanto a la caracterización de los acuíferos (conocimiento del medio físico, funcionamiento hidrogeológico, evaluación de recursos y aspectos hidroquímicos) como a la infraestructura requerida para una gestión eficaz de las Aguas Subterráneas. Son las siguientes:

Cobertura de las áreas estudiadas

La investigación realizada es desigual y ha dejado con un conocimiento deficiente amplias zonas del territorio. El conocimiento disponible presenta clara correlación con factores administrativos, demográficos y geográfico. Así, el desarrollo de las Aguas Subterráneas es superior en el ámbito de aquellas Comunidades Autónomas que disponen de sus propios servicios técnicos competentes (Cataluña, País Vasco, Navarra) que en aquellas que no las tienen; en el ámbito de la Cordillera Ibérica que en el de la Pirenaica y Prepirenaica, y en las inmediaciones de las áreas con más crecimiento demográfico que en las estancadas o en recesión.

Por otro lado, la orientación primigenia de la investigación hidrogeológica realizada ha sido la identificación y estudio de aquellos acuíferos susceptibles de proporcionar importantes recursos en aquellas zonas en donde había una demanda concreta de ellos, y ha tenido como consecuencia no deseada dejar inéditos o débilmente caracterizados dos tipos de acuíferos: los acuíferos de las áreas montañosas de cabeceras de cuencas, con buena potencialidad para su uso como reserva estratégica para diferentes usos, y los acuíferos locales, colgados o de menor entidad que, paradójicamente, constituyen la principal fuente de suministro de la mayor parte de los núcleos rurales de la cuenca.

Conocimiento del medio físico

En general, el conocimiento geológico no ha tenido el protagonismo que en lógica corresponde a toda investigación del subsuelo. No obstante el notable esfuerzo que actualmente se realiza para caracterizar rigurosamente las columnas litoestratigráficas de los sondeos que se realizan por iniciativa oficial, el conocimiento del medio subterráneo plasmado en la documentación de los acuíferos es aún insuficiente. Las más de las veces el conocimiento del acuífero presenta notables indefiniciones en lo referente a sus características estratigráficas y estructurales, de lo cual es fiel reflejo la todavía insuficiente disposición de este tipo de información plasmada en perfiles hidrogeológicos. También es deficiente la cobertura cartográfica de aspectos tales como la posición del techo y muro de las formaciones acuíferas, profundidad de los niveles productivos, isopacas, etc., por lo que la deseable representación tridimensional ó 3D de los acuíferos aún no se ha planteado.

Esta insuficiencia también es aplicable al conocimiento de la interrelación entre las aguas subterráneas y superficiales, sean cursos fluviales, zonas húmedas u otros ecosistemas de naturaleza hídrica.

Caracterización de las formaciones de baja permeabilidad

La obvia inaptitud de estas formaciones para aportar importantes recursos hídricos ha postergado el estudio de amplias cuencas terciarias (Ebro, Jiloca, Almazán, Jaca-Pamplona, etc.). La caracterización hidrogeológica de estas formaciones adquiere interés para preservar los posibles humedales relacionados (p.e. Chiprana), ordenación del territorio (confección de mapas de orientación al vertido, ubicación de polígonos industriales, almacenamiento geológico de alta seguridad, etc.), así como la comprensión de fenómenos hidrogeológicos singulares (termalismo, aguas minerales, quimismo, etc.).

Modelos conceptuales de funcionamiento

Persiste aún una concepción basada en modelos excesivamente simplistas. En estos casos, el acuífero es considerado como una “caja negra” a la que se le aplica un balance, obviando la complejidad del flujo a través del medio subterráneo, responsable de muchas de las características químicas de las aguas, su inercia y, en general, de los rasgos distintivos de las aguas subterráneas en relación con las superficiales. Por otra

parte, la investigación se ha centrado en las áreas de afloramientos de las formaciones mesozoicas, en donde son mucho más aparentes los sistemas de flujos primarios o secundarios que los regionales, por lo que se ha tendido a establecer aquellos, postergando la comprensión de estos. La investigación ha sido, en cierto modo, hipodérmica; no ha integrado la información de naturaleza hidrogeológica obtenida de la prospección de hidrocarburos, y en general, no ha prestado suficiente atención a lo que acontecía a través de las formaciones acuíferas una vez que estas se confinaban a una profundidad que se consideraba económicamente inaccesible para usos convencionales. La consecuencia más inmediata es la escasez de modelos conceptuales de funcionamiento regional.

Caracterización hidrodinámica de los acuíferos

El conocimiento de los parámetros hidrodinámicos de los acuíferos, fundamentalmente la conductividad hidráulica, resulta imprescindible a medida que se requiere cuantificar los procesos hidrogeológicos y se acentúa la demanda de herramientas para la gestión de las aguas subterráneas (perímetros de protección, remediación de la contaminación, previsión de descensos, modelación numérica del flujo, etc.).

Este es un aspecto en el que la CHE, en colaboración con el IGME, está realizando un importante esfuerzo, pero la tarea es ardua y dista aún de su culminación.

Evaluación de los recursos

Este aspecto requiere ser mejorado. Excepción hecha de las más recientes evaluaciones realizadas en la margen derecha de la cuenca, se desconoce la metodología empleada y el periodo al que se refiere. La procedencia de estas evaluaciones es sumamente diversa; en unos casos proceden de estudios realizados en el marco del PIAS o de actualizaciones de balances posteriores; en otras, han sido establecidas por el SG o por los respectivos servicios geológicos de algunas Comunidades Autónomas. En parte importante de los casos la evaluación disponible se remonta a los ochenta y están obtenidas con escasez de datos y metodologías simplistas, por lo que son escasamente representativas de la actualidad.

Redes de observación

El esfuerzo realizado en materia de redes de observación en los últimos años es importante y las actuales redes cumplen los conceptos adoptados por la DMA, inspirados a su vez -

pero menos exigentes- en el proyecto Eurowaternet (1998), de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA).

En todo caso, las exigencias de la DMA –incluso en el caso del Control Operativo en las m.a.s. con riesgo de no cumplir los objetivos de calidad- son relativamente benignas y muy dispares según el tipo de red considerada: relativamente exigentes en lo que respecta a las redes de calidad, mas laxas en cuanto a la distribución espacial y frecuencia de las redes piezométricas, y prácticamente inexistente en lo referente a las redes foronómicas de manantiales, aspecto este que reincide en un tradicional error de las redes españolas, cual es la insuficiente atención al control foronómico de las surgencias naturales más significativas.

Por otra parte, la comprensión del fenómeno hidrogeológico se basa cada vez más en técnicas muy diversas (isotópicas, de la Zona No Saturada, hidroquímicas, etc.) cuyas necesidades de observación deben ser objeto de redes específicas actualmente inexistentes.

Conocimiento de las extracciones

Este aspecto constituye una importante carencia de la hidrogeología en España, por cuanto el deficiente conocimiento del grado de aprovechamiento de las aguas subterráneas - bombeos, captación de manantiales, dotaciones, etc.- es una rémora que lastra de manera decisiva su gestión e integración en la planificación hidrológica. La importancia de este tema ya era reconocida en el Libro Blanco de las Aguas Subterráneas, que destinaba una línea de acción a establecer un Censo de Aprovechamientos, que sin embargo no ha rendido el fruto esperado por las dificultades intrínsecas de la tarea, la insuficiencia de medios para abordarla con decisión y la desigual predisposición de los usuarios a la colaboración.

Desarrollo de herramientas de gestión

Se entiende por tales las herramientas técnicas y/o administrativas que permiten la toma de decisiones al órgano gestor relativas al uso sostenible de los acuíferos en sus aspectos cuantitativos y cualitativos. Entre estas cabe citar el establecimiento de normas de explotación, perímetros de protección, estudios singulares (uso conjunto, recarga de acuíferos, modelos numéricos). A este respecto la situación es dispar y así, mientras las

bases de datos están operativas con buen rendimiento, los modelos numéricos o las normas de explotación han iniciado su andadura en algunas de las áreas hidrogeológicas más sensibles (Gallocanta, Bajo Jalón, Aluvial de Vitoria), pero en otros aspectos, como el uso conjunto, los perímetros de protección, la situación es aún incipiente.

De acuerdo con lo expuesto, cabe concluir que la evolución del conocimiento hidrogeológico existente en la cuenca del Ebro en relación con el modelo de evolución del Conocimiento de los Acuíferos versus Planificación Hidrológica (cuadro 1) ha cubierto la Etapa 1 y algunas actividades de las Etapas 2 y 3. Queda por realizar otras fundamentales para la plena integración de las aguas subterráneas en la Planificación Hidrológica de la cuenca.

<u>Conocimiento de los Acuíferos vs Planificación Hidrológica</u>
Etapa 1: Investigación de Desarrollo <ul style="list-style-type: none">- Identificación y delimitación preliminar de los acuíferos- Evaluación aproximada de los Recursos Brutos- Establecimiento de Redes de Control.- Seguimiento de las extracciones.
Etapa 2: Investigación complementaria para fundamentar criterios de Gestión <ul style="list-style-type: none">- Establecimiento de la geometría y límites de los acuíferos.- Relación entre unidades- Establecimiento de la Recarga, renovación de las aguas, modelos de mezcla.- Control de extracciones, químico y piezométrico.- Estudio de Perímetros de Protección.
Etapa 3: Gestión de las Aguas Subterráneas. <ul style="list-style-type: none">- Normas de explotación de los acuíferos.- Establecimiento de Comunidades de usuarios- Estudio singulares necesarios "sine die" (Uso Conjunto, relación Aguas Subterráneas-Superficiales, Recarga de acuíferos.- Bancos de datos como apoyo a la gestión- Uso sostenible del agua subterránea.
(Bayó, 1996)

Cuadro 1

No obstante las carencias detectadas, el conocimiento hidrogeológico disponible es suficiente para un aprovechamiento mucho más intenso de las aguas subterráneas en la

cuenca, cuya prospección y seguimiento es, a su vez, una de las principales fuentes de conocimiento de los acuíferos.

Dominio Hidrogeológico	Recursos (hm ³ /año) (*)	Extracciones (hm ³ /año)	Estimación servidumbres (hm ³ /año)		Posibilidad explotación (hm ³ /año)	
			desde	hasta	desde	hasta
Pirenaico Vasco-Cantábrico	1.429	43	714	1.000	386	671
Sinclinal de Jaca-Pamplona	1.100	12	550	770	239	407
Sinclinal de Tremp	476	12	238	333	131	226
Depresión del Ebro	826	142	413	578	109	272
Demanda-Cameros	83	4	42	58	21	38
Ibérico Central (Aragón)	277	98	138	194	24	66
Alto Jalón-Jiloca	430	40	215	301	89	175
Maestrazgo-Catalanides	1.754	145	877	1.228	384	732
Total	6.374	496	3.187	4.462	1.382	2.586

Cuadro 2

En el cuadro 2 se hace una aproximación de las posibilidades de incremento de la explotación sostenible sobre la explotación actual del conjunto de las m.a.s. integradas en los diferentes Dominios Hidrogeológicos de la cuenca del Ebro. La estimación es muy conservadora, pues se ha realizado para el supuesto que entre el 50 y 70% de los recursos existentes no pueden ser captados por estar sometidos a servidumbres indeterminadas (medioambientales, infravaloración de extracciones, imposibilidad de movilizar la totalidad de los recursos, etc.).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la infrautilización actual de los recursos subterráneos disponibles.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

La integración de las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica hace posible una gestión más eficaz de los recursos hídricos al poder incorporar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, su distribución espacial, su capacidad de auto depuración así como la posibilidad de que la contribución subterránea se efectúe progresivamente, adecuándose a las necesidades planteadas y con costos sensiblemente inferiores.

El tradicional medio para resolver los problemas de escasez ha consistido en la construcción de embalses y conducciones, con más frecuencia de la deseable amparados en una declaración de “Interés Público” que suelen llevar aparejada una baja repercusión a los beneficiarios de los costes reales; pero el aumento de la demanda del agua, las restricciones impuestas para su uso por la creciente concienciación ambiental, la cada vez menos disponibilidad de buenas cerradas para embalses y el aumento de coste de las grandes obras hidráulicas, ha llevado a la necesidad de considerar todas la fuentes de agua y todas alternativas posibles para satisfacer las demandas actuales y futuras. Así, la tendencia actual, todavía tímida en nuestro país, es considerar las aguas subterráneas y los acuíferos como componentes de un sistema de recursos hidráulicos, lo que permite albergar mejores expectativas de éxito en la solución de los problemas al poder aprovechar las diferentes características de las aguas subterráneas y de las superficiales. Es lo que genéricamente se conoce como uso conjunto.

Si los acuíferos se incorporan a un sistema de recursos hidráulicos como posibles elementos adicionales del mismo, se aumentan las posibles alternativas, no sólo en número sino especialmente en su funcionalidad, con lo que son mayores las probabilidades de obtener una mayor eficacia (Sahuquillo, 1996). Los acuíferos pueden intervenir en un sistema de recursos hidráulicos como fuentes de agua, como elementos de almacenamiento, de transporte y distribución, incluso como elementos de depuración química y bacteriológica, y pueden realizar funciones complementarias de la tradicional infraestructura de regulación y transporte de las aguas superficiales. Su integración en la planificación hidrológica de acuerdo con las particularidades de la demanda de agua y del entorno físico -superficial y subterráneo- puede proporcionar, además de las

funcionales, ventajas económicas importantes, aun admitiendo la probable mayor complejidad de la tecnología requerida para su correcta planificación.

Quizás el aspecto mas importante de la integración de los grandes acuíferos en un sistema de recursos hidráulicos es la mejora de la garantía y de la disponibilidad de agua. La posibilidad de incrementar la explotación de las aguas subterráneas cuando la aportación superficial es insuficiente implica un aumento de la disponibilidad total de agua, lo que supone aumentar también las garantías de suministro. El aumento de la disponibilidad es consecuencia de dos características de las aguas subterráneas: el volumen de sus reservas -muy superior a la capacidad de los embalses superficiales- y su elevada inercia: la primera posibilita que se pueda hacer aflorar agua cuando se necesita, y la segunda que los efectos de esa detracción coyuntural esté diferida en el tiempo en una cuantía determinable si los parámetros del acuífero son conocidos, lo que con una correcta planificación permite evitar que la afección se haga patente cuando más perjudicial resulta.

Otra ventaja es la capacidad de adaptarse a nuevas condiciones de la demanda con un bajo coste adicional. Son preferibles los proyectos capaces de ajustar sus reglas de operación a la evolución futura de la demanda con un coste reducido, y esto ocurre en general en aquellos en los que la intervención de las aguas subterráneas está debidamente ponderada.

Lo mismo puede decirse para las incertidumbres hidrológicas y económicas y para la adaptabilidad en situaciones de sequía. La experiencia en España de la sequía de 1991 a 1995 puso de manifiesto la gran potencialidad de las aguas subterráneas en la mitigación de la escasez en amplias zonas del sur y este de la península, durante la cual se perforaron los denominados “pozos de sequía”, p.e., en la cuenca del Júcar, que evitaron restricciones importantes en el abastecimiento de poblaciones y regadíos; los sondeos de apoyo para abastecimientos urbanos a numerosas poblaciones de la provincia de Granada y Jaén, incluidas ambas capitales, que evitaron graves restricciones; o los correspondientes a las grandes conurbaciones de la Costa del Sol occidental y la Bahía de Cádiz, con idéntico resultado. A destacar que los años húmedos subsiguientes a la sequía -1996 y 1997- fueron suficientes en muchos casos para

restituir las reservas consumidas durante la explotación intensiva de los años precedentes.

Otros importantes aspectos a considerar que justifican un mayor uso de las aguas subterráneas son el económico y el ambiental. El aspecto económico por tres aspectos fundamentales:

- Coste sensiblemente menor de la infraestructura requerida para la regulación subterránea que la superficial. En la actualidad, el coste de los sondeos con capacidad para suministrar un hectómetro cúbico por año (incluido estudio hidrogeológico, construcción, testificación, acidificación, ensayo de bombeo y equipamiento), en el supuesto de requerirse dos sondeos de 400 metros de profundidad cada uno, sería de 1,6 millones de euros, cifra que resulta de tres a diez veces menor que la requerida para suministrar esa cantidad mediante embalse de pequeña o mediana entidad o balsas.
- Menor coste de conducción por el carácter areal de los acuíferos y lineal de la red fluvial.
- Mayor posibilidad de modulación de las obras requeridas, cuya construcción se puede abordar progresivamente, a medida que se necesitan.

Las ventajas medioambientales en caso de explotación ordenada de los recursos subterráneos se producen por el menor impacto de las obras requeridas y, sobre todo, por la capacidad de los acuíferos dada su distribución espacial de atender demandas medioambientales, p.e., caudales mínimos ecológicos en cursos fluviales en los que no existe regulación superficial o aguas arriba de la misma.

4. PROPUESTAS, CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LA CONSIDERACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO

El estado del conocimiento que se posee es, aún admitiendo la existencia de las carencias antes apuntadas, suficiente para abordar el uso de las aguas subterráneas en una cuantía muy superior al actual (cuadro 2). Por ello, con vista a solucionar las deficiencias existentes y propiciar el uso efectivo de las aguas subterráneas cabe hacer las siguientes propuestas:

4.1. Mejora del conocimiento hidrogeológico en la cuenca del Ebro.

Para lograr esta mejora se considera conveniente abordar los siguientes aspectos:

Caracterización de las masas de agua subterránea

Se considera importante avanzar en los aspectos geométricos y en la comprensión del modelo conceptual de funcionamiento de todas ellas. La mejora del conocimiento de las características geométricas de los acuíferos debería conducir a disponer de un modelo tridimensional de los acuíferos más emblemáticos de la cuenca (Gallicantá, Mioceno de Alfamén), los acuíferos aluviales y parte de los acuíferos mesozoicos ibéricos de entidad regional en el plazo de vigencia del plan.

El soporte de cartográfico de las características geométricas debe ser un mapa hidrogeológico continuo bajo SIG. La escala máxima no deberá ser superior a 1:50.000 y cuando la importancia o tamaño de los acuíferos lo requieran, incluso 1:25.000, y debería estar diseñado y estructurado en diferentes capas de información capaces de recoger aspectos tales como posición del techo y muro de las formaciones acuíferas, espesor de las formaciones confinantes, profundidad de los niveles productivos, isopacas, prospección geofísica realizada, etc.. En la medida de lo posible se debe tender a la representación tridimensional de los acuíferos.

El establecimiento del funcionamiento conceptual de los acuíferos debe poner el énfasis en las técnicas isotópicas e hidroquímicas para determinar áreas de recarga, tiempos de tránsito y caracterización de procesos hidrogeológicos.

Cuantificación de los recursos hídricos subterráneos

Es necesario abordar una nueva evaluación de los recursos subterráneos en la cuenca del Ebro. Las metodologías disponibles son numerosas y, con frecuencia, independientes entre sí, lo que permite contrastar y acotar las estimaciones. Sin embargo, las circunstancias que concurren en buena parte de las m.a.s. de la cuenca hace que el abanico de posible métodos a utilizar de manera inmediata queda reducido a los métodos hidrológicos basados en el balance del agua en el suelo, de los que hay diversos códigos adaptados a la mayor o menor disponibilidad de datos (Balan, Témez, Hidrobas, Easy Bal, Baldos 10, etc.), y, con un nivel inferior de aplicabilidad o precisión, cabe considerar los métodos químicos (balance de cloruros en estado estacionario) y los métodos empíricos, tales como el método del número de curva o el método APLIS, una vez calibrado en la cuenca del Ebro.

Como norma general se estima que los métodos hidrológicos deben ser usados a nivel diario, incluso en casos de fuerte carencia de datos distintos de los meteorológicos. El inevitable problema de la calibración en caso de insuficiencia de datos piezométricos o foronómicos debe ser resuelto buscando la coherencia entre los resultados obtenidos y el caudal de base de la escorrentía superficial medida en la red oficial de aforos del Ministerio de Medio Ambiente, sea mediante el análisis de hidrogramas o, cuando estos sean de baja calidad, a través del análisis de la curva de caudales clasificados. En todo caso, la insuficiencia de datos para la calibración debe orientar sobre las actuaciones requeridas en materia de redes de observación para solventar las carencias detectadas.

Por otra parte, en climas semiáridos, como el de parte de la cuenca del Ebro, la recarga se caracteriza por su carácter episódico (Lerner *et al.*, 1990) por lo que el valor medio suele ser sensiblemente mayor al de la moda o la mediana, los cuales dan una información muy útil para la planificación del aprovechamiento del acuífero. Por esta razón, siempre que sea posible, los resultados obtenidos se deben expresar mediante los parámetros estadísticos que mejor definan su distribución.

Interrelación de las aguas subterráneas y los cursos fluviales

Se requiere identificar los tramos de ríos en los que estos se relacionan con los acuíferos, sea recargándolos o drenándolos de manera localizada o difusa. La identificación y caracterización de esta interrelación es de suma importancia para la comprensión del funcionamiento de los ríos y los acuíferos y abordar con rigor el

estudio sus respectivas cuantificaciones, ya que su ignorancia es fuente de grandes errores tanto en la determinación de las aportaciones por medios empíricos como en la evaluación de los recursos. Por otra parte, esa información es fundamental para la correcta ubicación de estaciones de aforo así como de embalses o, en su caso, comprender su funcionamiento, y abre un amplio abanico de posibilidades de gestión.

En la cuenca del Ebro la relación río-acuífero da lugar a casos complejos, como es el caso de transvases subterráneos entre ríos; algunos conocidos, como entre los ríos Aguasvivas y el Martín, Urrobi e Iratí o Ésera y Garona; otros sospechados como entre los ríos Huerva y Jalón o Aragón Subordán y Veral. El estudio de esta relación se puede llevar a cabo mediante técnicas diversas: trazadores, campañas de aforos diferenciales y análisis comparativos de hidrogramas.

Dada la complejidad del mismo por las afecciones antrópicas al régimen natural, su realización a corto plazo es poco realista, por lo que debería ser abordado en el periodo de vigencia del Plan.

Interrelación de las aguas subterráneas y las zonas húmedas

La identificación y conocimiento de los procesos hidrogeológicos que condicionan la formación y el mantenimiento de las zonas húmedas o de otros ecosistemas asociados con las aguas subterráneas debe ser considerada como un pilar imprescindible en el que basar las medidas para su preservación y, si procede, regeneración.

El proceso de identificación debería quedar plasmado en el Plan Hidrológico de la cuenca en un catálogo exhaustivo de los ecosistemas con implicaciones hidrogeológicas existentes, independientemente de si existe algún tipo protección o reconocimiento administrativo del mismo.

La caracterización de los procesos hidrogeológicos que los condicionan deben quedar plasmados en el Plan al menos a nivel básico. La caracterización detallada debe estar contemplada en los programas de acción del Plan Hidrológico para que, al menos, las correspondientes a las más significativas se lleven a cabo durante el periodo de vigencia del Plan. Esas futuras caracterizaciones deberían tomar como modelo lo realizado en la laguna de Gallocanta y, en proceso de realización, en las lagunas de Estaña y Chiprana.

Una faceta novedosa a incluir en este apartado es la identificación de los humedales desaparecidos en épocas históricas por causas antrópicas (humedales del Alto Jiloca, laguna de Añavieja, etc.) y el estudio para la regeneración de aquellos casos en los que los motivos socio-económicos o sanitarios que propiciaron su desecación hayan perdido vigencia, a modo y semejanza de cómo se está realizando la regeneración de la laguna del Cañizar (Rubio *et al.* 2004).

Análisis de los efectos del cambio climático en el ciclo del agua y en los recursos hídricos subterráneos

El Plan Hidrológico de cuenca debería contemplar un análisis riguroso de los efectos que a la luz de la información disponible plantea el cambio climático en lo que respecta a la disminución de los recursos disponibles, la calidad del agua y repercusión en los ecosistemas asociados. En lo que respecta a las aguas subterráneas, dicho análisis debe establecer la vulnerabilidad de los acuíferos a este fenómeno, la situación esperada bajo diferentes escenarios de futuro y las posibles medidas técnicas y administrativas contempladas para su paliación.

Mejora del conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de las formaciones acuíferas profundas.

En determinadas circunstancias, la escasez de recursos hídricos superficiales y la insuficiencia de las aguas subterráneas fácilmente accesibles conlleva la necesidad de buscar recursos subterráneos a profundidades superiores a las de la mayoría de las explotaciones convencionales. Conocer el funcionamiento y los recursos de estas formaciones requiere un esfuerzo inversor y de investigación hidrogeológica que puede quedar ampliamente recompensado por la inmediatez en la solución que ofrecen estas formaciones a problemas de abastecimiento.

Un exitoso ejemplo de este tipo de actuación es el recientemente protagonizado por la CHE en el Maestrazgo, mediante la perforación de sendos sondeos de más de 1.100 metros de profundidad para el abastecimiento urbano de Forcall y Morella (Castellón).

Caracterización de los procesos que alteran la calidad de las aguas subterráneas. Estudio de la vulnerabilidad de los acuíferos

Parte significativa de la problemática que plantea las aguas subterráneas en la cuenca del Ebro concierne a la calidad de las aguas en zonas afectadas por la contaminación, siendo especialmente preocupante la causada por la ganadería estabulada de porcino en bastas áreas del medio rural de la cuenca, en especial de Lleida y Huesca o por la actividad industrial sobre acuíferos detríticos y cársticos. Se requiere abordar el estudio de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, como primer paso en la protección de las aguas subterráneas, que debe ser complementado por el mantenimiento de bases de datos permanentemente actualizadas de los focos potenciales de contaminación y la caracterización de los procesos de absorción-adsorción, disolución-precipitación y atenuación natural que pueden sufrir los contaminantes en su tránsito por el medio subterráneo saturado y no saturado.

Estos estudios deben conducir a un análisis de riesgos en diferentes escenarios mediante la elaboración de mapas de focos potencialmente contaminantes y mapas de vulnerabilidad a la contaminación abordando diferentes metodologías que permitan integrar el tiempo de tránsito de las especies contaminantes y su atenuación natural.

Interacción de las aguas subterráneas con el medio urbano

Los acuíferos que subyacen el entorno de importantes núcleos de población suelen estar sometidos a gran variedad de impactos, muchos de ellos específicos del medio urbano, que requieren ser caracterizados. Entre los mismos cabe citar la fuga de las redes de alcantarillado, fugas de hidrocarburos en estaciones de servicio y grandes edificios, vertidos clandestinos realizados directamente al acuífero y la alteración térmica provocada por los sistemas de bombeo-inyección utilizados en la refrigeración y climatización de edificios, que puede producir impactos no conocidos, sean de índole hidrogeoquímica o hidrodinámicos, por la reintroducción en el acuífero de un agua que posee características físicoquímicas modificadas respecto a la original, lo que puede desencadenar procesos químicos que movilicen elementos indeseables hasta entonces estables, o incrementen el poder disolvente de las aguas, lo que incluso puede llegar a provocar problemas geotécnicos.

El conocimiento de la interacción del medio urbano con el acuífero es requerido para la correcta ordenación del territorio, planificar adecuadamente los procedimientos de remediación a que haya lugar, y establecer normativas que regulen el uso del mismo, en especial las concesiones requeridas para la utilización del acuífero en la climatización.

Zaragoza, en su condición de gran urbe ubicada sobre un gran acuífero aluvial, es paradigma de la problemática arriba enunciada, por lo que debe ser pionera de este tipo de estudios en la cuenca.

4.2. Mejora de la infraestructura hidrogeológica.

Se considera bajo el término de *infraestructura hidrogeológica* las redes de observación de los acuíferos, la infraestructura de captación y transporte para el aprovechamiento de las aguas subterráneas y la requerida para proceder a la recarga artificial en cualquiera de sus modalidades.

Redes de Observación

Además de la faceta de alarma y control, las redes deben ser el instrumento que aporta información en la que sustentar decisiones de gestión y deben estar diseñadas para la captura de todos los datos con estructura de series cronológicas requeridos para la mejor comprensión del medio hídrico subterráneo. Es este último aspecto el que falla, pues para ello se requiere una distribución espacial más densa que la actualmente existente y mayor frecuencia de medidas, sobretodo en lo que respecta a la escasez de puntos de control automatizados de registro continuo. Por todo ello, se plantea las siguientes necesidades:

- **Redes de vigilancia de la calidad de las aguas subterráneas**
Se requiere aumentar el número de puntos de observación y crear redes específicas en el entorno de las zonas en donde actualmente se detectan problemas de calidad, zonas que acogen actividades potencialmente contaminantes (p.e., polígonos industriales) y en donde la actividad antrópica es intensa (p.e. núcleos urbanos de más de 100.000 habitantes).

- Redes piezométricas

Acondicionar las redes piezométricas para la correcta evaluación del estado cualitativo de los acuíferos. Para ello se estima necesario:

1. Incrementar la instrumentación de los piezómetros mediante equipos multiparamétricos de control automático. Cada m.a.s. debería contar con al menos un punto de control automático.
2. Incrementar el número de piezómetros. La densidad de la red en los casos más desfavorables debe tender a no ser inferior a un punto cada 100 km².
3. Establecer simultáneas de observación (redes flash) en las masas más importantes mediante las cuales se pueda elaborar con cierta periodicidad mapas de isopiezas. Esta red, que tendría carácter oficial, se basaría en sondeos ya existentes, en la que la principal tarea a realizar para su acondicionamiento sería establecer una referencia fija y su nivelación.

- Redes foronómicas

El correcto control hidrométrico de surgencias es muy exigente: se requiere estaciones diseñadas conforme al régimen de los manantiales, control automatizado y mantenimiento permanente. Con frecuencia se ha intentado utilizar la lectura diaria de una regleta en secciones a priori adecuadas como sucedáneo de la estación de aforos, pero la experiencia al respecto es decepcionante debido a las dificultades para mantener estabilizadas las secciones y actualizadas las curvas de gastos. Se requiere sustituir progresivamente la actual red basada en eventuales aforos directos por otra basada en sencillas, pero fiables estaciones de aforos de control automático. El control debe extenderse no solo a los puntos de descarga más significativos en cuanto al volumen drenado sino de aquellos que revistan especial significado por su conexión con ecosistemas o zonas húmedas.

- Redes complementarias de observación

Se plantea la conveniencia de controlar la Zona No Saturada (ZNS) en estaciones pilotos. Las mismas constituiría el complemento adecuado de las redes específicas para el control de contaminantes agrícolas, concretamente nitratos y pesticidas, ya que es aquí, especialmente en su parte superior, donde se producen muchos de los procesos de transformación que afectan a la calidad del agua. El control de la ZNS

mejoraría la información sobre aspectos prácticos tales como los factores que rigen la desnitrificación, la influencia de la rotación de los cultivos en el contenido contaminante de los lixiviados, influencia de la eficiencia de riego en la salinidad de la recarga en tránsito hacia el acuífero, velocidad de transporte del contaminante en ZNS, etc.

Cabe aquí mencionar posibles redes para muestrear niveles de saturación colgados para caracterizar la contaminación de las aguas de recarga en tránsito hacia el acuífero, como complemento o alternativa aceptable al muestreo, mucho más complejo, de la ZNS.

Otra red a considerar es el muestreo de las aguas de lluvia con objeto de crear un mapa de los aportes de sales, fundamentalmente del ión cloruro, en las áreas de recarga (Custodio, 1997).

4.3. Integración de los recursos hídricos subterráneos en la gestión hidrológica de la cuenca

Uso de las aguas subterráneas como reservas estratégicas durante sequías

El aprovechamiento esporádico de las reservas hídricas hidrogeológicas mediante el bombeo en una cuantía que, incluso, puede superar los recursos medios del acuífero es una estrategia eficaz para la lucha contra la sequía o para hacer frente a demandas planteadas por contingencias imprevistas. Para ello se debe construir, equipar y ensayar sondeos cuya operatividad debe ser total en el momento que se requiera hacer uso de ellos, por lo que deben estar preparados con la suficiente antelación.

La cuenca del Ebro presenta buena aptitud para este uso, fundamentalmente en la margen derecha aragonesa, la cuenca alta de los ríos Jalón y Jiloca, donde la existencia de grandes acuíferos de carácter regional y extracciones muy inferiores a sus recursos hace posible movilizar de manera coyuntural apreciables caudales con bajo impacto ambiental. Las masas de agua que presentan a priori buena aptitud para ser equipadas para este fin son:

- Páramos del Alto Jalón (09.086). Esta m.a.s. es la principal responsable de la elevada regulación natural del río Jalón y tiene capacidad para aportar importantes recursos extras al mismo incluso en caso de explotación sostenible. Se recomienda, por tanto, estudiar posibles emplazamientos, construcción y equipamiento de batería de sondeos en las cuencas altas de los ríos Blanco, Mesa y Piedra, con capacidad de aportar a agua en cuantía suficiente para paliar el déficit de regulación que no puede suplir el embalse de la Tranquera.
- Monreal-Calamocha (09.088) y Cella-Ojos Monreal (09.089). Ambas m.a.s. podrían aportar a través de baterías de sondeos ya existentes y otras de nueva construcción caudales muy importantes al Jiloca para satisfacer demandas que no pueda cubrir el futuro embalse de Lechago, incluso suplirlo con similar garantía en tanto no esté construido.
- Aliaga-Calanda (09.092). Esta m.a.s. puede ser captada aguas arriba del embalse de Santolea, en la cubeta de Bordón y en Ladruñán, y, aguas abajo del embalse, entre Castellote y Mas de las Matas, para paliar los fallos de demanda servidas a partir de los embalses de Calanda y Santolea, sea para regadío o abastecimiento industrial.
- Cubeta de Oliete (09.091), que puede suplir demandas no cubiertas por el embalse de Cueva Foradada mediante batería de sondeos situados aguas arriba y abajo del embalse.
- En la margen izquierda cabe resaltar la m.a.s. Cotiella-Turbón (09.037), que tras el estudio de posibles zonas de emplazamiento, perforación de sondeos y ensayos de los mismos, podrían aportar recursos al río Esera e Isábena en socorro de las necesidades que se puedan plantear en los regadíos dependientes del Canal de Aragón y Cataluña.
- En el eje de la cuenca cabe citar las diversas m.a.s. delimitadas sobre el acuífero aluvial del Ebro, con suficiente capacidad para suplir en la medida que hiciera falta eventuales fallos del Canal de Lodosa y el Canal Imperial mediante el bombeo a dichos canales a partir de sondeos ubicados a lo largo de su trazado.

Captación de aguas subterráneas para Uso Conjunto

El Uso Conjunto es el resultado de considerar las aguas subterráneas junto a las superficiales y los acuíferos como componentes de un sistema global de recursos

hidráulicos, lo que permite optimizar en cada caso el grado de participación de cada uno de los componentes: en épocas húmedas la aportación de la componente superficial será mayoritaria; en épocas secas las aguas subterráneas tomarán protagonismo y complementarán la insuficiencia de aquellas.

Esta tipología de uso puede ser rendir un buen servicio, fundamentalmente en la margen derecha de la cuenca del Ebro. Las masas de agua que a priori presentan buena aptitud para este uso son preferentemente las citadas anteriormente, por lo que la infraestructura de captación para paliar la sequía que se recomienda construir en el apartado anterior puede y debe ser utilizada para uso conjunto de manera habitual. Otras posibles actuaciones de menor entidad serían:

- Prospección de los acuíferos liásicos de la cuenca media del río Huerva, entre Muel y Aladrén, para aumentar la garantía de los riegos basados en los embalses de Las Torcas y Mezalocha. Estos acuíferos apenas son utilizados, por ser más accesibles los acuíferos mesozoicos instalados en el Jurásico Superior.
- Abordar una compleja campaña de prospección de aguas subterráneas en la cabecera de los ríos Tastavins, Pena, Matarraña, Ulldemoll y Algas aguas arriba de los manantiales que originan su nacimiento con objeto de verterlas a los respectivos ríos y paliar déficits de su cuenca baja.
- Prospeccionar los acuíferos cretácicos y jurásicos en la cuenca del río Guadalopillo aguas arriba del embalse de Gallipué y en el interfluvio Guadalopillo-Guadalupe con objeto de aumentar la garantía de los riegos abastecidos con ese embalse.

Aprovechamiento de la relación recíproca río-acuífero

Se da esta circunstancia en aquellos casos en los que el acuífero está en relación directa con un río, del cual se detrae una fracción del caudal bombeado. La cuantía de esa afección y el retraso con que se manifiesta puede ser aprovechada para aumentar la disponibilidad de agua si se planifica correctamente, ya que se puede conseguir que la detracción se demore hasta la época de “aguas altas” o cuando la servidumbre del río es menor. En todo caso, si la afección obliga a una restitución del caudal detraído para compensar una concesión preferente, la operación no pasa necesariamente a estar contraindicada; simplemente su eficiencia es menor. Las actuaciones más inmediatas de este tipo son:

- Congosto de Olvena. ya existe la infraestructura mínima requerida, realizada y ensayada con éxito por iniciativa de la propia CHE, que puso de manifiesto la conexión hidráulica de los sondeos con el río Cinca. La definitiva incorporación de esta infraestructura al Canal de Aragón y Cataluña se debe de realizar, aunque sea de forma provisional, para así poder: cuantificar la entidad de la afección producida y el retraso con que esta se manifiesta; obtener la información necesaria para establecer las compensaciones a que haya lugar a otros beneficiarios de concesiones situados aguas abajo. Sondeos adicionales se podrían plantear en el borde occidental de la m.a.s. Litera Alta (09.041) con objeto de captar otras posibles descargas difusas al río Cinca.
- En la cuenca baja del río Grío, las formaciones acuíferas jurásicas están en conexión hidráulica con el río Jalón, lo que podría permitir interesantes opciones de gestión ya que captaciones ubicadas al sur del río podrían afectarlo con un retraso tal que se manifieste una vez pasada la época de mayor demanda. Esta opción podría ser una herramienta de gran utilidad en tanto no esté construido el embalse de Mularroya para captar aguas e incorporarlas a la acequia que desde el río Grío abastecen los regadíos de La Almunia. Después de la construcción de ese embalse, la infraestructura de captación creada podría quedar como pozos de sequía para paliar eventuales emergencias.
- La actuación anteriormente propuesta en el acuífero aluvial del río Ebro, también está basada en la relación del acuífero con el río Ebro.

Regulación de manantiales

La regulación de manantiales implica necesariamente la afección directa del manantial por uno o varios sondeos realizados en su entorno a través de los cuales se bombea un caudal netamente superior al que en ese momento se drenaría en régimen natural, provocando incluso su total agotamiento. Una vez satisfecha la demanda, si la regulación ha estado correctamente planificada, las reservas consumidas por el sobrebombeo efectuado suelen ser restituidas por la subsiguiente crecida del manantial que, en caso de régimen natural, se perdería con escasa posibilidad de aprovechamiento, sea por la inexistencia de demanda en ese momento o por la imposibilidad práctica de aprovechar una descarga de considerable entidad. Resultado similar se obtendría si el manantial es accesible mediante espeleología y permite la instalación interior de un

equipo de bombeo, lo que presenta gran interés en caso de requerirse caudales punta muy altos.

La regulación de manantiales cársticos ha sido efectuada con notable éxito en numerosos casos, tales como el manantial de Los Santos (Valencia), El Algar (Alicante), Deifontes (Granada) y, en la cuenca del Ebro, en varios manantiales de Navarra dedicados a abastecimiento urbano, permitiendo la extracción de caudales inusualmente altos. En la cuenca del Ebro se proponen las siguientes actuaciones adicionales:

- Regulación del manantial de los Fontanales de Calanda (Teruel), con objeto de aumentar la disponibilidad del río Guadalupe cuando el embalse de Calanda se encuentra en situación precaria.
- Regulación del manantial de Cella (Teruel).
- Regulación de manantial de Ojos de Monreal. Este manantial estaba de hecho regulado por una batería de sondeos que fueron clausurados por la afección que ejercía sobre la surgencia; circunstancia relativamente frecuente por la existencia de concesiones administrativas, pero completamente opuesta a los principios básicos de la regulación y gestión eficaz de las aguas subterráneas, desde los cuales la solución idónea para casos de afección a derechos preexistente es la restitución de los caudales detraídos, no la paralización de la regulación.
- También es recomendable proceder al estudio de los grandes manantiales cársticos de cabecera de cuenca para establecer su aptitud para la regulación, a fin de ser integrados en la infraestructura requerida para el aprovechamiento estratégico de los acuíferos. Al respecto puede presentar interés la regulación de manantiales como Los Batanes, en Biescas, y Santa Ana, en Hecho para garantizar caudales ecológicos mínimos o diluir posible contaminación por vertidos urbanos.

Aprovechamiento del almacenamiento subterráneo mediante recarga artificial

La recarga artificial consiste en introducir agua en un acuífero, sea de forma directa o inducida. Las aplicaciones son muy diversas: almacenamiento de escorrentía superficial no regulada, mantenimiento de enclaves de interés medioambiental, aprovechamiento de las propiedades del suelo y de la zona no saturada como elemento de filtración o

tratamiento complementario a la depuración de aguas residuales, reducción de descensos piezométricos, etc.

En la cuenca del Ebro se dan las circunstancias propicias para proceder a la recarga artificial para alguno de estos fines.

- Aliviar la continuada evolución descendente de los niveles piezométricos de la m.a.s. Mioceno Alfamén (09.077). Dado que se trata de un acuífero confinado la recarga ha de efectuarse en profundidad, mediante pozos. Los únicos excedentes a recargar serían los invernales que circulan por las acequias derivadas del río Grío, previa impulsión hacia las zonas en donde se detectan los mayores descensos.
- Almacenamiento de los excedentes invernales del río Aguasvivas mediante recarga artificial en el la m.a.s, Campo de Belchite (09.079) aguas abajo de Almonacid de la Cuba, con objeto de solventar los problemas de sostenibilidad de la explotación actual.
- Almacenamiento en la m.a.s Campo de Cariñena (09.075) de los excedentes no regulados por los embalse de las Torcas y Mezalocha en el curso medio del río Huerva con objeto de aumentar la regulación de ese río.

Utilización de los acuíferos profundos

Se debe abordar la prospección intensiva de los acuíferos mesozoicos profundos que subyacen el sector de Cariñena-Alfamén-La Almunia con objeto de aliviar la intensa presión a que está sometido el acuífero mioceno de Alfamén. Estos acuíferos, fundamentalmente el liásico, no han sido explotados, por lo que constituye una fuente de recursos de elevado interés para diversificar las extracciones que hasta la fecha proceden casi exclusivamente de un único acuífero. Aunque la profundidad requerida para captar esos acuíferos puede ser muy elevada, próxima a 800 ó 1.000 metros, el nivel piezométrico se situaría a una profundidad similar a la del acuífero mioceno.

Otras actuaciones

En este epígrafe se considera una serie de actuaciones basadas en captar agua en las zonas de cabecera de las cuencas con objeto de atender demandas en esas zonas o aguas abajo.

- Prospección de los acuíferos mesozoicos mediante sondeos de elevada profundidad en la cabecera del Bco. de Las Parras, en la cuenca del río Martín. Esta actuación tendría por finalidad estudiar una alternativa basada en las aguas subterráneas, mucho mas barata, al proyectado embalse de Las Parras (1,4 hm³).
- Prospección de los acuíferos jurásicos de la alineación La Ginebrosa, La Cerollera, Rafales (Teruel). Esta actuación tendría por objeto verter el agua captada a la cabecera de los ríos Mezquín y Tastavins. En el primer caso como alternativa al embalse de Ciscar (2,08 hm³) en La Codoñera (Teruel), en el segundo como apoyo a la regulación efectuada por el embalse de Pena.
- Prospección de los acuíferos jurásicos en los términos de Cálцена, Trasobares y Tierga, como alternativa al proyectado embalse de Trasobares (2,3 hm³) sobre el río Isuela.

En general, la abundancia y entidad de los acuíferos en las cabeceras de cuenca hace conveniente que el proyecto de embalses de pequeña/media capacidad sólo se plantee cuando quede comprobado que no hay alternativa más económica en base a aguas subterráneas.

4.4. Propuestas técnico-administrativas para la gestión de las aguas subterráneas

- Desarrollar métodos globales de valoración de la sostenibilidad de los acuíferos: indicadores de estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas, mediante los que definir, con variables y expresiones sintéticas, aspectos específicos de las aguas subterráneas que permitan la comparación a diferentes escalas y faciliten la gestión de los recursos hídricos disponibles.
- Adaptación y cumplimiento de los requerimientos de la Directiva 2006/118/CE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, que establece los criterios para valorar el buen estado químico de las aguas subterráneas, los criterios para la determinación e inversión de las tendencias significativas y sostenidas al aumento y para la definición de los puntos de partida de las inversiones de tendencia.
- Impulsar el establecimiento de los perímetros de protección mediante estudios específicos que permitan conocer las características hidrogeológicas del acuífero que explota una captación determinada, aplicando diferentes metodologías y

critérios para el dimensionado de las zonas de protección. Potenciar el cumplimiento de las actuales figuras legales que permiten restringir o prohibir las actividades contaminantes que generan un riesgo en el área definida por el perímetro de protección, contribuyendo a su implantación efectiva.

- Desarrollar y aplicar diferentes metodologías para el control efectivo de las extracciones de agua subterránea, (métodos directos, por consumo eléctrico, estadísticas agrarias, teledetección, balances hídricos, etc.) especialmente de aquellas áreas con fuerte explotación, elevado número de captaciones o donde el control directo presente graves inconvenientes, con objeto de valorar y cuantificar detalladamente los volúmenes de agua subterránea extraídos y su regularidad temporal.
- Revisar o vigilar periódicamente las concesiones de agua subterránea con objeto de verificar cualquier modificación de las características concesionales, especialmente usos, consumos y características el pozo.
- Impulsar la formulación de reglas de explotación de acuíferos, planes de gestión y creación de comunidades de usuarios de aguas subterráneas, en las masas de agua subterránea sometidas a mayor demanda o donde las extracciones supongan un riesgo al mantenimiento de los objetivos de calidad, cantidad y sostenimiento de los ecosistemas asociados, para mejorar el aprovechamiento y la protección de los recursos subterráneos.
- Fomentar la información pública, la participación ciudadana y la cultura en temas relacionados con el ciclo hidrológico, transmitiendo adecuadamente al ciudadano los conceptos básicos en los que se sustenta el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos y su problemática. Hacer partícipe a la población de las posibilidades de la utilización de los acuíferos como grandes sistemas de regulación de recursos hídricos, especialmente en periodos de sequía, y de los riesgos de un uso inadecuado.

5. VISIÓN APROXIMADA SOBRE LOS EFECTOS ECONOMICOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS PROPUESTAS REALIZADAS.

En general, los beneficios económicos y sociales derivados de la utilización de las aguas subterráneas en el regadío frente a las aguas superficiales están suficientemente demostrados por los estudios de Llamas et al., (2000), Arrojo (2000) o por los trabajos de Corominas (2000), que concluyen que, por ejemplo, los regadíos en Andalucía llegan a ser 3,3 veces más productivos por unidad de volumen utilizado y generan casi el doble de empleo por unidad de superficie regada, ventajas que para Llamas et al., (2001) pueden ser similares en otras regiones de España.

Entre los factores que explicarían estas ventajas se citan: los menores consumos unitarios de agua por la utilización de técnicas más modernas y precisas de riego; menor coste de transporte y distribución del agua; el incentivo que supone un mejor servicio de suministro de agua, menos dependiente de turnos de riego, con posibilidad de disponer de aguas con mayor calidad y garantía, no sujetas a la vulnerabilidad de las sequías hidrológicas; que sean los propios usuarios de aguas subterráneas los que asumen los costes privados, lo que conlleva a una mayor rentabilidad de las explotaciones no subvencionadas; la diferente visión empresarial de los regantes que utilizan unas u otras aguas, hecho que conduce a que los cultivos tengan también una orientación productiva diferente buscando cultivos de alto rendimiento. Pero, además, hay que tener en cuenta que los costes sociales, financieros y ambientales de las grandes obras de regulación superficial pueden ser hasta dos y tres veces superiores a los que se generarían por la utilización de las aguas subterráneas (Arrojo, 2001), pues estas cuentan con la ventaja de estar almacenadas en grandes reservorios naturales (acuíferos) que por su naturaleza, extensión o proximidad a las áreas regables no necesitan de grandes obras de infraestructura para su explotación.

Es aquí donde las propuestas realizadas en el capítulo de infraestructura hidrogeológica, fundamentalmente en las recomendaciones para la integración de los recursos hídricos subterráneos en la gestión hidrológica de la cuenca, han de buscar el denominador común de la ventaja o beneficio económico y social de su consecución.

Observando la ubicación de las masas de agua subterránea en la cuenca del Ebro respecto de la situación de las grandes superficies cultivables, se podría deducir que la facilidad de acceso a los recursos subterráneos queda limitada a los acuíferos detríticos sobre los que se han venido planificando los regadíos extensivos y los regadíos tradicionales, con explotación a veces intensa de sus recursos. No obstante, las diferentes estrategias de gestión conjunta de los recursos hídricos aportan un valor añadido a las aguas subterráneas en aquellos acuíferos distantes de las superficies potencialmente regables mediante la aportación de los caudales bombeados a los cauces, embalses superficiales y demás infraestructuras de conducción.

Como se ha comentado en este documento, la posibilidad de incrementar los recursos regulados en la cuenca del Ebro mediante nuevas extracciones de agua subterránea supone disponer de importantes volúmenes de agua con los que garantizar los regadíos ya existentes, aumentar la dotación de los cultivos, o poder incrementar la superficie actualmente regada. Puesto que este incremento de regulación no siempre podrá ni deberá ser asumido por el sector agrícola, se podrían destinar los caudales restantes a una función o uso ambiental del agua, que garantice el sostenimiento en calidad y cantidad de cauces y espacios húmedos, mejore los caudales ecológicos de los ríos en situaciones climáticas extremas o, incluso, posibilite la recuperación de los acuíferos intensamente explotados. Se comprende así, en parte, la conceptualización económica antes referida de los beneficios hidrológicos y ecológicos de la utilización de las aguas subterráneas.

Los objetivos perseguidos con esta propuesta funcional de aguas subterráneas no son, por otro lado, diferentes de los objetivos comunes a todas las aguas recogidos en el anexo 1 de la Directiva 2000/60/CE, especialmente a lo referido en los apartados:

- a) “que prevenga todo deterioro adicional y proteja y mejore el estado de los ecosistemas acuáticos y, con respecto a sus necesidades de agua, de los ecosistemas terrestres y humedales directamente dependientes de los ecosistemas acuáticos”.
- b) “promueva un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles”.

Tampoco los objetivos son diferentes de los objetivos medioambientales perseguidos específicamente por la Directiva Marco del Agua para las aguas subterráneas en el artículo 4, apartado b):

- i) se deberán aplicar las medidas necesarias para “...evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea”.
- ii) “... proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua subterránea y garantizar un equilibrio entre las extracciones y la alimentación de dichas aguas...”.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARQUED, V. (1997). *Condicionantes hidrológicos en la margen derecha del Ebro. El sector Primario y el aprovechamiento agroindustrial en Aragón*. B.3.1.2. Confederación Regional de Empresarios de Aragón. 202 pp.
- ARRATE, I. (1994). *Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Álava)*. Tesis de Doctorado. Universidad del País Vasco.
- ARROJO, P. (2000). *Valoración de las aguas subterráneas en el marco económico general de la gestión de aguas en España*. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. La economía de las aguas subterráneas en España. Serie B, nº 3. Fundación Marcelino Botín. 49 pp.
- BAYÓ, A. (1996). Los acuíferos y las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro Júcar e Internas de Cataluña. *Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica*, pp. 19-29. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Lleida
- COLOMA, P. (1999). *Funcionamiento hidrogeológico de las cuencas orientales riojanas*. Tesis de Doctorado. Universidad de Zaragoza.
- COROMINAS, J. (2000). *El papel económico de las aguas subterráneas en Andalucía*. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. La economía de las aguas subterráneas en España. Serie B, nº 2. Fundación Marcelino Botín. 54 pp.
- CUSTODIO, E. (1997). Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*, pp 83-109. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria.
- DE MIGUEL, J. L. (1998). *El agua en el Sistema Acuífero de Alfamén*. Estudio hidrológico y de gestión. Tesis de Doctorado. Universidad de Zaragoza
- DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (DOCE) (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por el que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. DO L 327/1 22-12-2000.
- DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (DOCE) (2006). *Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro*. DO L 372/19 27-12-2006.

- GARCÍA VERA, M. A. (1996). *Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos. Aplicación a los Monegros (Zaragoza y Huesca)*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza. Serie Investigación nº 3. Zaragoza, 297 pp
- GARFIAS, J., LLANOS, H., RUDOLPH, D. (2000). Modelación de flujo y transporte para el establecimiento de frentes advectivos de contaminación en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). *Est. Museo Ciencias Naturales de Álava*. pp 25-40.
- LERNER, D. N., ISSAR, A. S., SIMMER, I. (1990). *Groundwater recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge*. International Contributions to Hydrogeology. IAH. Vol. 8. Verlag Heinz Heise. Hannover.
- LLAMAS, M. R., HERNÁNDEZ-MORA, N. Y MARTÍNEZ-CORTINA, L. (2000). *El uso sostenible de las aguas subterráneas*. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Uso intensivo de las aguas subterráneas. Aspectos éticos, tecnológicos y económicos. Serie A, nº 1. Fundación Marcelino Botín. 54 pp.
- LLAMAS, M. R., FORNÉS, J., HERNÁNDEZ-MORA, N. Y MARTÍNEZ-CORTINA, L. (2001). *Aguas subterráneas: retos y oportunidades*. Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 529 pp.
- LLANOS, H. J. (1992). *Estudio hidrogeológico de las Unidad de Urbasa-Montes de Vitoria-Treviño y sus sectores adyacentes*. Tesis de Doctorado. Universidad del País Vasco.
- LLANOS, H., GARFIAS, J., ÁBALOS, B. (2000). Estudio hidrogeológico general de la Sierra de Cantabria (Álava). *Est. Museo Ciencias Naturales de Álava*. pp 5-41.
- MOPTMA-MINER (1994). *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. Serie Monografías. Ministerio de Obras Públicas Transporte y Medio Ambiente-Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 135 pp.
- SÁNCHEZ, J. A. (1987). *Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la Sierra de Guara y sus Somontanos*. Tesis de Doctorado Universidad de Zaragoza.
- SAN ROMÁN, J. (1994). *Estudio hidrogeológico del interfluvio Queiles-Jalón (Zaragoza)*. Tesis de Doctorado. Universidad de Zaragoza.
- SAUQUILLO, A. (1996). Posibilidades del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en la planificación hidrológica. *Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e Internas de*

Cataluña y su papel en la planificación hidrológica, pp. 51-71. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Lleida.