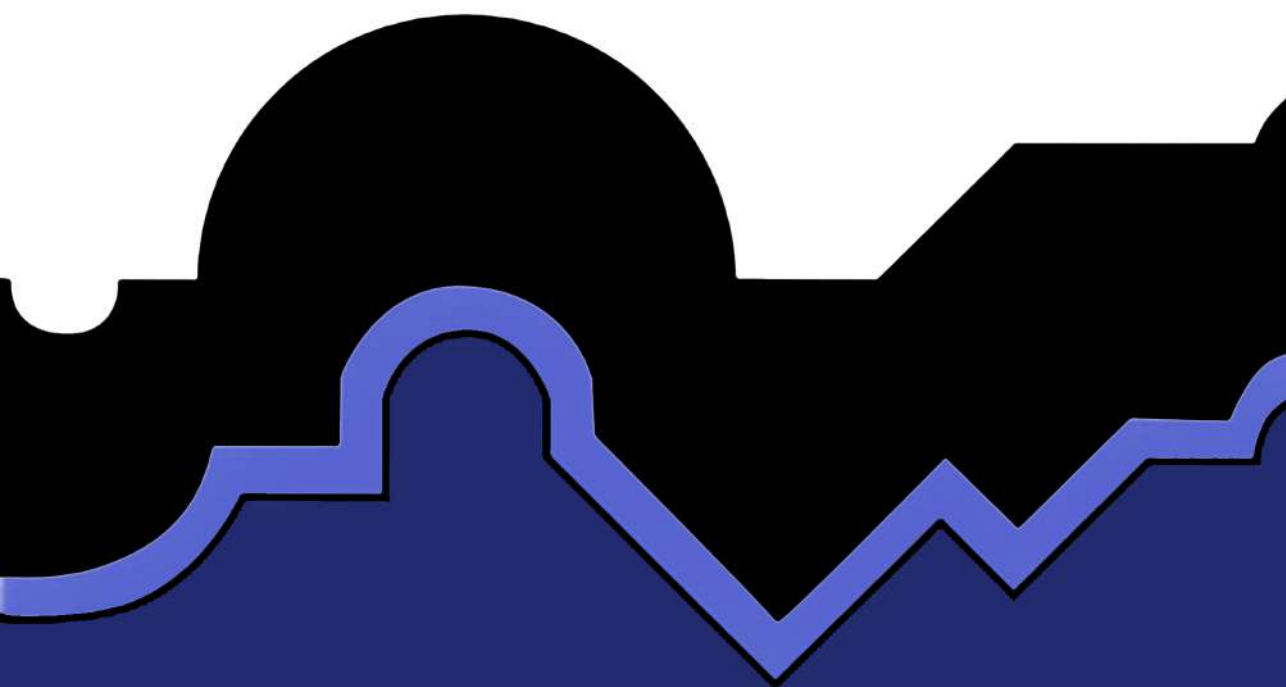


HIDROGEOLOGÍA Y RECURSOS HIDRÁULICOS

JORNADA SOBRE EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**Oportunidad científico-técnica y disponibilidad
económica para la implementación**

TOMO XXXI



Madrid 13 de junio de 2024

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE HIDROGEÓLOGOS (A.E.H.)

**JORNADA SOBRE EL PLAN DE ACCIÓN
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.
OPORTUNIDAD CIENTÍFICO-TÉCNICA
Y DISPONIBILIDAD ECONÓMICA
PARA LA IMPLEMENTACIÓN**

Organización

Asociación Española de Hidrogeólogos (AEH).

Colaboración

Club del Aguas Subterránea (CAS), Dirección General del Agua (MITERD)
y Escuela de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid.

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA).

Centro Tecnológico del Agua (CETAQUA).

AMPHOS 21

Madrid 2025

Serie: HIDROGEOLOGÍA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. Volumen XXXI

Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación.

130 pgs; ils; 24 cm.- (Hidrogeología y Recursos Hidráulicos; XXXI)
ISBN 978-84-09-73031-5

1. Río 2. Masas de Agua Subterránea 3. Gestión 4. Conservación 5. Planes 6. España I. Asociación Española de Hidrogeólogos. Instituto Geológico y Minero de España, ed. II. Miguel Boned, Sebastián Delgado Moya, Antonio Fernández Uría, José María Herranz Villafuella, Juan Antonio López Geta, Segismundo Niñerola i Pla, Fernando Octavio de Toledo y Ubieta

Portada: Logo Asociación

Las opiniones vertidas por los autores de las diferentes ponencias no tienen por que ser compartidas por los editores, no responsabilizándose por tanto de las mismas.

Ninguna parte de este libro, incluidas fotografías, puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor o editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

© ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE HIDROGEÓLOGOS (AEH)
Raquel Meller, 7. 28027 MADRID
ISBN: 978-84-09-73031-5

Imprime: Soluciones Gráficas Chile, S.L.L. - C/. Chile, 27 - 28016 MADRID - Tel.: 91 359 57 55

Impreso en papel ecológico

Índice

	Pág.
Presentación	5
Ponencias	
1 El plan de acción de aguas subterráneas 2023-2030. Luis Martínez Cortina. Subdirección General de Planificación Hidrológica, Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.	9
2 Conocimiento de las aguas subterráneas. Del PIAS al PAAS (Plan de Acción de Aguas Subterráneas). Juan Antonio López Geta. Dr. Ingeniero de Minas. Hidrogeólogo.	27
3 Gestión Sostenible de Aguas Subterráneas en HIDRALIA. Enrique Gutiérrez Díez. Director de Innovación de Hidralia y Gerente de la Fundación Cetaqua Andalucía.	57
4 Oportunidades de las Aguas Subterráneas en el marco del plan de acción. Recurso estratégico. Recurso ambiental. Reflexiones sobre la recarga artificial de acuíferos. Juan Carlos Rubio Campos. Consejo Asesor del Club del Agua Subterránea.	73
5 Profesionales Hidrogeólogos y la Empresa privada en el desarrollo del Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Jordi Guimerà, Albert Allepuz, Jorge Molinero, Elena Abarca, Ester Vilanova, Salvador Jordana. Amphos 21 Consulting SL.	89
6 El Plan de Acción de Aguas Subterráneas visto desde el Sur. Fernando Delgado Ramos. Profesor titular de Ingeniería Hidráulica. E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.	101
Conclusiones	107

PRESENTACIÓN

Buenos días y bienvenidos a esta Jornada.

La Asociación Española de Hidrogeólogos ha creído conveniente organizar esta Jornada, dedicada al Plan de Acción de Aguas Subterráneas, para congratularnos de su existencia y de que esté dotado con un importante presupuesto. Además, por rendir tributo de agradecimiento a quienes han tenido la inteligencia de ver la necesidad de avanzar en el conocimiento de los recursos subterráneos.

Pretendemos, también, ofrecer un foro de discusión y análisis de la situación actual de nuestros recursos subterráneos en el marco del PAAS, para elaborar actuaciones complementarias que puedan dar continuidad a este camino, felizmente emprendido, de dedicar atención, recursos económicos y planes sistemáticos para disponer de información actualizada y fidedigna del estado de nuestros acuíferos, unidades hidrogeológicas después, masas de agua subterránea ahora.

Unos rasgos históricos, que son parte de la propia historia de la Asociación Española de Hidrogeólogos, quizá sirvan mejor para ilustrar nuestra satisfacción de tener un Plan de Acción de Aguas Subterráneas.

Esta Asociación hace tiempo que, con la oportunidad que nos brindaban los Simposios de Hidrogeología y los diversos actos que ha organizado, ha solicitado, primero, que se elaborara un programa para las aguas subterráneas que las instancias internacionales también demandaban (Reunión interministerial de La Haya de 1991). En el año 1994 se elaboró el "Programa de Aguas Subterráneas", compuesto de dieciseis Programas, tres de ellos a propuesta de la Asociación Española de Hidrogeólogos, evaluados en un total de 138.890 millones de aquellas pesetas (unos 840 m de €). Con reiteración demandamos que se ejecutara dicho Programa.

Permítanme aquí un paréntesis para recordar a D. Amable Sánchez quien lideró, en el extinto Servicio Geológico de Obras Públicas, la elaboración del "Programa de Aguas Subterráneas" que dio pie a la redacción del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas, publicado en 1995, con la inestimable participación del Instituto Geológico y Minero de España.

Posteriormente, la Ley del Plan Hidrológico Nacional del año 2001 incluyó, en su artículo 29 la elaboración, para las cuencas intercomunitarias, un "Plan de Acción en materia de aguas subterráneas". Volvimos a interesarnos por dicho Plan aunque, igualmente, con poco éxito.

Siempre nos ha motivado la esperanza de que todas las actuaciones contenidas en tales documentos sirviese para relanzar la actividad hidrogeológica; para evitar la huida, hacia otras tareas, de los valiosos recursos humanos dedicados a este oficio y tuviésemos un conocimiento de las aguas subterráneas adecuado y actualizado para los requisitos de la planificación hidrológica y la buena gobernanza.

Mientras esos esfuerzos no terminaban de concretarse, la información que se ha utilizado para elaborar la evaluación y diagnóstico de las masas de aguas subterráneas ha sido, salvo raras excepciones, la derivada del emblemático PIAS (Plan de Investigación de Aguas Subterráneas) del Instituto Geológico y Minero de España, que se realizó desde 1971 a 1984 y del que resultó la actual infraestructura hidrogeológica del territorio.

En los cuarenta años transcurridos desde el PIAS, las más importantes masas de agua subterránea han sufrido una notable modificación de sus características, tanto cuantitativa, como cualitativa, así como de sus parámetros hidráulicos. De hecho, tan solo la mitad (54% de las masas de agua subterránea diagnosticadas en la planificación hidrológica), está en buen estado. Y muchas, con problemas graves para su reversión al buen estado.

Además, se ha perdido un activo trascendente. Casi todas las importantes empresas privadas con nutridos equipos técnicos especializados en aguas subterráneas han desaparecido. Aquellos hidrogeólogos con una larga y acreditada experiencia de muchas horas de estudio, exploración, ensayos, controles a pie de obra, se fueron disgregando hacia otros menesteres. Ha sido un largo periodo sin referentes y expectativas de futuro, con la lógica repercusión en el escaso número de alumnos en los grados de hidrogeología y la desaparición de emblemáticos cursos de postgrado.

Recuerdo, por si se ha olvidado, que, cuando se empezó el estudio sistemático de nuestros acuíferos, fueron las empresas privadas las que invertían en formación e investigación, llevando al exterior a sus cualificados técnicos a especializarse; a contactar con los grandes expertos internacionales para que nos transfirieran sus conocimientos y experiencias; a adquirir los primeros códigos matemáticos para simular el flujo subterráneo.

Hemos de felicitarnos de que aquella pionera labor investigadora haya sido continuada, mejorada y mantenida hasta el presente en las universidades y centros de investigación.

Y la Administración, ¿que ha hecho en este largo período? Menuda misión la de asumir la ingente tarea que la Ley de Aguas, en el año 1985, otorgó a los Organismos de Cuenca. Sin medios materiales, sin recursos humanos especializados en aguas subterráneas, sin experiencia y conocimientos del subsuelo, con una ancestral cultura basada en las aguas superficiales y obras hidráulicas, los resultados eran previsibles y son de todos conocidos.

Esas aguas un tanto misteriosas, ocultas en las profundidades del subsuelo, son vistas e imaginadas en su tridimensión por quienes tienen formación geológica, los hidrogeólogos. A esas aguas se recurre con urgencia cuando se necesitan para satisfacer demandas en períodos excepcionales. Nadie les presta atención, como ocurre con las aguas visibles o superficiales,

sino cuando los embalses nos muestran su peor estado; los ríos, sus escasos caudales; los ecosistemas, su degradación; sin embargo, se hacen tangibles en manantiales, pozos y sondeos, millares de hectáreas regadas y multitud de abastecimientos urbanos.

Para que cumplan esa ignota, pero decisiva misión, de resolver situaciones de escasez y aménorar los efectos de los recurrentes períodos de sequía, además de contribuir al desarrollo económico de vastas regiones, otrora deprimidas, es necesario invertir en investigación, estudios, preservación, protección, control y gobernanza. Volviendo al campo a tomar nuevos y actualizados datos y conocer lo que aún se desconoce.

Por ventura, hoy, ya presente, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, nos ha brindado un referente tangible en el Plan de Acción de Aguas Subterráneas, con unos quinientos millones de euros de presupuesto.

Afortunadamente también, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha puesto en marcha un “Plan Estratégico de Recursos Humanos de las Confederaciones Hidrográficas”, esencial para que quienes tienen que gestionar estos trascendentes recursos, dispongan de equipos de hidrogeólogos que dominen el medio geológico en el que se albergan las aguas subterráneas, su delimitación geológica, que comprenden los mecanismos de percolación y recarga, flujo, descarga, etc. Y los procesos físico-químicos y biológicos que condicionan su calidad y, también, los modos y maneras de descontaminar y restaurar.

Estamos aquí congregados para repasar, de la mano de destacados y expertos ponentes, importantes aspectos de las aguas subterráneas: situación actual del conocimiento de las mismas, problemáticas, técnicas, importancia ambiental y estratégica, panorama profesional y gobernanza, para mejor aprovechar la “oportunidad científico-técnica” que nos brinda el PAAS y ofrecer a la Dirección General del Agua la colaboración en su ejecución para, asimismo, mejor aprovechar la disponibilidad económica con que está dotado.

Felicitamos a la Dirección General del Agua por haber elaborado el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Por haber logrado concretar un importante presupuesto, empero insuficiente, dedicado a las aguas subterráneas. También por dar visibilidad y trascendencia a un voluminoso y estratégico recurso hídrico que necesita atención urgente para mantenerlo disponible en buen estado, cuando las circunstancias sean adversas. Gracias por ese gesto de visibilidad que se intuye en esa gota, en su tránsito hacia el medio oculto, del anagrama del Plan.

Agradecemos a la Subdirección General de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos de la Dirección General del Agua el apoyo y colaboración que nos ha brindado.

A la directora del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), actor principal de cuanto conocemos de nuestras aguas subterráneas. Este nos ha prestado siempre una inestimable colaboración en los actos que la Asociación Española de Hidrogeólogos ha organizado. Gracias por seguir acompañándonos.

A la presidenta del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, colectivo que por conocer y compren-

der el mundo subterráneo, es esencial para colaborar en la ejecución del PAAS. Gracias por representar a todos ellos y acudir a esta Jornada.

Al director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Gracias por ofrecernos toda clase de facilidades para que podamos celebrar este acto en esta magnífica instalación. Gracias también por su inestimable colaboración y presidir esta mesa inaugural.

A todos ustedes que nos honran con su presencia, muchas gracias.

Sebastián Delgado Moya
Presidente AEH

Martínez Cortina, L., 2025. El Plan de acción de Aguas Subterráneas 2023-2030. En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafruela, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volúmen XXXI, pp. 9-26. Madrid.

EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 2023-2030

Luis Martínez Cortina

Subdirección General de Planificación Hidrológica, Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

RESUMEN

En julio de 2023 se aprobó el Plan de Acción de Aguas Subterráneas 2023-2030, con una inversión prevista de 500 millones de euros. Un diagnóstico previo evidenció los problemas de gobernanza y gestión de las aguas subterráneas y una ralentización en las últimas décadas de la mejora del conocimiento existente. Esta mejora del conocimiento y de la gestión se constituye así como objetivo principal del Plan. En el primer año de implementación del Plan han sido numerosas las actividades puestas en marcha. Uno de los elementos considerados clave en el enfoque de estas actuaciones es conseguir involucrar a todos los actores relevantes para la mejora del conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas. Se resumen aquí las principales actividades y actuaciones desarrolladas, que se completarán en el informe anual de actuaciones del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, que se presentará a la Comisión estatal de seguimiento y asesoramiento que se convocará en los próximos meses.

Palabras clave: aguas subterráneas, mejora del conocimiento, gobernanza, redes de control, digitalización, protección.

1. LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ESPAÑA

Las aguas subterráneas ocuparon el foco del Día Mundial del Agua del año 2022, celebrado bajo el lema "*Aguas Subterráneas, hacer visible lo invisible*" (UNESCO, 2022). UNESCO llamaba así la atención sobre un recurso vital, que supone el 99% de toda el agua dulce líquida de la Tierra, en una magnitud del orden de una centena de veces superior a la que acumulan ríos, lagos y embalses.

En un país con las condiciones climáticas, geológicas, hidrológicas y de patrimonio natural que tiene España, las aguas subterráneas adquieren una importancia esencial para la vida de las personas y para la salud medioambiental.

En España, del orden del 30% del recurso natural de agua tiene origen subterráneo. Las aguas subterráneas mantienen el caudal base de los ríos y son el sustento de numerosos manantia-

les, humedales y ecosistemas de gran valor. Sirva como ejemplo la importancia decisiva que las aguas subterráneas tienen en el funcionamiento hidrológico de algunos de nuestros espacios naturales de mayor valor, como las Tablas de Daimiel y el resto de la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda, el Mar Menor, L'Albufera de Valencia o Doñana, entre otros.

A este papel esencial en la configuración de nuestro medio ambiente, se le une su valor como recurso, que ha permitido generar indudables beneficios sociales y económicos.

Cerca del 25% del abastecimiento urbano (unos 1.200-1.300 hm³/año) se atiende con aguas subterráneas, un porcentaje que aumenta considerablemente en municipios de pequeño tamaño. En años secos el porcentaje de relevancia de las aguas subterráneas también aumenta, permitiendo en muchos sitios garantizar el suministro en secuencias extremadamente secas.

Por lo que respecta al uso agrario, el agua subterránea utilizada es del orden de los 5.000 hm³/año (aproximadamente el 22% del total). La garantía de suministro que las aguas subterráneas proporcionan en secuencias secas ha sido un factor decisivo para que muchos agricultores opten por cultivos de alto valor, sin el riesgo de perder inversiones importantes en esos periodos secos. Se ha generado así, en torno a las aguas subterráneas, una agricultura normalmente de gran eficiencia, a lo que también ha contribuido el hecho de que son los propios usuarios los que asumen los costes de la ejecución de la captación, el bombeo y la distribución del agua.

Para el conjunto de usos, el volumen de agua subterránea utilizada está en torno a los 6.500-7.000 hm³/año, lo que representa el 23% del total de agua utilizada en España (MITECO, 2023b). Geográficamente, estas cifras medias enmascaran una importancia cuantitativa muy superior en determinadas zonas. En muchas de nuestras islas constituían, hasta la llegada de la desalación, prácticamente el único recurso disponible, mientras que en cuencas como las del Júcar, Segura o las Cuencas Mediterráneas Andaluzas las cifras de utilización son muy cercanas a las correspondientes a las aguas superficiales.

Junto a los indudables beneficios socioeconómicos que las aguas subterráneas han producido, su utilización intensiva y el escaso control con el que se generalizó su uso en algunas zonas han producido también impactos negativos importantes. Entre ellos pueden mencionarse el descenso, a veces muy notable, de niveles piezométricos, llegando a producir la desconexión de los acuíferos y provocando la desaparición de manantiales y el cese de la aportación subterránea a ríos o zonas húmedas conectadas. Algunos de los espacios naturales más relevantes antes mencionados, como las Tablas de Daimiel o Doñana, sufren impactos de este tipo.

También son evidentes algunos problemas de contaminación, principalmente de fuente difusa, que se evidencian en el alto contenido en nitratos de muchos acuíferos. Un problema que, en general, ha tenido una cierta estabilización, pero sin que se haya logrado su reversión a valores aceptables.

Las características específicas de las aguas subterráneas en cuanto a su distribución en la mayor parte del territorio, la capacidad de almacenamiento de los acuíferos y casi nula evaporación, su transmisividad, el carácter estratégico en situaciones de sequía (en las que no se ven afectadas como las aguas superficiales) y su papel esencial en el mantenimiento del caudal de los ríos, de ecosistemas acuáticos y de los márgenes de ribera de cauces y humedales, hacen de las aguas subterráneas un recurso vital para la sociedad y aún con una mayor trascendencia futura en un contexto de cambio climático.

A pesar de su enorme importancia, este recurso natural es a menudo poco conocido por la sociedad, lo que conduce a infravalorarlo y dificulta una gestión adecuada. Aunque España es un país puntero y de reconocido prestigio en el ámbito de la hidrogeología, en las Administraciones y organismos públicos hay un indudable déficit de personal con formación y conocimientos en hidrogeología que puedan entender e incorporar en su trabajo la protección y gestión de las aguas subterráneas.

Los diagnósticos respecto a los problemas relacionados con el conocimiento, gestión y gobernanza de las aguas subterráneas son compartidos por diversos autores e instituciones (Molinero, 2020; EEA, 2022; UNESCO, 2022; Custodio, 2023).

En consonancia con el esfuerzo que se requiere por parte de las instituciones públicas respecto a esta mejora del conocimiento, gestión y gobernanza de las aguas subterráneas, las *Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio Climático* (MITECO, 2022) incluyeron la necesidad de elaborar un Plan de Acción de Aguas Subterráneas como uno de sus instrumentos básicos. Se presentan a continuación los aspectos más relevantes del planteamiento de este Plan.

2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El objetivo general del Plan de Acción de Aguas Subterráneas es la mejora del conocimiento, gestión y gobernanza de las aguas subterráneas, enfocadas al gran reto de alcanzar el buen estado cuantitativo y químico de las masas de agua subterránea y los objetivos de las zonas protegidas y ecosistemas asociados, compatibilizándolo con una utilización sostenible de las aguas subterráneas para los diferentes usos.

Se espera además que este Plan de Acción sirva de referencia para desarrollar unos programas de actuaciones e inversiones en materia de conocimiento y gestión de las aguas subterráneas que puedan ser mantenidos de forma estable en el futuro, y que de él sean partícipes todos los sectores (Administración, técnicos-científicos, usuarios, empresas), que tienen que estar involucrados y participar en la adopción de las soluciones necesarias.

Para cumplir estos objetivos generales, el Plan de Acción establece una serie de objetivos específicos que responden a un diagnóstico previo. Pueden mencionarse los siguientes:

- Identificar y fomentar la implicación de los principales actores estatales que pueden contribuir al desarrollo del Plan.
- Mejorar y actualizar el conocimiento hidrogeológico de base mediante la realización de estudios e investigaciones hidrogeológicas que permitan tener una información y conocimiento adecuados de las características de los acuíferos y masas de agua subterránea, así como de las relaciones existentes entre los distintos elementos del sistema hidrológico en el que se integran.
- Avanzar en el conocimiento de las relaciones causa-efecto que existen entre las distintas presiones y actuaciones a las que están sometidas las masas de agua subterránea con el objeto de tener un mejor establecimiento de los procesos DPSIR. Esto permitirá una mejor evaluación del estado de las masas de agua subterránea y una definición más concreta de las medidas más adecuadas para su mejora.
- Impulsar, de forma generalizada, la utilización de los instrumentos, herramientas y tecnologías más actualizados, tanto en la gestión del conocimiento, como en el manejo y gestión de los datos e información, o en los aspectos más concretos de la protección y control de las aguas subterráneas.
- Mejorar las redes de control existentes, incluyendo las redes hidrométricas, garantizando la representatividad de las mismas y proporcionando al público acceso sencillo, rápido y visualmente atractivo a una información contrastada y actualizada.
- Facilitar el acceso público a la información hidrogeológica en relación con el conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas, de una forma sencilla, organizada y de calidad.
- Divulgar ante la sociedad la importancia de las aguas subterráneas, considerando el establecimiento de indicadores de fácil comprensión, relativos al estado cuantitativo y de calidad de las aguas subterráneas por demarcaciones hidrográficas.
- Contribuir a divulgar, visibilizar y concienciar sobre los riesgos asociados a la mala gestión de las aguas subterráneas en un contexto de creciente escasez de recursos hídricos.
- Avanzar en la resolución de los problemas que afectan desde hace tiempo a algunas masas de agua subterránea en España, generalmente asociados a su aprovechamiento intensivo y consiguiente afección a zonas protegidas o a ecosistemas dependientes de especial relevancia o singularidad.
- Mejorar el conocimiento científico-técnico y desarrollar herramientas y soluciones generales y particulares para hacer frente a los problemas de contaminación de las aguas subterráneas.
- Impulsar, en su sentido más amplio, la digitalización del sector del agua; tanto la de los organismos de cuenca como la de los distintos sectores implicados en los usos del agua, permitiendo un mejor conocimiento y control del agua subterránea que se utiliza.
- Mejorar los aspectos normativos y de gobernanza que faciliten la gestión de las aguas subterráneas.
- Fomentar la creación de comunidades de usuarios y fortalecer el papel de las mismas, mediante el impulso de convenios con la Administración u otras herramientas, facilitando la gestión administrativa y técnica que requieren, en la medida en la que contribuyan a una gestión de las masas de agua subterránea en línea con los objetivos de gestión establecidos.
- Impulsar el conocimiento técnico, la concienciación y la divulgación de los principales

aspectos que caracterizan la gestión de las aguas subterráneas, a través del desarrollo de actividades de formación y capacitación en todos los sectores.

- Potenciar la formación del conocimiento en hidrogeología y en la gestión de recursos hídricos subterráneos mediante la realización y organización de cursos, talleres y jornadas específicas.
- Fomentar sinergias en el seno de las Administraciones que contribuyan a la dotación de personal con formación y conocimientos en hidrogeología.

3. LÍNEAS DE ACCIÓN

El diagnóstico de la situación de las aguas subterráneas en España y los objetivos planteados con este Plan de Acción de Aguas Subterráneas aconsejaron centrar los esfuerzos en las siguientes líneas de acción principales, sobre las que se basarán las actividades y tareas a desarrollar en los próximos años:

- Mejora del conocimiento
- Impulso a los programas de seguimiento
- Protección frente al deterioro de su estado
- Digitalización y control de usos
- Gobernanza y marco normativo

Todas estas líneas de acción están interrelacionadas entre sí. Las actuaciones en cada una de ellas potencian o sirven de soporte al resto. Se pretende establecer así una dinámica de avance continuo en el conocimiento y en la difusión y visibilidad del mismo, de forma que los propios avances vayan estableciendo y ajustando las necesidades posteriores de mejora y divulgación del conocimiento, de desarrollo de herramientas de ayuda a la gestión, y de otras actuaciones relacionadas con la gobernanza.

3.1. Mejora del conocimiento

Si en cualquier elemento a gestionar el conocimiento es la base de una adecuada toma de decisiones, esto es especialmente significativo en el caso de las aguas subterráneas, afectadas por la complejidad de los sistemas hidrológicos y sus interrelaciones, por la incertidumbre inherente a los procesos hidrológicos y ecológicos y por la falta de conocimiento actualizado de algunos aspectos que determinan el comportamiento hidrogeológico de nuestros acuíferos.

La mejora del conocimiento permitirá avanzar en la comprensión del funcionamiento de las aguas subterráneas y de los procesos e interrelaciones que se producen en los sistemas en que se integran. Esto contribuirá a una mejor gestión del recurso, más enfocada en la consecución de los objetivos ambientales y en la adecuada atención de las demandas compatibles con esos objetivos.

Algunos aspectos clave a tener en cuenta en esta mejora del conocimiento son: la necesidad de realizar trabajo de campo, después de que en los últimos años se haya tendido más a ree-laborar estudios con datos no suficientemente actualizados; la importancia de avanzar en el conocimiento de las relaciones causa-efecto, para lo cual la modelación y las nuevas técnicas y herramientas disponibles pueden desempeñar un papel fundamental, o la necesidad de hacer accesible a cualquier interesado todo el conocimiento existente de forma sencilla y transparente.

Así, el Plan de Acción contempla la recopilación y análisis de la información existente y la realización de estudios hidrogeológicos y modelaciones numéricas tanto a escala nacional como de demarcación hidrográfica. Algunas tareas más específicas consideradas son: la evaluación homogénea de la recarga por lluvia y del recurso disponible, la elaboración de un mapa de piezometría actualizado, la mejora del conocimiento de la geometría de los acuíferos, de sus parámetros y de sus interrelaciones o la definición y actualización de la caracterización de la relación río-acuífero y de las relaciones con los ecosistemas dependientes, entre otras.

Toda la información existente, así como la que se vaya generando a raíz de la implementación del Plan de Acción, será recopilada y puesta a disposición del público en el Gestor Documental de Aguas Subterráneas ADEPAS¹, actuación prevista en el Plan de Acción de Aguas Subterráneas que ya está siendo desarrollada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Hasta la fecha se han cargado más de 1.200 estudios y más de 1.100 mapas, gráficos o columnas de sondeo.

3.2. Impulso a los programas de seguimiento

Los programas de seguimiento, bajo unos adecuados criterios de diseño y representatividad, son necesarios para realizar un análisis de la situación y evolución del estado de las masas de agua subterránea. En este análisis es importante tener presente la importancia de disponer como referencia de datos temporales hidrogeológicos más antiguos, tanto desde el punto de vista de la cantidad como de la calidad, e incluyendo también la red hidrométrica.

En los trabajos a realizar, dos de los factores esenciales a tener en cuenta son: la representatividad de las redes y, una vez más, la importancia de que la información sea puesta a disposición pública con unos criterios claros de calidad, fiabilidad y accesibilidad.

En esta mejora de las redes actuales, que ya se ha puesto en marcha en muchas de sus actuaciones, el Plan de Acción propone diversas actividades específicas: el análisis y diagnosis general del estado de los programas de seguimiento existentes; la consolidación de las redes incluyendo las labores de mantenimiento y la integración en los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica de piezómetros automatizados; el incremento de la densidad en

¹ Gestor documental de archivos digitales de aguas subterráneas.

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/adepas.html>

masas prioritarias; la atención al control de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas o de la intrusión marina; el incremento de muestreos relacionados con nitratos, plaguicidas, contaminantes emergentes, etc. o el fomento del empleo de nuevas herramientas (como el aprendizaje automático) para el manejo de grandes volúmenes de información.

3.3. Protección frente al deterioro del estado

Uno de los objetivos esenciales del Plan de Acción de Aguas Subterráneas es cumplir con los objetivos legalmente establecidos de buen estado de las masas de agua subterránea y de las zonas protegidas asociadas. La mejora del conocimiento y el mejor control a través de las redes de seguimiento han de ser elementos que permitan definir mejor las actuaciones necesarias para hacerlo posible.

Un 33% de las masas de agua subterránea presentan mal estado químico (destacando el problema del alto contenido en nitratos), mientras que en torno al 25% están en mal estado cuantitativo (por la afección del uso intensivo a los niveles piezométricos y a la conexión con corrientes superficiales y ecosistemas dependientes).

El Plan de Acción de Aguas Subterráneas plantea actuaciones de muy diversos tipos en este ámbito: estudios relacionados con la contaminación por nitratos y por plaguicidas, trabajos relacionados con cartografía de vulnerabilidad, planes de explotación de acuíferos, estudios y modelación de procesos de intrusión marina, sistemas de alerta temprana, etc.

El Plan dedica una especial atención y diversas actuaciones normativas y metodológicas a la implementación real y efectiva de perímetros de protección, que han de constituir una de las herramientas más relevantes para proteger las aguas subterráneas.

Dentro de esta protección frente al deterioro, también se ponen en valor las reservas naturales subterráneas, una figura de especial protección para masas de agua subterránea, o partes de ellas, con características especiales por su representatividad y por mantener una situación apenas alterada. Se plantean para estas reservas (de gran interés adicional para el estudio de los efectos del cambio climático) actuaciones de conservación, seguimiento y puesta en valor, así como medidas de gestión asociadas.

3.4. Digitalización y control del uso

La digitalización es una cuestión especialmente transversal que afecta al resto de líneas de acción. En el Plan de Acción se le ha dado un tratamiento específico dada la relevancia que ha de tener en los próximos años.

Las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías de gestión de la información y de las comunicaciones, así como las de otras numerosas herramientas disponibles para su utilización al servicio del conocimiento hidrogeológico de base, pueden permitir un avance espectacular

en todos los aspectos relacionados con el conocimiento, divulgación y gestión de las aguas subterráneas.

El Plan de Acción de Aguas Subterráneas plantea esta digitalización en un sentido amplio y transversal, interrelacionado con el resto de líneas de acción: digitalización de la gestión de la Administración; gestión documental de toda la información y conocimiento generado en el ámbito de las aguas subterráneas y la hidrogeología; difusión, visibilidad y accesibilidad pública de toda la información; control de los usos del agua; desarrollo de modelos numéricos abiertos, útiles para la gestión y actualizables, así como de otras herramientas.

Buena parte de las actuaciones a desarrollar se enmarcarán en el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica de Digitalización del Ciclo del Agua (PERTE-Agua)². Mediante el PERTE se impulsa la digitalización en el ciclo del agua, tanto para los organismos de cuenca como para los distintos sectores implicados en los usos del agua. A este respecto, de especial relevancia para el cumplimiento de los objetivos del Plan de Acción es la importante inversión que se destinará a las comunidades de usuarios de aguas subterráneas.

3.5. Gobernanza y marco normativo

La necesidad de mejorar la gobernanza de las aguas subterráneas ha sido destacada a menudo como uno de los factores imprescindibles para una adecuada gestión (MITECO, 2020). La experiencia ha puesto de manifiesto que una gestión colectiva y co-responsable de los usuarios del recurso aporta beneficios tanto para los usuarios como para la Administración. El Plan de Acción pretende impulsar el papel de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas (CUAS), fomentando su establecimiento, reforzando sus funciones, desarrollando algunos aspectos de la Ley de Aguas actual y potenciando el establecimiento de convenios con la Administración que contribuyan a involucrar a los usuarios mediante instrumentos que faciliten la gobernanza.

Se requiere asimismo un marco normativo actualizado. Muchas de las cuestiones planteadas durante la elaboración del Plan de Acción fueron analizadas y se incluyeron en la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico. El Plan incluye también el desarrollo de guías y protocolos que faciliten la implementación de determinados aspectos normativos (sobre construcción y clausura de pozos, sobre perímetros de protección, etc.). Otras cuestiones han de ser consideradas en una reforma de más alto nivel del texto refundido de la Ley de Aguas.

El Plan de Acción incluye también actividades formativas, divulgativas y de capacitación en distintos sectores (Administración, usuarios), así como la organización de cursos y jornadas rela-

² PERTE de digitalización del ciclo del agua. Resumen ejecutivo. Marzo 2022.
https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2022/220322-PERTE_agua_resumen_ejecutivo.pdf

cionadas con los trabajos desarrollados para los distintos grupos de interesados en las actividades del Plan.

4. ÁMBITO DE APLICACIÓN, AGENTES IMPLICADOS, PLAZO Y PRESUPUESTO. APROBACIÓN DEL PLAN

Las actividades del Plan se establecen básicamente en dos grupos según la escala de trabajo. El primero corresponde a actividades desarrolladas a escala estatal y el segundo incluye trabajos específicos a realizar en cada demarcación hidrográfica, ya sea en la escala de la demarcación, de la masa de agua o incluso de un acuífero.

La base para las actividades a desarrollar en la escala de las demarcaciones hidrográficas la constituyen los programas de medidas de los planes hidrológicos 2022-2027³. Las actuaciones más relevantes de estos programas de medidas desde el punto de vista de las aguas subterráneas en las demarcaciones intercomunitarias han sido incluidas como Anexo 1 del Plan de Acción de Aguas Subterráneas (MITECO, 2023a). Sin embargo, el Plan de Acción pretende ir más allá, fomentando la implicación de los principales actores para reforzar de forma importante la estructura del conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas en todo el territorio, dotando de criterios y objetivos comunes a los trabajos a desarrollar y extendiendo el horizonte temporal a 2030.

Se considera esencial contar con la colaboración y participación activa de los diferentes agentes implicados (Administración, universidades y centros de investigación, asociaciones de hidrogeólogos, usuarios y otras entidades). Estos agentes estarán representados en una Comisión estatal de seguimiento y asesoramiento del Plan, presidida por la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, que analizará el desarrollo de los trabajos y las posibles desviaciones que puedan existir. Esta Comisión se reunirá con una periodicidad anual.

Para poner en marcha las actuaciones previstas, el Plan de Acción de Aguas Subterráneas pretende movilizar unos 500 millones de euros hasta el año 2030, distribuidos en las diferentes líneas de acción.

Por último, cabe indicar que el Plan fue sometido a consulta pública desde el 13 de febrero hasta el 13 de marzo de 2023, con el objetivo de recabar las observaciones realizadas por el público interesado y mejorar de esta manera el borrador del Plan.

Finalmente, el Plan de Acción de Aguas Subterráneas fue aprobado mediante Resolución de la Secretaria de Estado de Medio Ambiente de 19 de julio de 2023⁴. En el BOE del 25 de octu-

³ Planes hidrológicos de demarcación vigentes. Enlaces a los documentos de las demarcaciones hidrográficas españolas. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/planes-cuenca/default.aspx> Sistema de información de Planes Hidrológicos y Programa de Medidas (PH-web): <https://servicio.mapa.gob.es/pphh/>

⁴ <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/paas-plan-de-acci%C3%B3n-de-aguas-subterr%C3%A1neas/Resolucion-SEMA-aprobacion-PAAS.pdf>

bre de 2023 se publicó el Anuncio de la Dirección General del Agua por el que se daba publicidad a esta Resolución del Secretario de Estado de Medio Ambiente⁵.

5. LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se ha creado un enlace para informar del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, tanto del propio documento del Plan como de algunas de las jornadas u otras actividades desarrolladas al respecto⁶.

Antes del final de 2024 se reunirá la Comisión estatal de seguimiento y asesoramiento del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, mencionada en el apartado anterior. Esta Comisión, que ya ha sido designada, está presidida por la Dirección General del Agua (DGA) e integrada por técnicos de dicha DGA y representantes de organismos de cuenca, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), universidades, asociaciones y expertos en aguas subterráneas e hidrogeología y usuarios de aguas subterráneas.

En esa reunión se presentará el informe anual de actuaciones del Plan de Acción de Aguas Subterráneas (PAAS) desarrolladas hasta diciembre de 2024, que se pondrá a disposición pública en la página antes referida, y del que a modo de avance, se mencionarán a continuación algunas de las actividades llevadas a cabo o en desarrollo.

Como se indicaba en el apartado anterior, y desde su concepción inicial, uno de los objetivos más importantes asociado al Plan de Acción de Aguas Subterráneas era conseguir involucrar a todos los actores relevantes para la mejora del conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas.

Las crecientes dificultades burocráticas de la contratación administrativa suponen uno de los principales obstáculos a vencer para conseguir el objetivo anterior. No ya solo por los lentos procesos de contratación al sector empresarial, sino por las limitadas y dificultosas posibilidades administrativas de involucrar por parte de la Dirección General del Agua a organismos de relevancia en el ámbito del conocimiento de las aguas subterráneas, como son las universidades o el Instituto Geológico y Minero de España.

Como ya se ha resaltado, las líneas de acción del PAAS están muy interrelacionadas entre sí y tienen importantes sinergias. A la espera del informe anual de seguimiento que ordenará y completará las actuaciones por líneas de acción, se relacionan a continuación algunos de los trabajos y actividades que se han ido poniendo en marcha en el contexto de este Plan de Acción de Aguas Subterráneas.

⁵ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2023-31010

⁶ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterraneas/plan-accion-aguas-subterraneas.html>

5.1. Modificaciones normativas

Ya en la etapa de elaboración del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, a través de las reuniones del Grupo de Trabajo creado al efecto, se detectaron aspectos de la normativa relacionados con las aguas subterráneas que requerían una revisión.

El principal instrumento en el que tenían cabida estas modificaciones era el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH)⁷. En su revisión se prestó una especial atención a los aspectos relacionados con las aguas subterráneas. La colaboración y contribución de las asociaciones de hidrogeólogos fue muy notable e, inmediatamente después de la aprobación del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, se promulgó el Real Decreto 665/2023, publicado en el BOE del 31 de agosto de 2023⁸, que modificaba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

Entre los principales bloques relacionados con las aguas subterráneas considerados en el nuevo Reglamento, pueden mencionarse los siguientes: medidas de protección de las masas de agua subterránea declaradas en riesgo de no alcanzar el buen estado; criterios y procedimiento administrativo para el establecimiento de perímetros de protección; medidas de actuación frente a episodios de contaminación puntual, mejorando notablemente la relevancia de este problema en el Reglamento; criterios para valorar los daños causados por contaminación y su vinculación con el procedimiento sancionador; establecimiento de criterios para la construcción de captaciones de agua y para el sellado de pozos; eliminación de las indicaciones sobre recarga de aguas subterráneas asociadas a vertidos de aguas residuales por carecer de esa naturaleza, mejorando notablemente el marco normativo relativo a la recarga de acuíferos.

Casi todas las consideraciones anteriores del Reglamento se han traducido, además, en trabajos en marcha relacionados con estos contenidos, como se comentará más adelante: contaminación puntual, recarga de acuíferos, construcción y sellado de captaciones, perímetros de protección, etc.

Además de las modificaciones introducidas en el RDPH hay otras normativas recientemente aprobadas que también eran contempladas en el PAAS, como la Orden TED/1191/2024, de 24 de octubre, por la que se regulan los sistemas electrónicos de control de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua, los retornos y los vertidos al dominio público hidráulico (comúnmente conocida como Orden de Contadores)⁹. Esta Orden regula la transmisión digital de la información a las Confederaciones Hidrográficas, estableciendo unos plazos transitorios. Algunas de las actuaciones subvencionadas en los proyectos del PERTE que se comentan más adelante constituyen una oportunidad inmejorable para que las comunidades de usuarios puedan cumplir con esta Orden.

⁷ <https://www.boe.es/eli/es/rd/1986/04/11/849/con>

⁸ <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/07/18/665>

⁹ <https://www.boe.es/eli/es/o/2024/10/24/ted1191>

Cabe mencionar también el más general Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua¹⁰. Este Real Decreto incorpora además la figura del Observatorio de la gestión del agua en España, que permitirá proporcionar información sistemática sobre el particular con el fin de fomentar la transparencia en dicha gestión. Con este Observatorio se pretende mejorar toda la información hidrológica ofrecida, y, en particular, la relacionada con las aguas subterráneas, de forma que todos los datos, por ejemplo, de piezometría o de manantiales, estén a disposición pública de forma similar a como está la información de aforos o de embalses.

5.2. Participación del IGME en el PAAS

Involucrar al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en el Plan de Acción de Aguas Subterráneas era un requisito considerado imprescindible para el desarrollo del Plan. No sólo por la importancia de los trabajos que a corto y medio plazo el IGME puede desarrollar en el ámbito del Plan, sino por recuperar e impulsar el contacto entre el ámbito de la gestión y el de la actividad científico-técnica desarrollada por un organismo que históricamente ha liderado la mejora del conocimiento en el ámbito de la hidrogeología y las aguas subterráneas.

A pesar de que la propia Ley de Aguas (Disposición adicional cuarta)¹¹, menciona explícitamente el papel del IGME en la mejora del conocimiento y protección de los acuíferos, y en el asesoramiento técnico a las distintas Administraciones públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas, no ha sido fácil establecer administrativamente esa relación.

La fórmula que finalmente ha podido establecerse para hacer posible esta participación ha sido la de transferencia de crédito de la Dirección General del Agua al CSIC, Agencia Estatal en la que actualmente se encuadra el IGME, condicionada a su incorporación anual a los Presupuestos Generales del Estado. Se ha dispuesto así una transferencia inicial de 1 M€, que se espera tenga continuidad anualmente a través de dichos Presupuestos.

Entre las actuaciones que está desarrollando el IGME cabe resaltar la instauración de un Curso de formación en aguas subterráneas e hidrogeología para el personal de los organismos de cuenca (inter e intracomunitarios) y de la Dirección General del Agua. El denominado Curso FASTEN (*Formación en Aguas Subterráneas para Técnicos de Organismos de Cuenca*) ha celebrado su primera edición entre los meses de marzo y septiembre de 2024. El curso cubre una necesidad y demanda de formación específica para el personal técnico encargado de la gestión en los organismos de cuenca, que no siempre dispone de ese conocimiento específico en materia de aguas subterráneas. El curso se ha compuesto de 125 horas lectivas divididas en 6 módulos (hidrogeología básica; calidad; relación río-acuífero; prospección general y trabajo de campo; modelación; planificación y gestión). Han intervenido más de 65 profesores pro-

¹⁰ <https://www.boe.es/eli/es/rd/2024/10/22/1085/con>

¹¹ <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2001/07/20/1/con>

cedentes del IGME, universidades, DGA, organismos de cuenca, resto de organismos del CSIC, empresas. Han participado unos 30 alumnos de diferente formación de origen (ingenieros civiles, titulados en ciencias ambientales, geólogos, biólogos, etc.). El curso ha tenido el reconocimiento como microcredencial otorgado por el Espacio Europeo de Educación Superior. En estos momentos se está trabajando ya sobre la segunda edición del Curso.

Además, el IGME está desarrollando otra serie de actividades dentro del Plan de Acción de Aguas Subterráneas:

- Identificación, implicación y coordinación de actores en temas claves de aguas subterráneas. El IGME ha diseñado una Base de Datos con todos los actores relevantes en diferentes temáticas relacionadas con las aguas subterráneas (grupos de investigación, empresas, CUAS, etc.). La Base de Datos permite buscar por temas, palabras clave, proporcionar listados de grupos y personas, etc.
- Elaboración de una guía metodológica para el desarrollo de perímetros de protección de captaciones de agua subterránea. Esta guía es especialmente relevante tras la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico y el impulso que en él se da a estos perímetros de protección.
- Elaboración de una publicación sobre buenas prácticas en recarga gestionada de acuíferos y soluciones basadas en la naturaleza.
- Asesoramiento técnico-científico en la elaboración de un libro divulgativo sobre manantiales.
- Asesoramiento técnico-científico a las Confederaciones Hidrográficas. En concreto, en esta primera fase se ha planteado este asesoramiento, de diverso tipo y alcance según sus necesidades, a las Confederaciones Hidrográficas del Guadiana, Cantábrico, Segura, Tajo y Ebro.

Durante 2024 se han finalizado también los trabajos que el IGME ha venido desarrollando en materia de acuíferos compartidos entre dos o más demarcaciones hidrográficas, así como los de apoyo al modelo SIMPA de evaluación de recursos hídricos desarrollado por el CEDEX, en lo que respecta al tratamiento de la componente subterránea del recurso.

5.3. Mejora de las redes de aguas subterráneas

La mejora de las redes de información y control de las aguas subterráneas era una de las prioridades del Plan de Acción de Aguas Subterráneas y por eso se lleva trabajando en ella desde los momentos iniciales de concepción del Plan.

Esto ha permitido superar el deficiente estado de conservación que tenía la red piezométrica. Se ha completado el arreglo de todos los piezómetros que lo precisaban en el ámbito de la gestión de las Confederaciones Hidrográficas.

Se han automatizado más de 1.500 piezómetros y ya son más de 1.000 los que están emitiendo en tiempo real su información a los distintos organismos de cuenca. Se está integran-

do la información y la señal en todos los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH).

La mejoría que ya actualmente tiene la información sobre datos en tiempo real de piezometría proporcionada en las páginas web de los organismos de cuenca puede evidenciarse en casos como el Sistema de Información de Redes Automáticas del Guadiana (SIRA)¹² o los SAIH del Miño-Sil¹³ o del Ebro¹⁴, por poner solo algunos ejemplos.

A este respecto, se están acabando de licitar los pliegos de renovación de los SAIH. En ellos se incluye el mantenimiento de toda la red de piezometría como un elemento más de los sistemas de información hidrológica.

Por lo que respecta a la ampliación de la red, está en marcha un ambicioso proceso que permitirá duplicar la red de piezometría a través de dos fases de proyectos constructivos. La primera fase de los proyectos de ampliación de esta red se está ya acabando, iniciándose en breve las obras en las distintas Confederaciones Hidrográficas. Esta primera fase supone una inversión de unos 100 millones de euros, con diversas tramitaciones en cuanto a su financiación (fondos propios de las Confederaciones Hidrográficas, Plan de Recuperación, fondos FEDER, etc.).

Esta mejora y ampliación de la red cuantitativa implica también la recuperación de la red hidrométrica. A través de un Encargo se ha trabajado para recuperar y monitorizar parte de la red de manantiales. Esta red de manantiales ha sido incluida en el Geovisor del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico¹⁵.

En lo que respecta a las redes de control de calidad de las aguas subterráneas también están en su fase final unos ambiciosos procesos de contratación (unos 60 M€) para medida de calidad de las aguas superficiales y subterráneas, en los que se ha prestado una dedicación muy especial a las aguas subterráneas, garantizando así este control adecuado de las mismas durante los próximos 5 años.

La mejoría de las redes de control y de la puesta a disposición pública de la información no sólo consiste en la ampliación y difusión de estas redes. Se está prestando especial importancia a la bondad y calidad de los datos obtenidos. Así, se han llevado a cabo trabajos de diagnóstico de las redes de control, consistentes en campañas de inspección “in situ” de 160 puntos de muestreo diagnosticados previamente con nivel de confianza bajo, una actualización de la diagnosis de estos 160 puntos más el diagnóstico de otros 110 puntos nuevos, el tratamiento de la información de los puntos de muestreo nuevos a diagnosticar y revisión del modelo conceptual de 27 masas de agua subterránea y la elaboración de una base de datos

¹² <https://www.saihguadiana.com/PZ/DATOS>

¹³ <https://saih.chminosil.es/index.php?url=/datos/mapas/mapa:H1/area:PZM/acc:>

¹⁴ <https://www.saihebro.com/tiempo-real/mapa-piezometros-PZG-toda-la-cuenca>

¹⁵ <https://sig.mapama.gob.es/redes-seguimiento/>

como herramienta para la elaboración de las fichas de los puntos de control pertenecientes a los programas de seguimiento cuantitativo y químico del agua subterránea.

5.4. Trabajos relacionados con la contaminación puntual

Ya están elaboradas, y su publicación será inminente, las guías técnicas sobre contaminación puntual derivadas de la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH). Se va a prestar además apoyo técnico a las Confederaciones Hidrográficas en relación con los problemas de contaminación puntual y la aplicación al respecto del RDPH. El alcance de los trabajos es superior al inicialmente previsto en el PAAS y se va a desarrollar a través de un Encargo con el medio propio EMGRISA, que previamente se encargó de la elaboración de las mencionadas guías. Se va a realizar la gestión de más de 250 emplazamientos afectados por contaminación puntual de origen industrial.

5.5. Actuaciones relacionadas con los usuarios. El PERTE de digitalización

El PERTE de digitalización del ciclo del agua constituye una apuesta ambiciosa para avanzar en el control y gestión adecuada de los usos del agua en España. El PERTE impulsa el uso de las nuevas tecnologías de la información en el ciclo integral del agua, lo que permitirá mejorar su gestión, aumentar su eficiencia, reducir las pérdidas en las redes de suministro y avanzar en el cumplimiento de los objetivos ambientales marcados por la planificación hidrológica y las normativas internacionales.

Así, el PERTE financia programas de ayudas para el impulso a la digitalización de los distintos usuarios del agua. En concreto se han lanzado diversas convocatorias para ayudas a Administraciones y entidades competentes en el ciclo urbano del agua, así como para comunidades de regantes y de usuarios de aguas subterráneas¹⁶.

En el caso del ciclo urbano se realizó la primera convocatoria el pasado año con un importe de ayudas de 200 millones de euros, estando actualmente en ejecución los 30 proyectos adjudicatarios. A principios de octubre de 2024 se resolvió la segunda convocatoria en concurrencia competitiva de proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua, inicialmente por un importe a financiar de 200 millones de euros que fue posteriormente ampliado en otros 100 millones. Hay que destacar que muchos de los 50 proyectos que han resultado beneficiados tienen una importante componente de aguas subterráneas. Recientemente han sido sometidas a información pública las bases de una tercera convocatoria por importe de 50 millones de euros que podrían ampliarse en otros 50 adicionales.

Por otra parte, de especial importancia en los objetivos del Plan de Acción de Aguas Subterráneas son las subvenciones para proyectos de digitalización de comunidades de usuarios de agua para regadío. Los proyectos a seleccionar impulsan soluciones digitales que per-

¹⁶ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/pertes.html>

miten modernizar y mejorar la gestión y la eficiencia energética en las explotaciones de regadío, avanzar en el conocimiento de los usos del agua, la transparencia en la gestión administrativa, la mejora en el empleo del agua, así como disminuir la utilización e impacto de fertilizantes y plaguicidas y de lixiviados a las aguas subterráneas. Recientemente se ha resuelto la primera convocatoria de estas subvenciones para regadío. La cuantía total máxima era de 100 millones de euros y la relevancia que se ha pretendido dar a las comunidades de usuarios de aguas subterráneas se plasmaba en una reserva de crédito de 25 millones de euros para comunidades de usuarios de masas de agua subterránea declaradas formalmente en riesgo, y otros 25 millones para comunidades de usuarios de masas de agua subterránea que no alcanzan el buen estado. En este caso solo se han cubierto unos 75 de los 100 millones previstos en la convocatoria. Desde el punto de vista de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas cabe calificar de dispar el alcance que la convocatoria ha tenido, con numerosa participación en algunas demarcaciones hidrográficas y escasa en otras.

Además de estas actuaciones directamente relacionadas con los usuarios, las inversiones del PERTE han ido también dirigidas al fomento de la digitalización y la mejora de la información de los organismos de cuenca, tanto intercomunitarios como intracomunitarios, uno de los objetivos del PERTE, y que indudablemente ha de redundar en una mejora de la gestión del agua en general y de las aguas subterráneas en particular.

5.6. Implantación específica del Plan de Acción de Aguas Subterráneas en las Confederaciones Hidrográficas

En la línea de lo esbozado anteriormente, uno de los objetivos del PAAS es el de revitalizar el trabajo llevado a cabo por las empresas con especialistas en aguas subterráneas e hidrogeología, fundamental en esta necesidad de mejora del conocimiento que está en la raíz del Plan de Acción.

El pasado 16 de abril la Dirección General del Agua organizó una Jornada Técnica sobre la Implantación del Plan de Acción de Aguas Subterráneas con la participación de las principales asociaciones y empresas de ingeniería de España en materia de hidrogeología, con el objetivo de divulgar casos prácticos y ejemplos de éxito de actuaciones de investigación hidrogeológica y modelación numérica que sirviera para la preparación de futuras licitaciones en el marco del Plan de Acción de Aguas Subterráneas¹⁷

Posteriormente se ha trabajado conjuntamente con las Confederaciones Hidrográficas estableciendo las necesidades específicas de cada una de ellas respecto a trabajos para mejorar el conocimiento hidrogeológico y otras actividades enmarcadas en el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Se definieron unos primeros borradores para una primera fase de implementación del Plan de Acción en cada cuenca¹⁸.

¹⁷ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterraneas/plan-accion-aguas-subterraneas/participacion-publica.html>

¹⁸ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterraneas/plan-accion-aguas-subterraneas/actuaciones-en-marcha.html>

A partir de estos documentos se ha avanzado en la puesta en marcha de procesos de contratación para esta primera fase de implementación del Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Para esta primera fase se cuenta con una inversión de unos 3 M€ para cada una de las Confederaciones Hidrográficas.

Las partidas de actividades y trabajos incluidos en estos procesos de contratación, con variaciones en su contenido según las necesidades específicas de cada demarcación hidrográfica, son en general las siguientes: 1) Estudios hidrogeológicos generales (estudios de investigación hidrogeológica; caracterización de ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas; caracterización hidroquímica e isotópica de masas de agua subterránea y determinación de niveles de fondo; caracterización piezométrica de las masas, evaluación de direcciones de flujo, transferencias laterales y divisorias hidrogeológicas; estudios de viabilidad de implantación de sistemas de recarga artificial; revisión y actualización de la caracterización hidrogeológica de masas de agua subterránea; creación y/o alimentación de repositorio de datos hidrogeológicos de sondeos); 2) Modelación numérica de las aguas subterráneas (implantación y explotación de un nuevo modelo numérico de aguas subterráneas o actualización y explotación de modelos numéricos de flujo ya existentes; alojamiento en la nube del modelo); 3) Delimitación de perímetros de protección en captaciones, masas de agua en riesgo y ecosistemas dependientes (estudios técnicos para la determinación de los perímetros según las características de cada caso); 4) Estudios y ensayos de campo (análisis de calidad; análisis hidroquímicos; análisis isotópicos; ensayos de bombeo; tomografía eléctrica; sondeo eléctrico vertical; ensayo de trazadores; instalación de equipos de control automático de parámetros hidrogeológicos; ejecución de sondeos de investigación; ejecución de sondeos hidrogeológicos)

Estos procesos de contratación, enfocados a solventar las principales carencias de conocimiento en cada organismo de cuenca, van a permitir dinamizar el sector empresarial dedicado a las aguas subterráneas y la hidrogeología. Se espera, además, dada la concepción de las actividades, que en el desarrollo de algunas de ellas puedan participar, colaborando con las empresas, las universidades que han generado estos últimos años un mayor conocimiento y avance en distintas facetas del conocimiento hidrogeológico cuya contratación por parte de la Dirección General del Agua presenta numerosas dificultades.

5.7. Otras actuaciones en marcha

Existen otros trabajos y actividades en marcha que están consideradas en el ámbito de actuaciones del Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Entre ellas puede mencionarse la continuidad de los trabajos de puesta a disposición pública de un Gestor Documental de Aguas Subterráneas (ADEPAS), ya mencionado en el apartado 3.1 y al que hasta la fecha se han incorporado más de 1.200 estudios y más de 1.100 mapas, gráficos o columnas de sondeo.

En el ámbito de los organismos de cuenca, se sigue avanzando en las diferentes etapas de los procesos de declaración de masas de agua subterránea en riesgo cuando ello es necesario.

Está prácticamente finalizada la elaboración de un catálogo de acuíferos compartidos, que está previsto que sea informado en el próximo Consejo Nacional del Agua que se celebre.

Otros trabajos muy avanzados son los de caracterización de las fuentes de contaminación de las aguas en zonas vulnerables y sensibles mediante técnicas multiisotópicas.

También hay que destacar los trabajos de puesta en valor y divulgación de las Reservas Naturales Subterráneas. Estos trabajos incluyen mejora del conocimiento, modelación, medidas de gestión y material divulgativo.

6. REFERENCIAS

- Custodio, E. (2023). *Evaluación de la gestión y la gobernanza del agua subterránea. Aplicación a varias áreas piloto españolas*. Informe EGASE. Proyecto GOTHAM. Centro Tecnológico del Agua (Cetaqua) y Universidad Politécnica de Cataluña. 331 pp. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/385089>
- EEA (2022). *Europe's groundwater a key resource under pressure*. European Environment Agency. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-groundwater>
- MITECO (2020). *Libro Verde de la Gobernanza del Agua en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 166 pp. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/libro-verde-gobernanza/>
- MITECO (2022). *Orientaciones estratégicas sobre agua y cambio climático*. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 122 pp. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/estrategia/default.aspx>
- MITECO (2023a). *Plan de Acción de Aguas Subterráneas 2023-2030*. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 124 pp + Anexo. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/paas-plan-de-acci%C3%B3n-de-aguas-subterr%C3%A1neas/PAAS.pdf>
- MITECO (2023b). *Informe de seguimiento de los planes hidrológicos de cuenca y de los recursos hídricos en España (Año 2022)*. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 209 pp. + Apéndices. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/seguimientoplanes.aspx>
- Molinero, J. (2020). *Informe sobre mejoras de la información y el conocimiento en el ámbito del agua subterránea*. Informe para el Libro Verde de la Gobernanza del Agua en España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 28 pp. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/libro-verde-gobernanza/informes-tematicos/05-informe-tematico-informacion-conocimiento-aguas-subterraneas_tcm30-517271.pdf
- UNESCO (2022). *Aguas subterráneas: hacer visible el recurso invisible*. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2022. Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los recursos hídricos. 245 pp. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894>

Lopez Geta, J. A., 2025. Conocimiento de las Aguas Subterráneas. Del PIAS al PAAS (Plan de acción de Aguas Subterráneas). En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafuella, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volumen XXXI, pp. 27-56. Madrid.

CONOCIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. DEL PIAS AL PAAS (PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS)

Juan Antonio López Geta

Dr. Ingeniero de Minas. Hidrogeólogo

RESUMEN

Este texto recoge el contenido de la ponencia presentada, en Power Point, en la Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas, organizada por la AEH y celebrada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid, cuyo contenido se resume en los siguientes puntos:

- Presentación
- Los recursos hídricos en España
- La incertidumbre del origen de las aguas subterráneas. ¿Qué pasa desde mediados del siglo XX?
- Las etapas de mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos
- La etapa de inicio. El Plan Nacional de Investigación Minera (PNIM)
- La etapa revolucionaria. El Plan de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS). El gran avance del conocimiento de los acuíferos españoles
- La etapa complementaria al PIAS. El Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA)
- Los grandes beneficios derivados del PIAS y del PGCA
- Los problemas generados durante esos años
- Terminado el PIAS. Un intento de mejora del conocimiento hidrogeológico. El Libro Blanco de las Aguas Subterráneas y sus programas
- La etapa esperada. El Plan de Acción de Aguas Subterráneas (PAAS 2023-2030). Su necesidad
- Recomendaciones y advertencia muy importante para el PAAS

Palabras clave: planes, aguas subterráneas, contaminación, gobernanza, protección, problemas.

PRESENTACIÓN

Partimos de la frase: quienes olvidan la historia están condenados a repetirla. Esto es lo que pretendo que no ocurra, de ahí la ponencia presentada en la jornada y este texto escrito.

Como testigo, casi en su totalidad, del desarrollo del Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (en adelante PIAS), me permito escribir esta comunicación, con el fin de recordar a unos e informar a otros que, por juventud o desconocimiento, no han tenido conocimiento de este Plan y de la importancia que ha tenido en el conocimiento de las aguas subterráneas en España; además, intentar que sirva de alerta a los responsables del PAAS, para que tengan en cuenta esa frase.

La limitación de extensión de este texto no permite profundizar en todo lo que a uno le gustaría, pero es suficiente para ver el tránsito acontecido del siglo XIX al XX, en el conocimiento de la hidrogeología y en el aprovechamiento de las aguas subterráneas en España, que dio lugar a un desarrollo social y económico muy importante.

Parte de la información recogida en la ponencia y en este texto escrito, procede del Libro «100 Años de Hidrogeología en España (100-200)» (Edit. Juan Antonio López-Geta y Juan María Fornés, 2013), en el que se recoge, con gran detalle, todo lo acontecido en esos años desde la perspectiva de un número muy importante de especialistas que contribuyeron en la redacción del libro. El acceso al mismo puede hacerse en la web del Club de Agua Subterráneos (CAS) o en el Servicio de Publicaciones del IGME (Foto 1).



Foto 1. Portada del libro 100 Años de Hidrogeología en España (1900-2000), descargable en la Web del Club del Agua Subterránea (CAS) o en el Servicio de publicaciones del IGME (2013)

Es una realidad que, tras varias décadas, sin disponer de nuevos estudios hidrogeológicos, posiblemente desde 1985, con pequeñas excepciones como el IGME o algunas Confederaciones y Diputaciones se han tomado decisiones que pueden ser discutibles y debatibles científicamente.

El Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, con la aprobación del «Plan de Acción de Aguas Subterráneas (2023-2030) (en adelante PAAS)», abre una nueva etapa destinada a la mejora del conocimiento de los acuíferos y, con ello, una mejor protección, gestión y gobernanza de las aguas subterráneas.

Es una evidencia demostrada que no hay avance en el conocimiento de las aguas subterráneas si no hay trabajos de campo, algo que se ha abandonado en los últimos años. Un error que debe ser subsanado. De ahí que trataré de exponer la importancia que tiene esta labor en los estudios hidrogeológicos, poniendo para ello un ejemplo real, como es el PIAS, tarea que contribuyó al éxito de ese plan.

Como primera medida a tener en cuenta, en el PIAS se crearon oficinas próximas a las zonas de trabajos, coincidiendo con las cuencas hidrográficas: Oviedo, Valladolid, Ciudad Real, Albacete, Murcia, Granada, Sevilla, Málaga, Almería, Valencia y Zaragoza. También en Mallorca, Las Palmas y Tenerife. Desde estas oficinas, en colaboración con las empresas adjudicatarias de los proyectos, se realizaron trabajos de campo muy destacables, como el inventario de puntos de agua, la toma de niveles y muestras de agua, la cartografía geológica e hidrogeológica de detalle, la realización de sondeos de investigación y ensayos de bombeo con el objetivo de conocer los diferentes parámetros hidráulicos del acuífero. Estas labores solo podían llevarse a cabo si se estaba cerca de ellas. Las oficinas mencionadas serían el germen de las Oficinas de Proyectos del IGME, junto a León y Santiago de Compostela, desaparecidas posteriormente.

LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA

Hay una pregunta que hacernos: ¿qué pasa en la segunda parte del siglo XX en España?. Se entra en una nueva situación social y económica. Se está saliendo de una etapa de pobreza muy grande, que requería actuaciones urgentes por exigencia de la población y las entidades económicas. Ante eso, las Administraciones, las empresas y la sociedad en general reaccionaron como se comenta más adelante.

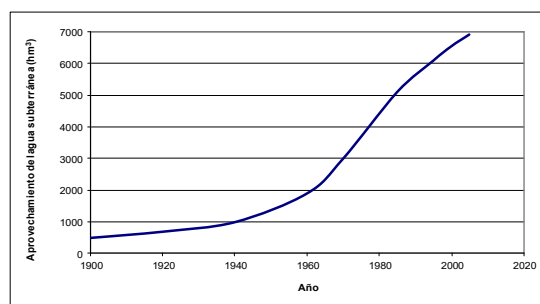
En esta etapa, los recursos hídricos iban a tener mucha importancia en la reacción frente a la herencia recibida, sobre todo de la primera parte del siglo XX. Con los recursos hídricos naturales disponibles, sólo podía atenderse la escasa demanda existente para abastecimiento urbano, demanda agraria e industrial (Foto 2).



Foto 2. Las necesidades eran pequeñas y se cubrían con sistemas caseros, cántaras y botijos entre otros utensilios (Fuente. Derecha, Gerardo Alonso. Facebook)

Las exigencias cambiaron, el agua debía llegar a todos los hogares, y llegó; y el regadío se incrementó exponencialmente, alcanzando la cifra de más de 3 millones de hectáreas y las industrias fueron cubriendo sus necesidades (J.A. López-Geta y J.M. Fornés, 2001).

A partir de los años cincuenta del siglo XX se originó la mayor demanda de agua, iniciándose un proceso de crecimiento de las infraestructuras hidráulicas, como se ve en los gráficos 1 y 2. Hay un cambio de tendencia importante a partir de los años 60. En la actualidad existen del orden de las 1200 presas, con una capacidad de almacenamiento superior a los 55.000 hm³ y más de 500.000 captaciones de agua subterráneas (que puede alcanzar el 1.000.000, incorporando los sondeos y pozos ilegales), que extraen del orden de los 6.000 a 7.000 hm³/año (a los que hay que añadir, seguramente, otros 1.000 hm³ en épocas de sequía); a esta explotación ha contribuido el conocimiento de los acuíferos, adquirido, principalmente, en el PIAS.



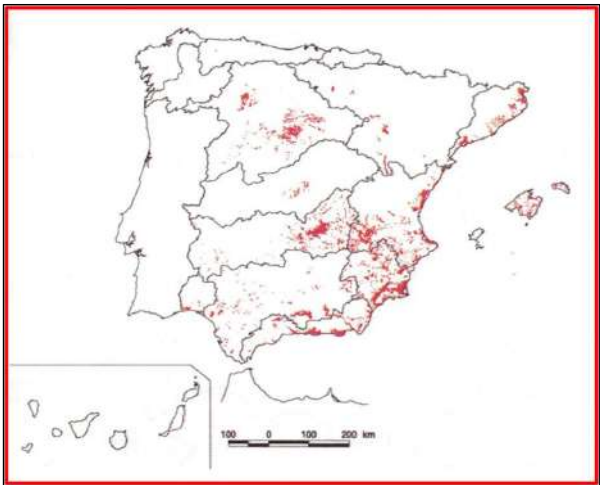
Gráficos 1 y 2. A la izquierda evolución de la capacidad actual de regulación superficial. A la derecha, aprovechamiento de las aguas subterráneas y su evolución con el tiempo

Este crecimiento viene reforzado por la incorporación de las modernas tecnologías de perforación, que permiten alcanzar mayores profundidades, lo que favorece la movilización de grandes volúmenes de aguas subterráneas, utilizados para distintos usos (Cuadro 1). Esta situación responde a lo que el profesor Ramón Llamas llamó la revolución silenciosa.

USOS	VOLUMEN (hm ³ /año)
Abastecimiento humano	1.378,9
Regadíos	4.296,7
Abastecimiento industrial	889,7
Otros usos	355,2
TOTAL	6.920,5

Cuadro 1. Usos y volúmenes de agua subterránea aprovechados en los distintos sectores

Hay que destacar los usos agrarios, con una explotación de más de 4.000 hm³/a, utilizados principalmente para el riego de casi un tercio de la superficie total de más de 3.000.000 de ha (Mapa 1) (3.700.000 ha, ESYRCE, 2023- MAPA) (Mapa 1 y Fotos 3).



Mapa 1 y fotos 3. Izquierda. Superficie regada con aguas subterráneas y mixtas en la parte peninsular e islas Baleares (Fuente: Ministerio Medio Ambiente). Derecha. Nuevos sistemas de regadío, y bombeo de mayores caudales y a mayor profundidad de las aguas subterráneas.

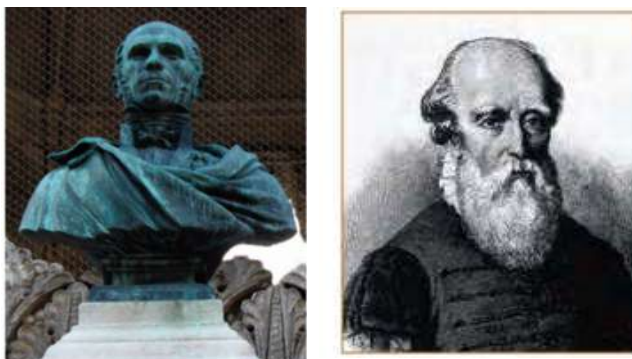
3. LA INCERTIDUMBRE DEL ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. QUE PASA DESDE MEDIADOS DEL SIGLO XX

3.1. Antecedentes

El origen de las aguas subterráneas seguía siendo casi desconocido; la hidrogeología como ciencia no existía y el ciclo hidrológico estaba sometido a diferentes teorías, muy dispares entre sí.

Las aguas subterráneas han sido motivo de estudio desde muy antiguo (JJ. Durán 2013); han intervenido científicos como Thales de Mileto (639-547/6 a.C.), que consideraba que el agua del mar era empujada por el viento para ser filtrada por la tierra, de donde emergía posteriormente como agua dulce. Platón (428/427-347 a.C.), defendía la existencia de una gran caverna a la que llega el agua del océano a través de ciertos conductos subterráneos y Aristóteles (384-322 a.C.), discípulo de Platón, modificó levemente esa teoría: una vez infiltrada el agua de mar en el subsuelo y acumulada en ciertos pasajes subterráneos, de ella se desprendían unos vapores ascendentes, que posteriormente volvían a condensarse para alimentar el caudal de los manantiales. Y W. Derham (1657-1735), defendía, con otros, la teoría capilar, consistente en la ascensión del agua marina hacia las montañas por las fuerzas capilares.

Su consideración como ciencia, se empezó a vislumbrar por algunos científicos, como G.Darcy, en 1856, con su Ley (conocida como de DARCY) sobre el movimiento del agua a través de un medio poroso. Utilizando las formulaciones de Darcy, Dupuit, 1863, describió la ecuación que rige la llegada de agua a un pozo, matizada posteriormente por Thiem (Fotos 4).



Fotos 4. A la izquierda PG. Darcy, famoso por su ley del movimiento del agua a través de medios porosos. A la derecha, Bernald Palissy, cuyos estudios fueron un gran avance en el estudio del origen de los manantiales

Sobre el ciclo hidrológico las opiniones eran muy diferentes, unos consideran que se realiza-

ba al revés: el agua penetraba en el subsuelo desde el fondo de los océanos, se almacenaba en profundidad, probablemente en grandes cavernas, y ascendía mediante la actuación de unas misteriosas fuerzas del vacío o a través de la presión de roca hasta las partes altas de las montañas, surgiendo a la superficie mediante los manantiales, que daban lugar al nacimiento de los ríos principales.

Leonardo da Vinci, en el siglo XV, ya intuyó la existencia correcta del ciclo, y Bernard Palissy (1510-1590), con su obra «Discours admirable de la nature des eaux et fontaines (Palissy, 1580)», planteó la primera explicación razonablemente correcta del origen de los manantiales, estableciendo acertadamente los rasgos mayores del ciclo hidrológico, y Edmond Halley 1687, consiguió estimar la evaporación que se generaba en la lámina de agua superficial del mar Mediterráneo. El ciclo hidrológico quedaba cerrado al demostrarse que la evaporación era suficiente para explicar la escorrentia global de una cuenca. En España científicos ligados a la Escuela de Ingenieros de Minas, como Ezquerro del Bayo, Escosura, Casiano del Prado, Cortázar o Thòs y Codina, aportaron ideas del ciclo cercanas a las que desarrollaban en otros países (Figura 1).

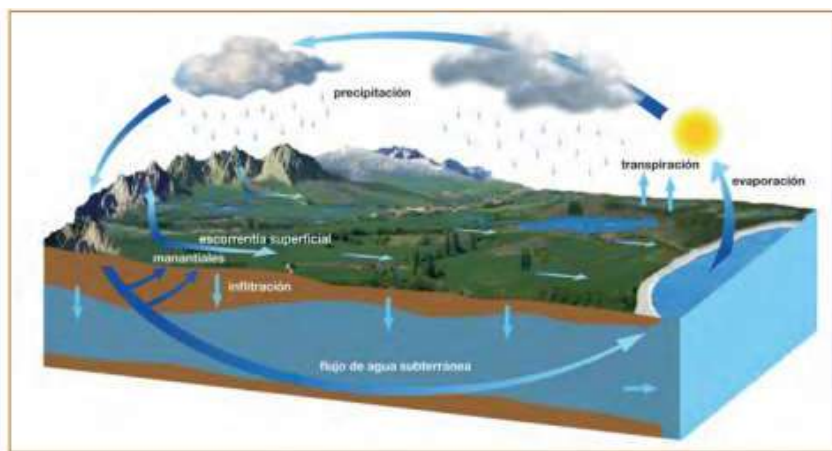


Figura 1. Ciclo hidrológico, componentes y su funcionamiento natural

Los avances científicos continuaron, se publicaron los primeros mapas piezométricos y cortes hidrogeológicos, con indicación explícita de las direcciones del flujo hídrico subterráneo. King 1899, y Theis, 1935, 1938 hicieron una gran aportación en el campo de la hidráulica de pozos, analizando el significado de los conos de depresión del agua subterránea alrededor de un pozo en explotación, y Tóth (1963), estableció un marco conceptual global de la circulación del agua subterránea en cuencas sedimentarias (Figura 2). Tolman, en 1937, aportó el primer manual científico de hidrogeología internacional.

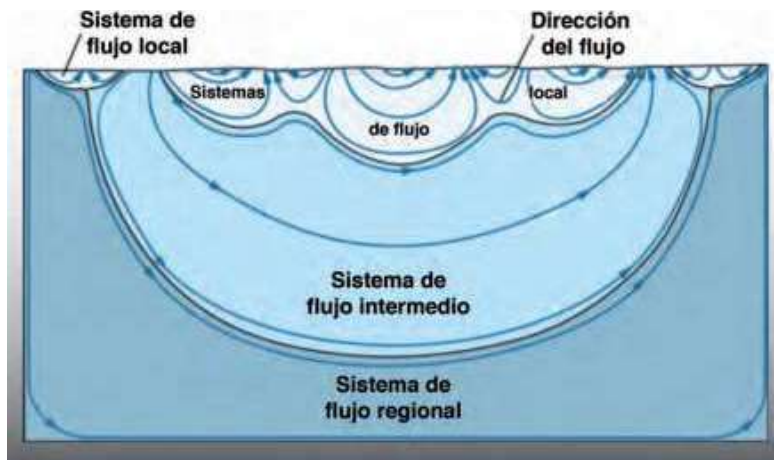


Figura 2. Teoría de Tóth. Circulación del agua subterránea en cuencas sedimentarias

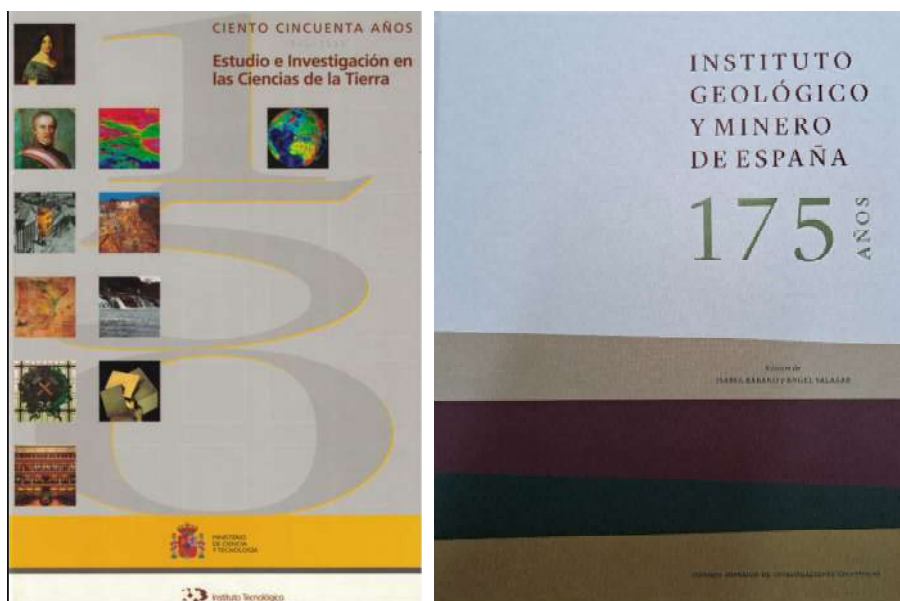
3.2. La evolución del conocimiento hidrogeológico

No cabe duda de que esta desinformación sobre el origen del agua subterránea ha influido en el conocimiento de esta. Habrá que esperar a que avance el siglo XX para que se considere como ciencia y se incorporen al estudio de las aguas subterráneas, como la hidroquímica, las isotópicas y las matemáticas, que desembocaran, en los años sesenta y setenta del siglo XX, en el progreso de la hidrogeología moderna. A lo que hay añadir las nuevas técnicas de perforación y elevación de agua con modernas bombas sumergibles, que permitieron perforar a mayores profundidades y extraer aguas más profundas (Foto 5).



Fotos 5. Máquina de perforación a circulación inversa que alcanza mayores profundidades y extracción de caudales con bomba sumergible (Fuente. Izquierda: colección personal y derecha: Esther Sánchez Sánchez)

A mediados del siglo XX, aparecieron instituciones públicas que se encargaron de avanzar en el conocimiento de los recursos hídricos y en su aprovechamiento. Así, con unos antecedentes que vienen de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino (R. 12 de julio de 1849), el IGME, desempeñará un papel muy importante a lo largo de todo el siglo XX en el estudio de las aguas subterráneas. En este año 2024, se está celebrando el 175 aniversario de su creación.



Fotos 6. Libros conmemorativos de la celebración del 150 y 175 aniversario de la creación del IGME

Desde 1927 son las Confederaciones Hidrográficas las que paulatinamente se van integrando y encargado de administrar el agua en todas y cada una de las cuencas españolas. Pero esto no fue acompañado de un impulso de los estudios hidrogeológicos ni de la incorporación de las aguas subterráneas a la gestión y planificación hidrológica. Por otra parte, el Instituto Nacional de Colonización (INC, 1939), al ingresar España en la Organización de las Naciones Unidas (UE) para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1950, impulsó la creación del Servicio de aguas subterráneas del INC en el año 1954, que se dedicó a la realización de numerosos sondeos para el aprovechamiento de las aguas del subsuelo. También surgió en 1940 el CSIC, con el objetivo de cubrir la recordada herencia de la JAE, y en 1960, se creó el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) dentro de la Dirección General de obras hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas a través del Área de Hidrogeología desarrollaría una intensa labor con la realización de sondeos de reconocimiento y pozos.

Con la participación de esas Instituciones a partir de la década de los 60 del siglo XX, como IGME, SGOP, INC, IRYDA, universidades, centros de investigación y empresas, se logró el

mayor y mejor conocimiento hidrogeológico de la historia de España. Se pasa de los estudios locales a los regionales o de cuencas hidrográficas; irrumpieron las consultoras privadas y las empresas de perforación, que tendrían gran importancia en ese desarrollo.

Con esa base institucional, se plantearon una serie de programas de mejora de la infraestructura hidrogeológica, que se comentan más adelante y que pusieron en evidencia la existencia de unos recursos hídricos muy importantes, de excelente calidad, protegidos de forma natural frente a la contaminación, con un fácil acceso y bajo coste económico de explotación.

En ese proceso de evolución del conocimiento, en los primeros años destacaron los trabajos - que, por su envergadura territorial, la aplicación de nuevas metodologías y participación de especialistas extranjeros y españoles, serían el germen de las futuras generaciones de científicos y técnicos españoles-, que se llevaron a cabo en el levante español, en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir (Proyecto del Guadalquivir-FAO) y en la comarca de Cazorla-Hellín-Yecla. Estos estudios darían paso a otros de mayor envergadura como el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), el Estudio de los Recursos Hídricos del Pirineo Oriental (REPO), el SPA-15 en Canarias o el Estudio Hidrogeológico de Navarra.

En estos avances de este siglo XX, la enseñanza de la hidrogeología tomó cuerpo. Se iniciaron los cursos de hidrogeología en España, destacando el de *Hidrogeología aplicada*, promovido en su inicio por el Proyecto del Guadalquivir, continuado por la Escuela de Ingenieros de Minas y el IGME; el *Curso Noel Llopis de hidrogeología*, en la Universidad Complutense de Madrid, y en Barcelona el *Curso internacional de hidrología subterránea*, tutelado por la FCIHs. Sin embargo, con el tiempo surgieron diversos problemas, originados principalmente por la falta de interés por las aguas subterráneas, por parte de las Administraciones públicas, encargadas durante muchos años de su estudio, y por la situación económica del país, que tuvo como consecuencia la disminución de los contratos empresariales, minimizándose la demanda de especialistas de esta materia. La secuela de todo esto fue la eliminación de esos cursos, momento que resultó muy desconsolador para el colectivo de hidrogeólogos y para las empresas del sector.

Una nueva esperanza, en este siglo XXI, para la enseñanza de la hidrogeología, resurge con nuevos cursos de formación, alegrando el panorama actual, como son el *máster RHYMA* en la Universidad de Málaga, el *máster de Medio Ambiente en hidrología y gestión de recursos Hídricos* en la Universidad de Alcalá de Henares o el más reciente *máster en hidrogeología y modelación* (MHGM) de la Universidad de Barcelona.

3.3. La legislación

La legislación ha tenido un protagonismo especial en la situación pasada y presente. Hasta el año 1985, fué la Ley de Aguas de 1879 la que rigió los procedimientos de explotación de las aguas subterráneas. En esta ley, las aguas superficiales estaban consideradas como públicas, mientras las aguas subterráneas eran privadas; las primeras eran administradas por el Ministerio de Obras Públicas o de Fomento y las segundas por el Ministerio de Industria y/o

de Energía, donde estaban las competencias mineras. Esta separación en su administración indujo a confusión o error conceptual en algunos, al considerar que no pertenecían al mismo ciclo hidrológico. Científicamente el ciclo es único. Su administración, hasta el año 1985, se ejerció en función del conocimiento especializado de cada una de las fases del ciclo. Las superficiales, por el cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, con formación en esta fase del ciclo; y las aguas subterráneas por el cuerpo de Ingenieros de Minas, con conocimiento y experiencia en la fase subterránea.

La aplicación de Ley de 1879, con pocas exigencias jurídicas, especialmente en lo relacionado con las obras de captación, no podía acometer la situación que se estaba originando de un aprovechamiento intenso de las aguas subterráneas. Al ser aguas privadas y propiedad del dueño del predio en el que se alumbren, este tenía el derecho preferente de extraer las aguas que existieran debajo de la superficie de su terreno con tal que no distrajeran aguas públicas o privadas de su corriente natural.

La solución buscada para resolver esa situación vino de elaborar una nueva ley, la Ley de Aguas de 1985. Esta considera las aguas como públicas, el ciclo hidrológico único, y su administración se concedía a la Estado y a las Comunidades Autónomas, con las Confederaciones, con una importancia muy relevante en el caso de las cuencas intercomunitarias, y asumiendo una serie de responsabilidades o tareas que, en el caso de las aguas subterráneas les está siendo difícil de asumir, posiblemente, por falta de medios humanos con la especialización adecuada.

Algunos problemas identificados en la Ley se han ido resolviendo, introduciendo modificaciones en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) y los reglamentos de Dominio Público Hidráulico (RDPH) y de Planificación Hidrológica (RDPH); pero no todo se ha resuelto, como puede ser la falta de agilidad administrativa, con procedimientos de autorización o concesión que llevan a desfases de muchos años, hasta de diez o más, como recogen algunos informes emitidos por las propias Confederaciones Hidrográficas.

Hay otras causas importantes, como la falta de control de las captaciones que siguen sujetas al derecho privativo, recogidas en el catálogo de aguas privadas, disponiéndose de varios años para pasar al registro de aguas públicas, con unas condiciones determinadas. A esa situación, hay que añadir las autorizaciones, cuando el volumen total anual no sobrepase los 7.000 m³, medida tomada por parte del legislador con la voluntad de ayudar a los pequeños demandantes. Sin embargo, en ocasiones, se está utilizando de forma fraudulenta, como paso previo para el aprovechamiento posterior de mayores caudales de los aprobados. Esto ha contribuido al sobrebombeo de los acuíferos; en el artículo 54 del TRLA, modificado, se indica que en los acuíferos sobreexplotados o en riesgo de estarlo no podrán realizarse obras nuevas amparadas en este artículo sin la autorización correspondiente de nuevas obras de explotación.

Pero esta situación, no puede mejorarse sólo con modificaciones legislativas; es necesario que exista un conocimiento hidrogeológico importante de los acuíferos y se disponga de medios humanos suficientes y especializados, ambos aspectos no resueltos hasta el momento. Esto

debe ir acompañado de la incorporación de procedimientos abreviados o declaraciones responsables.

4. LAS ETAPAS DE MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS

Al principio, el conocimiento de los acuíferos y el aprovechamiento de las aguas subterráneas se reducía a estudios locales que resolvían pequeñas demandas urbanas y algunas agrarias. Los medios utilizados sólo permitían extraer pequeños caudales y a poca profundidad, lo que no afectaba al medio natural (Foto 7).



Foto 7. Las norias movidas por el hombre o por animales era el sistema más común de extracción de aguas.

En la nueva etapa de mejora del conocimiento hay un cambio fundamental. Se extienden los estudios por toda la geografía nacional, pasando de esos pequeños estudios locales a los regionales y de cuencas hidrográficas. En este avance, destacan, por su envergadura territorial y por las innovaciones que introdujeron, los estudios llevados a cabo en el Levante Español por el INC y por el IGME e IRYDA, en la Cuenca del Guadalquivir (Proyecto del Guadalquivir FAO-Gobierno español) y en la Comarca Cazorla-Hellín-Yecla.

Hay que poner de relieve la importancia de esos proyectos y el poso que dejaron en los demás planes posteriores, que empezaron a poner en evidencia la existencia de unos recursos de excelente calidad, con una protección natural frente a la contaminación, su fácil acceso y bajo coste económico de explotación, entre otras bondades.

En cuanto al Proyecto del Guadalquivir, Antonio Almela, Dr. Ingeniero de Minas, catedrático y director del IGME, fue el gran impulsor del proyecto financiado por Naciones Unidas (FAO) y realizado por los Ministerios de Industria, Obras Públicas y Agricultura de España, a través del IGME, de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y del IRYDA, como operadores.

El proyecto abrió, por primera vez, el horizonte hidrogeológico de un amplio territorio con una metodología novedosa hasta la fecha y con la contribución de un amplio abanico de especialistas. Participaron más de cien personas de los cinco continentes; en unos casos como técnicos y en otros como especialistas, asesores o becarios.

Recordar también el estudio hidrogeológico de Cazorla-Hellín-Yecla. Este nació de un acuerdo de colaboración, suscrito en 1968, entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Instituto Nacional de Colonización (INC), posteriormente convertido en el IRYDA (Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario). El estudio abarcó una superficie de 26.000 km², incluyendo la práctica totalidad de la provincia de Albacete y parte de las de Murcia, Alicante, Granada y Jaén.

La experiencia adquirida con esos proyectos y la metodología aplicada sirvieron de base para el planteamiento de una serie de programas de mejora de la infraestructura hidrogeológica, como el Plan Nacional de Investigación Minera (PNIM-1969), el Plan de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS 1974-1885) o el Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA) o el Plan Nacional de Abastecimiento Urbanos (PANU), una de las importantes aplicaciones exitosas conseguidas de los resultados de esos planes. La participación en estos planes de especialistas extranjeros e hidrogeólogos españoles, germen de las futuras generaciones de científicos y técnicos, y la irrupción importante de las empresas consultoras privadas y de sondeos, situaron a la hidrogeología española en el contexto internacional, consiguiendo el mayor conocimiento hidrogeológico de la historia de España de la mano de instituciones como el IGME, SGOP, IRYDA, Universidades y empresas públicas y privadas.

La información generada por estos planes ha servido durante muchos años de base para estudios posteriores como única información disponible de algunos acuíferos y para la elaboración de documentos de planificación hidrológica: Avance 80, Plan Hidrológico Nacional, y a los tres ciclos de planificación. Estos planes propiciaron y facilitaron la formación de especialistas en hidrogeología y en captación de aguas subterráneas, creando Escuela.

5. LA ETAPA DE INICIO. EL PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN MINERA (PNIM)

A mediados del siglo XX, llegó el surgir de las aguas subterráneas como recurso hídrico de interés para la sociedad, la economía y el medio ambiente. La situación en la que nos encontramos en las primeras décadas del siglo XX, y la evolución que se estaba observando, era evidente. El desconocimiento existente era denunciado por eminentes científicos españoles como Juan Vilanova y Piera (Foto 8) y José Gorostizaga que también denunciaban la escasa disponibilidad de técnicas de perforación modernas.

Se estaba creando un ambiente muy reivindicativo. Por un lado, se reclamaba la necesidad de disponer de recursos hídricos suficientes para cubrir las diferentes demandas y, por otro, se consideraba necesario superar el escaso conocimiento de los acuíferos, de lo que demostraban poco interés por acometer las Administraciones competentes.

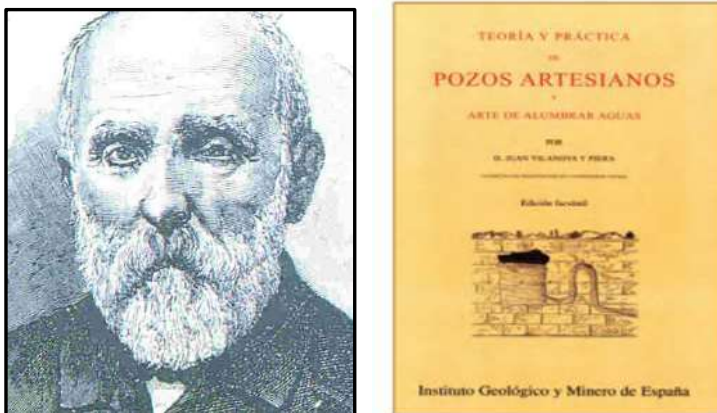


Foto 8. Juan de Vilanova y Piera, eminente científico español y autor de muchos libros, entre otros la Teoría y Practica de POZOS ARTESIANOS.

Es un momento, en el que las Administraciones adquieren un protagonismo especial. Así, el Ministerio de Industria en el marco del II Plan de Desarrollo (1968-1971), consciente del problema existente, acomete analizar la situación del estado de aprovechamiento y el control de las aguas por parte de la Administración. Para ello encarga un estudio sobre la situación de este sector a la empresa METRA/SEIS (Sociedad para el estudio científico de los problemas de la Industria, el Comercio y la Administración), cuyo contenido está recogido en tres volúmenes: Tomo I. Montante y características de la inversión en captaciones de aguas subterráneas; Tomo II. Perspectivas de utilización de aguas subterráneas: analogías internacionales; Tomo III. Análisis del interés económico del aprovechamiento de las aguas subterráneas. Este estudio nos ofreció una imagen muy completa de la situación en ese momento, en parte heredada de años anteriores y qué hacer para mejorarlo.

La encuesta llevada a cabo revela datos muy interesantes en relación con el número de captaciones realizadas hasta 1969. Eran 211.000, de las que sólo 81.535 estaban registradas (la estimación de los pozos y sondeos no registrados alcanza el 61% del total); casi dos tercios de las captaciones estaban fuera del control de la Administración. Con una inversión en el periodo 1964-1969 (ambos inclusive) en captaciones de aguas subterráneas de 21.000 Mpta (algo más de 126 M€), que corresponde a un ritmo de 3.500 Mpta (21 M€ anuales), datos muy significativos dentro de la economía nacional y de las iniciativas privadas.

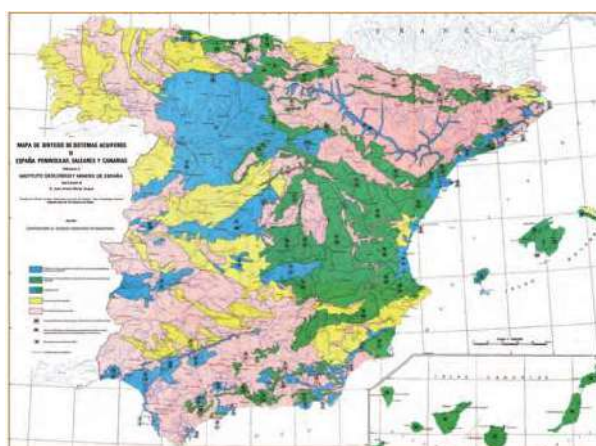
La encuesta denuncia también la falta de sistematización de la estadística de los organismos oficiales interesados en estas actividades. Sólo el 39% de las captaciones están registradas oficialmente, siendo este porcentaje muy variable de unas provincias a otras.

En cuanto a la demanda de agua global, actual y futura, queda reflejada por datos como que en 1967 alcanzó la cifra de 21.800 hm³/año, y la revisada global de agua prevista para el año 2.000 se estimó en 48.000 hm³/año. Utilizándose para fines agrícolas 19.400 hm³ en 1967, o sea, el 89% del total consumido.

En el informe, además de los datos estadísticos indicados, se llegaba a una serie de conclusiones y recomendaciones, importantes, que fueron implementadas posteriormente. De estas, hay que destacar la necesidad de un PROGRAMA HIDROGEOLÓGICO, cuyos efectos condujeron a una utilización óptima de este recurso de acuerdo con ese modelo de consumo e indicando que la utilización del agua subterránea en España tendría un ritmo de expansión dinámico en valor absoluto. Se dice: *<... la utilización de la potencialidad de nuestros embalses naturales, teniendo en cuenta los distintos criterios que deben presidir la gestión óptima de los recursos hidráulicos: criterios económicos y técnicos frente a las alternativas de regulación, calidad del agua para usos nobles, o aplicaciones simultáneas de los distintos procedimientos que empiezan a ser ya viables (lluvia artificial, desalinización, etc.); de ahí la necesidad de una política global de los recursos hidráulicos del país que aproveche al máximo las posibilidades de nuestros embalses subterráneos, lo que requiere, antes de nada, un conocimiento profundo de su utilización técnica>*.

Cumpliendo las recomendaciones del informe, se elaboró el Mapa Hidrogeológico Nacional a E. 1:500.000, publicado posteriormente a E. 1:1.000.000 (Mapa 2). Era el primero de estas características que se hacía en España, abarcando todo el territorio peninsular e insular, con una visión de la distribución espacial de los acuíferos, y las características generales de cada uno de ellos, y de la potencialidad de los recursos hídricos.

Fue un esfuerzo sin precedentes en esta materia. En su elaboración se tardó apenas un año, y supuso el manejo de 60.000 datos, 360.000 km de recorridos para cartografiar el territorio nacional y un total de 52.000 horas de técnicos superiores y medios la totalidad (32 técnicos españoles y 5 extranjeros). Entre otros resultados, por primera vez se estimó una visión global de los recursos hídricos subterráneos del país y el papel que podían desempeñar en la planificación hidrológica del horizonte del año 2000. Este trabajo sirvió de base para la preparación del Plan de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS), que se desarrollaría posteriormente.



Mapa 2. Sistema Acuíferos (SA). Clasificados: formaciones permeables por porosidad intergranular; formaciones permeables por fisuración; sistemas mixtos; zonas con acuíferos aislados; y zonas prácticamente sin acuíferos.

La novedad científica de este proyecto consistió en definir la figura conceptual del SISTEMA ACUÍFERO (SA) como «... *un dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que uno o varios mantos acuíferos, relacionados o no entre sí, constituyen una unidad práctica para el reconocimiento o explotación, pudiendo o no coincidir los límites superficiales con la traza sobre la superficie de los límites subterráneos de la unidad*».

Con ese criterio se identificaron y delimitaron, por primera vez, 75 Sistemas Acuíferos (SA) en la península y 11 en la España insular, con su respectiva numeración. Esta clasificación, abandonada en los últimos años, se sigue manteniendo cuando nos referimos a casos especiales, como al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, Sistema acuífero 23 (Mancha Occidental) o en el caso del Parque Nacional de Doñana, Sistema acuífero 27 (Almonte-Marismas) o La Mancha Oriental (Sistema Acuífero 24).

Esa clasificación por Sistemas Acuíferos fue el inicio de una larga trayectoria de identificación, delimitación y caracterización de los acuíferos. Primero como unidades hidrogeológicas (UU.HH.), y posteriormente como masas de agua subterránea (MASb), que en este año 2024 se elevan a 762; número sometido a variaciones, según se va aumentando el conocimiento hidrogeológico y se quiere facilitar su administración.

Para la elaboración del Mapa hidrogeológico, se realizaron previamente dos mapas temáticos, uno de Reconocimiento hidrogeológico (Mapa 3) y otro de Lluvia útil (Mapa 4) para determinar la escorrentía subterránea.

De un Mapa de reconocimiento hidrogeológico no existían antecedentes, lo que permite afirmar que era el primero que se hacía en España. Esta cartografía sirvió como infraestructura para obtener valores cuantitativos y dar una visión global de los recursos hídricos subterráneos. Se diferenciaron en superficie los materiales acuíferos, estableciendo cuatro grupos. I). Afloramientos de formaciones poco consolidadas permeables por porosidad intergranular. II). Afloramientos de formaciones consolidadas con permeabilidad por fisuración o karstificación, en ocasiones con porosidad primaria o efectos mixtos. III). Zonas complejas donde afloran materiales de comportamiento hidrogeológico poco claro. Corresponde a acuíferos aislados, sin conexión y poco importantes en cuanto a recursos, y IV). Zonas donde afloran materiales prácticamente impermeables, concepto muy modificado posteriormente.

El segundo mapa temático fue el de Lluvia útil o Escorrentía total para el período 1948/49-1962/63, que no existía en España (Mapa 4). Para su realización se utilizó el mapa de precipitaciones a escala 1:500.000 del CEH. Se llevó a cabo un análisis de los caudales mensuales medios naturales de 135 estaciones de aforos controladas por el CEH. Se estableció el valor de la escorrentía total, tanto la medida en las estaciones de aforos como aguas abajo de las mismas y la recarga de los acuíferos, determinando para cada litología un coeficiente de infiltración (recarga) respecto a la lluvia útil y los trasvases subterráneos entre cuencas. Con esta información se obtuvieron las siguientes cifras: escorrentía total media anual, 109.850 km³/a; escorrentía superficial, 89.300 hm³/a y escorrentía subterránea, 20.550 hm³/a. Se estimó la capacidad de almacenamiento en sus primeros 50 m del orden de 200.000 hm³, casi cuatro veces la totalidad de los embalses superficiales.



Mapa 3. Mapa de reconocimiento hidrogeológico en el que se definen las formaciones hidrogeológicas existentes



Mapa 4. Mapa de lluvia útil o escorrentía total.

6. LA ETAPA DE LA REVOLUCIÓN. EL PLAN DE INVESTIGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (PIAS). EL GRAN AVANCE DEL CONOCIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS ESPAÑOLES

Hay un antes y un después en el conocimiento de las aguas subterráneas y en su consideración como parte importante del ciclo hidrológico y de nuestro patrimonio natural, debido a los resultados obtenidos de la implementación de los diferentes planes de investigación: PIAS, Recursos hídricos totales del Pirineo Oriental (REPO), SPA-15 en las Islas Canarias o los Recursos hidráulicos totales de las Islas Baleares y Navarra.

El Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS), es el más importante llevado en España durante el siglo XX; cubrió la mayor parte del territorio nacional. El resultado fue la creación de la actual infraestructura hidrogeológica. Por eso, entrar en ese Plan es conocer la historia y los avances de esta ciencia en el siglo XX.

El IGME fue el encargado de dirigir el PIAS, con la colaboración de otras instituciones públicas, como el entonces Ministerio de Agricultura, a través del Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), y la participación de un conjunto importante de empresas públicas y privadas del sector.

En el año 1972 se iniciaron los primeros proyectos del PIAS de las cuencas hidrográficas, excepto la del Pirineo Oriental y las Islas Canarias, donde por esas fechas se estaban realizando los Proyectos REPO y SPA-15, de contenido científico-técnico muy similar. Finalizados esos dos últimos proyectos, el IGME, a finales de la década de los setenta y primeros de los ochenta, inició en esas regiones estudios complementarios para mejorar el conocimiento adquirido en los proyectos mencionados, actuando principalmente en las provincias de Tarragona y Gerona y un poco en Barcelona, zonas donde se observaban mayores lagunas de información de ciertos acuíferos.

La metodología utilizada en el PIAS, aplicada a grandes cuencas hidrográficas, fue muy similar en todas ellas, tomando como modelos, los del Proyecto del Guadalquivir y el del Cazorla-Hellín-Yecla, con las singularidades de cada uno de ellos. Su implementación permitió identificar y caracterizar los acuíferos ubicados en el ámbito de cada uno de los grandes Sistemas Acuíferos que se habían definido en el Mapa Hidrogeológico Nacional. Uno de los resultados del Plan, para cada una de las cuencas, fue la evaluación de los recursos hídricos subterráneos, el grado de disponibilidad y aprovechamiento, la composición química de las aguas y los problemas de contaminación existentes, así como la interrelación entre las aguas superficiales y las subterráneas.

La información existente y los trabajos de campo fueron elementos fundamentales. En cuanto a la información existente, en el comienzo del PIAS, se dispuso de una extensa recopilación de estudios e informes públicos y privados, como inventario de fuentes, manantiales, pozos, sondeos y galerías facilitados por determinadas instituciones, como las Jefaturas de Minas. Se obtuvo información de más de 405.000 medidas de niveles piezométricos y de caudales en manantiales; del orden de 60.000 análisis químicos y de unos 130.000 puntos de agua

(pozos, sondeos, galerías, etc.). Todos ellos fueron clasificados y almacenados en la Base de Datos Aguas del IGME, elaborada para ese fin.

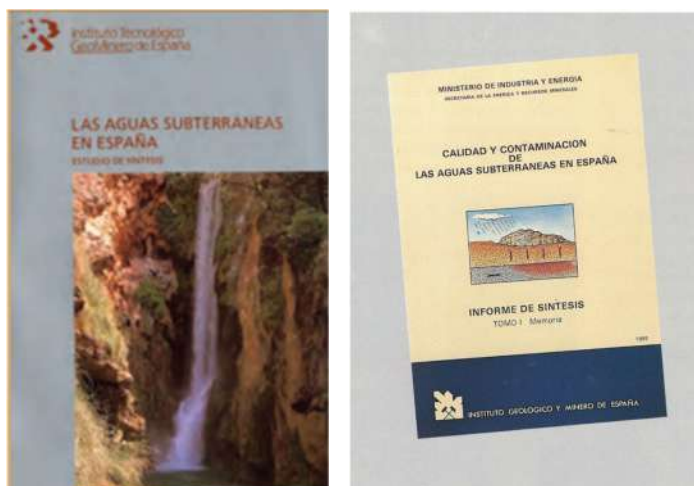
Pero, el PIAS por lo que más se caracteriza es por los numerosos trabajos de campo realizados, cuyos resultados pusieron de relieve la importancia de esta labor. Esto debe servir de ejemplo en la aplicación del PAAS; de no hacerlo así sería un gran error. Estos trabajos de campo fueron numerosos y fundamentales para caracterizar los acuíferos. Se hizo la cartografía hidrogeológica, se elaboraron muchos km² de cartografía hidrogeológica a E 1: 200.000 o 1:100.000, inéditas hasta el momento, un tercio de la superficie española; a escala 1:50.000, algunas disponibles a escala 1:25.000; estudio de 95 cortes litoestratigráficos; la implantación y control de 29 secciones de aforo, control mensual de 101 piezómetros, recogida y análisis de 3.291 muestras de agua, nivelación de 245 puntos con un recorrido total de 2.940 km, realización de 685 sondeos eléctricos verticales, control e interpretación de 36 bombeos de ensayo y perforación de 95 sondeos de investigación y piezométricos, con 19.750 m perforados, perforación y desarrollo de 16 sondeos de preexplotación, con 2.767 m perforados. Cientos de ensayos de bombeo; campañas de geofísica y columnas litológicas de sondeos mecánicos, testificados algunos de ellos y almacenados en la Litoteca del IGME en Peñarroya (Córdoba).

Otra participación a destacar en el PIAS fue la de las empresas de perforación, por los excelentes trabajos realizados, y por la información cedida generosamente, procedentes de otros clientes, con su autorización. Destacan los Parques de Maquinaria del Instituto Nacional de Colonización (INC, posteriormente IRYDA) del Ministerio de Obras Públicas, y del IGME. A estas instituciones públicas hay que añadir un buen número de empresas privadas, a las que hay que felicitar por su profesionalidad.

Algo similar, ocurrió con las empresas de aforos y ensayos de bombeo, que contribuyeron con su profesionalidad, incorporando los nuevos métodos de interpretación, con criterios científicos más rigurosos y de mayor precisión para el cálculo de los caudales aforados, pasando de cubos o dispositivos similares, a instrumentos más exactos, como el tubo Pitot, método que fue transmitido por técnicos de la Administración, que lo habían adquirido de expertos extranjeros, a las empresas y técnicos.

Para la ejecución del plan se estimó una inversión total de 1.820.000.000 de pesetas (10.938.420 euros), de los cuales, 1.270.000.000 (7.632.854 euros) correspondieron al periodo 1972-1975 y 550.000.000 (3.305.566 euros) a los años 1976-1979.

Los trabajos del PIAS continuaron sin interrupción, año tras año (Fotos 9), a la vez que se fueron sumando otros planes, como el Plan Nacional de Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA) y el Plan Nacional de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU), que se puede considerar la principal aplicación.



Fotos 9. Dos documentos de síntesis del PIAS. A la izquierda el informe resumen hidrogeológico de todos los proyectos y a la derecha informe de síntesis de la calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España

7. LA ETAPA COMPLEMENTARIA AL PIAS. EL PLAN DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE ACUÍFEROS (PGCA)

La aplicación del PGCA vino a completar y mejorar la información generada por el PIAS en algunos ámbitos territoriales.

Un hito importante con el PIAS y el PGCA fue la creación en España de la primera red de control de las aguas subterráneas de ámbito nacional, que ha permitido disponer de información periódica sobre la evolución de la calidad y cantidad del agua subterránea. La red fue gestionada por el IGME hasta el año 2000 cuando fue asumida por la Administración Hidráulica responsable de esta competencia. Se implantó con más de 3.000 piezómetros distribuidos por los principales acuíferos, y con más de 2.000 puntos en los que se tomaron cerca de 4.500 muestras de agua, cuyos análisis fueron realizados en su mayor parte en el laboratorio del IGME con el apoyo, en ocasiones, de otros laboratorios externos.

El PGCA se llevó a cabo en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas (UN) para la gestión de acuíferos. Su finalidad fue la conservación y protección de los acuíferos y de las aguas subterráneas. Para ello, se desarrolló el SPA 73/001, con dos objetivos:

- Uno. Dirigido a la formación de personal en el campo de la lucha contra la contaminación. Su aplicación fue un éxito; se formaron los primeros especialistas en centros especializados de EE.UU.
- Dos. Integrar el aspecto cualitativo de la gestión del agua subterránea en el marco general de la planificación de los usos de los acuíferos y, a su vez, integrar estos en el esquema general de la planificación hidrológica.

Pero hay latente una pregunta, ¿qué pasó después del PIAS y PGCA?. La respuesta es sencilla: no hubo continuidad. La Administración hidráulica, mostro poco interés, debido posiblemente a la escasez de recursos económicos y a la poca importancia que se les daba a las aguas subterráneas. Las consecuencias fueron inmediatas, las empresas consultoras lograron mantenerse un tiempo por los trabajos de ENRESA, que estaba inmersa en la búsqueda de los emplazamientos de residuos, pero al terminar estos, la mayoría de las empresas desaparecieron y, con ello, un gran número de hidrogeólogos dedicados a esta actividad tuvieron que dedicarse a otros tipos de actividades, situación que no se ha recuperado. Se tiene la esperanza de que esta situación mejore con la implementación del PAAS.

8. LOS GRANDES BENEFICIOS DERIVADOS DEL PIAS Y DEL PGCA

Los beneficios producidos por la información generada en esos proyectos fueron muchos. Destacan, por su importancia en la mejora del conocimiento y en su utilización posterior algunos de ellos, que se comentan a continuación:

8.1 Utilización de los datos básicos generados

Ha sido una constante, desde que se inició el proceso de planificación hidrológica, la utilización de la información generada en el PIAS. Desde el primer documento de Avance 80, hasta el tercer ciclo de los planes hidrológicos de Cuenca para el periodo 2022 a 2027; asimismo, las Confederaciones Hidrográficas la utilizan como datos básicos para las autorizaciones y concesiones del Dominio Público Hidráulico.

Ha sido fácil disponer de la información generada por el PIAS y el PGCA, al haberse clasificado e incorporado a la Base de Datos Agua del IGME. Información que, a lo largo de los años, ha respondido a miles de consultas realizadas, tanto por parte de las distintas Administraciones como por empresas públicas, privadas o particulares. La información de la red de control se distribuyó en Boletines, que se publicaron anualmente hasta el año 1980 y, a partir de esa fecha, se dispuso de ella en soporte informático.

8.2 Aplicaciones más relevantes

La información generada ha permitido hacer numerosos trabajos, que han facilitado su consulta, destacando la confección del Mapa hidrogeológico de España; la cartografía hidrogeológica a E.:1.200.000, en algunos casos a E. 1:50.000 de las principales zonas con acuíferos; la cartografía de Orientación al Vertido de Residuos Sólidos a E. 1:50.000, que tuvo un éxito importante, aplicándose a la selección de emplazamientos de vertederos, que ayudó a corregir la mala ubicación de muchos de ellos; la realización de atlas hidrogeológicos, en algunos casos de ámbito regional, como Andalucía, Baleares, y en otros casos provinciales como Sevilla, Cádiz, Granada, Huelva, Jaén, Alicante, Castellón y Burgos entre otros (Mapas 5).



Mapas 5. Cartografía hidrogeológica a E. 1: 1.200.000 y Atlas hidrogeológicos regionales y provinciales.

La difusión del conocimiento de las aguas subterráneas también ha ocupado un importante lugar, permitiendo la divulgación de algunos temas, en formatos diversos: papel, video o en soporte electrónico, como, por ejemplo, las Rutas azules por la provincia de Alicante) (Fotos 10).



Fotos 10. A la izquierda video de difusión del conocimiento de las aguas subterráneas. A la derecha la aplicación del PIAS a la elaboración de rutas del agua por las provincias, como las rutas azules por la provincia de Alicante.

8.3 El Plan de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU). Un hito en el abastecimiento urbano

Quizás sea la mejor aplicación del PIAS desde el punto de vista social y humanitario. En esos años muchos eran los núcleos de población españoles que carecían de agua o su suministro era escaso.

El PANU se inició en 1975 y venía a dar respuesta al desabastecimiento de muchos núcleos urbanos; se aplicó a toda España a aquellos núcleos de población que lo solicitaban. Los estudios y sondeos eran cubiertos por los presupuestos asignados a esta actividad. La Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras contribuyó económicamente con las asignacio-

nes provenientes del Ministerio de Industria. Los resultados fueron espectaculares, como se ve en el cuadro 2.

Población abastecida (hab)	1.766.769
Número de sondeos	428
Metros lineales perforados	53.917
Caudal (l/s)	7.287
Inversión (Mpta)	764
Número de municipios	351

Cuadro 2. RESULTADOS PANU

Una vez asignada esta competencia a las CC.AA. y Diputaciones, la actividad continuó a través de convenios con las distintas Administraciones, especialmente las Diputaciones. Los estudios los realizaba el IGME y las Diputaciones financiaban las obras. El resultado fue espectacular, incrementándose en varios millones más, el número de españoles que gozaron de esos beneficios.

9. LOS PROBLEMAS GENERADOS DURANTE ESOS AÑOS

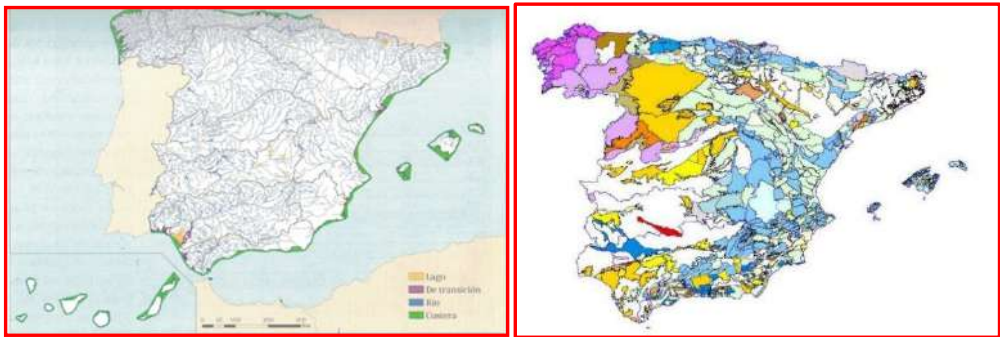
El PIAS y otros estudios regionales pusieron en evidencia unos recursos de aguas subterráneas importantes, que pronto empezaron a extraerse, en algunos casos de forma irregular, originando problemas importantes de sostenibilidad.

Dos son las causas más importantes de esa situación, de la que cabe destacar una: la Administración hidráulica no estaba preparada para asumir las competencias atribuidas por la Ley en aguas subterráneas, como la tramitación de expedientes de aprovechamiento, con un procedimiento complicado de autorización y concesiones; lo que ocasionaba plazos muy largos de resolución, incluso de varios años, con el consiguiente mal aprovechamiento de estas aguas.

Por otro lado, el control administrativo de las aguas subterráneas presentaba dificultades. Mientras las aguas superficiales responden a un modelo lineal de control, que lo hace más sencillo; el control de las aguas subterráneas responde a un modelo superficial, cubriendo prácticamente toda España, más complicado de administrar, que requiere mayor número de recursos humanos especializado y de medios técnicos (Mapas 6).

En todo ello también ha influido la falta de conocimiento actualizado de los acuíferos, teniendo como única información básica la generada en el PIAS, con 40 años de antigüedad. A esto hay que añadir la escasa preparación científica y técnica para asumir algunas de las competencias y su control, con unas consecuencias adicionales, como la construcción de sondeos y pozos sin autorización y con un aprovechamiento no planificado, con un control escaso de

protección y gobernanza que ha conducido a la situación de sobrebombes y de contaminación actual, problemas difíciles de remediar a corto plazo.

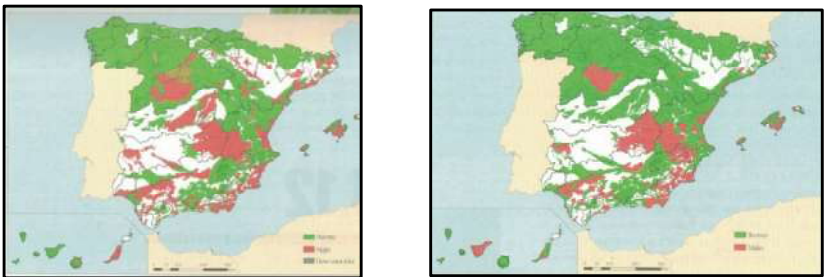


Mapas 6. A la izquierda mapa representativo de la red hidrográfica, y su distribución lineal. A la derecha, distribución del conjunto de masas de aguas subterráneas, cubriendo prácticamente toda la superficie nacional.

En el último informe elaborado por MITERD (2022), se indicaba que, de las 762 Masas de agua subterránea actualmente identificadas, el 44 por ciento están en mal estado, correspondiendo el 35 por ciento al estado químico y el 24 por ciento al cuantitativo (Figura 3), con un estado general distribuido por masas como se recoge en los mapas 7.



Figura 3. Distribución por porcentajes del estado de las masas de aguas subterráneas (Fuente. MITERD, 2022)



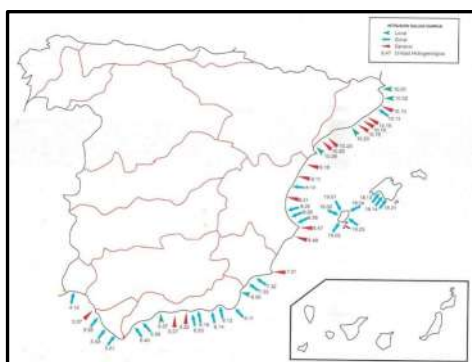
Mapas 7. A la izquierda mapa del estado químico de las masas de agua subterránea. A la derecha el estado cuantitativo (Fuente. MITERD, 2021).

El mayor problema de contaminación química es la presencia de nitratos en las aguas subterráneas. Esta contaminación se pronosticaba en los años 80-90 por parte del IGME. Con la información generada en el PIAS y PGCA, se elaboraron los documentos que se pueden ver en la foto 11, en los que se reflejaba la situación en esos momentos y se daba una serie de recomendaciones para mejorar la situación. No sirvieron para mucho y la situación actual, es que la Comisión Europea ha llevado a España ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea por no haber tomado medidas suficientes contra la contaminación por nitratos.



Fotos 11. Portadas, a la izquierda el documento en el que se incluye un mapa de la situación en España de la contaminación por nitratos, y la derecha, se ofrece un panorama de la problemática e incidencia en España.

Ha sido importante como contaminación química, la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros por incremento del contenido salino y por el aumento de los cloruros, originada por una explotación no planificada (Mapa 7). Durante la realización del PIAS y el PGAC, el IGME, definió unas redes específicas, que permitieron detectar y hacer un seguimiento del proceso, situación que queda reflejada en el mapa indicado anteriormente, estableciéndose las posibles alternativas de mejora.



Mapa 7. Situación de la intrusión salina en los acuíferos costeros, distinguiendo entre situación local (verde), zonal (azul) y general (roja) (Fuente IGME. Dirección J.A. López Geta).

10. TERMINADO EL PIAS. UN INTENTO DE MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO. EL LIBRO BLANCO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUS PROGRAMAS

Las asociaciones de hidrogeólogos y otros entes sociales, finalizado el PIAS en 1985, denunciaron la falta de actualización del conocimiento de los acuíferos adquirido con ese Plan y la escasez de hidrogeólogos en las Administraciones hidráulicas, en las empresas, y esto acompañado de la desaparición de un gran número de compañías privadas de este sector. Esta denuncia ha sido una constante durante muchos años.

En el año 1994, trascurridos casi diez años desde la finalización del PIAS, se produjo una respuesta para actualizar la información. Se elaboró el Libro el blanco de las aguas subterráneas (MOPTMA-MINER, 1994), que venía a cumplir los acuerdos del Seminario de la Haya de 1991 sobre las aguas subterráneas. La dirección del libro fue encomendada al SGOP y al ITGE (actual IGME). Fue una gran propuesta, pero se enfrentó, entre otros problemas, al poco interés por parte de las Administraciones hidráulicas, coincidiendo con los cambios de Gobierno en esa fecha y no incluyendo ninguna partida económica en los Presupuestos Generales del Estado. El Libro tiene dos partes bien diferenciadas (Fotos 12). En la primera, se hacía una cuantificación de las aguas subterráneas, su explotación y uso, acompañada de un diagnóstico del estado de los acuíferos españoles, haciendo especial énfasis en la situación de sobreexplotación y salinización de estos; se concluía que había 99 UUHH (ahora 762 masas de aguas subterráneas), con un volumen de sobreexplotación de 1 km³. En la segunda parte del Libro se proponían dieciséis programas de investigación, dirigidos a actualizar el conocimiento de las aguas subterráneas, en cantidad y calidad, a su protección, y a movilizar al sector empresarial y la contratación de hidrogeólogos. Su ejecución se estimaba en un montante de 140.000 millones de pesetas (841 M€).

Fue un intento muy importante, pero acabó en eso: un intento. Un fracaso. Las expectativas no se cumplieron ya que su implementación quedó reducida a la elaboración de algunos documentos básicos, donde se recogía la problemática existente y la forma de mejorarla, pero en ningún caso se comprometieron los recursos económicos necesarios, con la consiguiente decepción de los diferentes sectores empresariales.

Las asociaciones recibieron esta iniciativa con mucha ilusión, convocando un seminario para analizar las propuestas del Libro, organizado por el CAS (enero 1995). Se elaboró el manifiesto de Madrid sobre aguas subterráneas. La constante inquietud en el tiempo de las organizaciones ha llevado a hacer diferentes pronunciamientos, como la declaración de Marrakech en 2006, surgida del congreso internacional celebrado en Málaga y el manifiesto del día mundial del agua 2022. Esta información puede verse en www.clubdelaguasubterranea.org.



Fotos 12. Portada del Libro blanco de las aguas subterráneas, y resumen del seminario celebrado sobre el libro. A la derecha, un ejemplo de las declaraciones en defensa de las aguas subterráneas.

11. LA ETAPA ESPERADA. EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (PAAS 2023-2030). SU NECESIDAD

Antes de nada, hay que felicitar a los funcionarios de la Dirección General del Agua del Ministerio y demás personas que han colaborado en la elaboración de este Plan. Es un documento muy completo que ha sido muy bien recibido por todos los colectivos: Administraciones hidráulicas, universidades, asociaciones y empresas en general.

De su lectura se puede sacar la conclusión de que su implementación mejorará el conocimiento actual de los acuíferos, que resolverá muchos de los problemas que existen en la actualidad y, con ellos, se alcanzará una mejor gobernanza y sostenibilidad del agua subterránea.

Se pueden hacer muchas preguntas sobre el porqué de la necesidad de este Plan. Para estas hay muchas respuestas, consideraciones y avances a los que nos puede llevar al cumplimiento de este Plan.

Respuestas

La primera es que han pasado casi cuarenta años desde la finalización del PIAS, y eso hace que pierda actualidad la información generada en esos años, lo que hace que sea necesario revisar la existente e incorporar la nueva información.

La segunda, responder a la gran demanda de las Administraciones hidráulicas de disponer de información actualizada. Hay que recordar que la elaboración de los tres ciclos de planificación aprobados hasta el momento ha utilizado esa información, obsoleta en algunos casos, lo que lleva a decisiones dudosas. Debe servir también para dar respuesta a las demandas de colectivo científico y asociaciones, y a las empresas y a la sociedad en general.

La tercera, conseguir mejorar la gestión y gobernanza de las aguas subterráneas, una de las asignaturas pendientes y cumplir con las exigencias de la Comisión Europea de alcanzar en el 2027 el buen estado cuantitativo y químico de las masas de agua subterránea en mal estado, zonas protegidas y ecosistemas acuáticos.

La cuarta, con la implementación de este Plan, mejorar la presencia en número importante de hidrogeólogos en la Administración hidráulica y en las empresas, prácticamente desaparecidos en la actualidad, y conseguir el resurgir de muchas de ellas, cerradas o minimizadas en ocasiones.

Consideraciones

Un problema importante del Plan es que su aplicación sólo cubre las cuencas intercomunitarias. Habría que recomendar a las Comunidades autónomas que propongan un plan similar, que mejoraría la visión conjunta del agua en España.

En cuanto a la financiación del Plan, es de una cuantía razonable; algunas partidas podrían incrementarse especialmente las de mejora del conocimiento. En el cuadro 3 se pueden ver las cifras de los diferentes planes, realizados y previstos.

PLAN	INVERSIÓN
PIAS	10,8 M€ (1.820 MPTA)
Libro blanco de la aguas subterráneas	841 M€
PAAS	500 M€

Cuadro 3. Inversiones realizadas o previstas en los diferentes planes

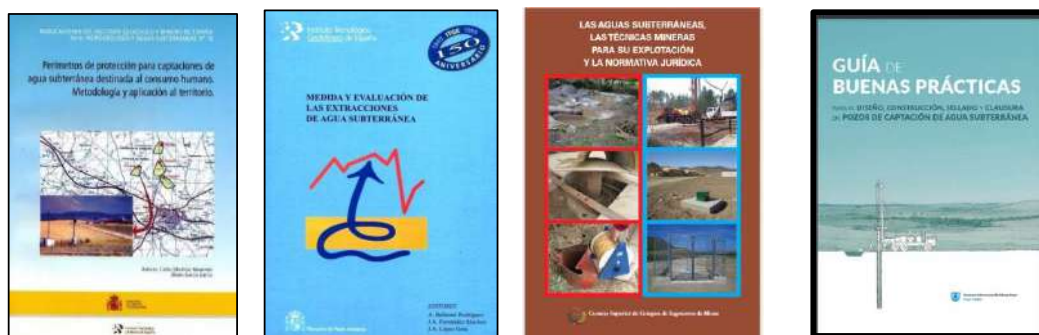
Avances más relevantes esperados en la aplicación del Plan

- Resolución de los problemas que afectan a algunas masas de agua subterránea en España, generalmente asociados a su aprovechamiento intensivo y consiguiente afección a zonas protegidas y a los ecosistemas dependientes.
- Facilitar el acceso público a la información hidrogeológica de forma sencilla, organizada y de calidad, estableciendo los sistemas informáticos adecuados al tipo de información y de captación.
- Impulsar la digitalización del sector del agua; organismos de cuenca y distintos sectores implicados en los usos del agua.
- Mejorar las redes de control existentes, incluyendo las redes hidrométricas. Análisis y diagnóstico y mejora de estas, garantizando la representatividad, y proporcionando al público acceso sencillo, rápido y de fácil visualización, con información contrastada y actualizada.
- Completar el diseño y construcción de redes de control piezométrico, estaciones de aforo, y de calidad del agua.

- Potenciar la creación de comunidades de usuarios (CUAS y CUMAS) y fortalecer su papel, facilitando la gestión y la gobernanza, e impulsando convenios con la Administración.
- Fomentar los planes de explotación de los acuíferos como apoyo a la mejor gestión y planificación del recurso.
- Completar las normas técnicas y legales de construcción de pozos y sondeos, sellado y clausura de pozos, y potenciar la figura de director facultativo, mejorando la coordinación entre administraciones comprometidos en su cumplimiento.
- El mejor control del cumplimiento de las condiciones de la concesión con mayor disponibilidad de especialistas y conocimiento y medios técnicos.
- Disponer de entidades colaboradoras de la Administración hidráulica que certifiquen el cumplimiento.
- Difusión y divulgación pública de los datos e información

Aportaciones. Guías metodológicas

Se ha comentado, que lo que no se conoce puede llevar a cometer errores o a repetir las cosas; de ahí que, en la nueva propuesta contemplada en el PAAS, se tenga en cuenta algunas guías basadas del conocimiento adquirido por el PIAS, elaboradas por el IGME, pueden servir de modelos, y/o ser utilizadas, adaptadas a los conocimientos científicos y tecnológicos actuales (Fotos 13).



Fotos 13. Algunas de las guías realizadas por el IGME y por otras instituciones (ANIM y AIAH-GE) que deben servir de modelo para la elaboración de las propuestas en el PAAS

REFERENCIAS

- Durán Valsero. JJ. 2013. La hidrogeología a lo largo de la etapa pre-científica, hasta finales del siglo XX. En 100 años de hidrogeología en España (1900 a 2000). (Ed. JA López- Geta y P.M. Fornés). IGME. 814 p.
- ASIRSE 2023. Encuesta sobre superficies y rendimiento de cultivos. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). Digital.
- López-Geta, JA. y Fornés, P.M. 2001. Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. 94 +CD.

Lopez Geta, J. A., 2025. Conocimiento de las Aguas Subterráneas. Del PIAS al PAAS (Plan de acción de Aguas Subterráneas).

MITERD. 2021. Informe de seguimiento de los Planes hidrológicos de cuenca y de los recursos hídricos en España. Año 2021 (Avance octubre 2022). 209 P.

Gutiérrez Diez, E., 2025. Gestión sostenible de aguas subterráneas en Hidralia. En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafuella, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volumen XXXI, pp. 57-72. Madrid.

GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN HIDRALIA

Enrique Gutiérrez Diez⁽¹⁾

(1) Director de Innovación de Hidralia y gerente de la Fundación Cetaqua Andalucía.

RESUMEN

El agua subterránea es un recurso clave en Andalucía que cada vez tiene un papel más relevante en el contexto de cambio climático que es ya una realidad. Por ello Hidralia ha impulsado un modelo de gestión sostenible de las aguas subterráneas que es un referente en el sector. Es un enfoque holístico donde se apuesta tanto por la tecnología y la digitalización como por la innovación aplicada como vehículo de mejora continua. En este sentido fue clave la apuesta de crear CETAQUA Andalucía, una Fundación sin ánimo de lucro dedicada a la investigación en el ciclo integral del agua, modelo de colaboración público-privada en la que participan Hidralia, la Universidad de Málaga y el CSIC. En el ámbito de temáticas concretas Hidralia ha apostado desde un primer momento por la mejora del conocimiento hidrogeológico, con numerosos estudios de los acuíferos que gestiona en colaboración con varias universidades, gestión avanzada de sus sondeos con tecnología punta de mantenimiento y digitalización de los mismos, la recarga gestionada de acuíferos con experiencias de recarga que llevan 20 años en operación y en que actualmente se apuesta por el agua regenerada como un recurso recurrente para este fin, la gestión integrada de recursos hídricos con visión predictiva o la mejora de la gobernanza. En todos estos ámbitos siempre con proyectos aplicados de innovación con pilotos locales, ya sea en el marco de proyectos de financiación con recursos propios de Hidralia o bien con fondos de financiación pública de diferentes convocatorias europeas o nacionales.

Palabras clave: Digitalización, gestión integrada de recursos, innovación aplicada, recarga gestionada de acuíferos, gobernanza

1. CONTEXTO

El cambio climático es ya una realidad, con efectos evidentes en nuestro territorio que, en el caso de Andalucía, donde opera Hidralia, se manifiesta en forma de sequías más prolongadas y frecuentes, acompañadas de episodios de precipitación más intensos y violentos. Llueve

menos y, cuando lo hace, lo hace de forma más intensa. Andalucía, por tanto, es una de las regiones europeas con mayor tendencia al estrés hídrico y más expuesta a su agravamiento por los efectos del cambio climático.

Si al cambio climático le añadimos el crecimiento poblacional mundial tenemos, por tanto, un contexto de menos recursos disponibles y mayores demandas. Se estima que en 2030 consumiremos un 50% más de alimentos, un 40% más de agua y un 50% más de energía, con un 40% de la población mundial afectada por estrés hídrico. Además, la distribución poblacional no es uniforme, acentuándose cada vez más la concentración en zonas urbanas y costeras.

Hidralia, como operadora de agua andaluza, se marca el objetivo de aumentar la seguridad hídrica y resiliencia territorial con una visión de *gestión conjunta de los recursos* y *máxima eficiencia* en el contexto de cambio climático, apostando decididamente por la gestión sostenible del agua subterránea. Para ello se decidió apostar por una estrategia basada en *conocimiento, tecnología, digitalización e innovación aplicada*.

2. CETAQUA ANDALUCÍA

Hace ya 10 años Hidralia decidió apostar por el modelo de colaboración público-privada de innovación que había nacido como referente en Barcelona con la creación del primer CETAQUA, Centro Tecnológico del Agua. Una alianza en que el CSIC, una universidad y una operadora locales se asocian para conformar una fundación sin ánimo de lucro para el desarrollo de actividades de I+D+i en torno al ciclo integral del agua, con visión local. En el caso de Hidralia el foco estaba claro: impulsar una *gestión sostenible de las aguas subterráneas*, dado el carácter estratégico que estas tienen en los territorios donde opera Hidralia. La apuesta por el conocimiento e innovación aplicada se hacía buscando la máxima sinergia entre la academia y las operaciones en el día a día. En particular, Cetaqua Andalucía cuenta con la Universidad de Málaga, el CSIC e Hidralia entre sus patronos.

En relación con el nivel de agua subterránea el CEHIUMA, Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, ha sido y es un pilar fundamental en esa estrategia de alianza con la academia. Una relación que se concreta en múltiples niveles, con numerosos proyectos de colaboración directa, ya sean de iniciativa privada o de financiación pública competitiva, asesoramiento técnico por parte de los investigadores del CEHIUMA, con especial mención al catedrático Bartolomé Andreo o en un aspecto de máxima importancia tanto para la Universidad como la Empresa como es la captura y fijación de talento. Es una reivindicación recurrente del sector la falta de profesionales hidrogeólogos en la Administración y las empresas operadoras de agua.

Los 10 años de trayectoria de Cetaqua Andalucía, con uno de sus focos principales en la gestión sostenible de las aguas subterráneas, se traducen en la participación en más de 150 proyectos, 20 de financiación pública europea o nacional, y 3 de ellos liderados por CETAQUA

Andalucía, que han supuesto la movilización de más de 12 millones de euros de presupuesto con impacto en Andalucía. Referido al talento 35 alumnos de la Universidad de Málaga han pasado por Cetaqua, estando actualmente 12 de ellos en plantilla de Cetaqua o Hidralia.

Esta trayectoria de Cetaqua Andalucía ha sido reconocida con premios como el Premio Manantial del Club del Agua Subterránea (2019) o la acreditación como Centro Tecnológico del Sistema Andaluz de Agentes del Conocimiento (2023).

3. DIGITALIZACIÓN Y TECNOLOGÍA

Hidralia, como operadora del grupo Agbar/Veolia, cuenta con el respaldo tecnológico del grupo líder en gestión de agua en el mundo, con empresas como Aquatec. En el marco de la estrategia de digitalización del grupo se han venido impulsando una red de Hubs Operativos, denominados *Dinapsis by Hubgrade*, desde donde se centralizan a escala regional las operaciones de gestión de las operadoras del grupo, poniendo a disposición de los distintos servicios o explotaciones la tecnología y herramientas digitales más avanzadas para los diferentes procesos del ciclo integral del agua.

En la gestión de recursos hídricos se cuenta con varias herramientas que permiten tanto tener una visión de conjunto de cuenca hidrográfica, pudiendo optimizar el uso de unos recursos u otros en función de las demandas, como a escala de las propias captaciones o sondeos, donde se controlan multitud de parámetros tanto del funcionamiento de las bombas como del estado del propio acuífero. Todo ello permite llevar a cabo una gestión optimizada del sondeo, anticipando potenciales averías y activando trabajos de mantenimiento tanto de los equipos del sondeo como del propio sondeo. Para ello se cuenta con tecnologías de limpieza avanzada de sondeos con CO₂ líquido para la limpieza y desarrollo de los mismos (cepillado, inyección CO₂, swabbing y desarrollo final por tramos presurizados).

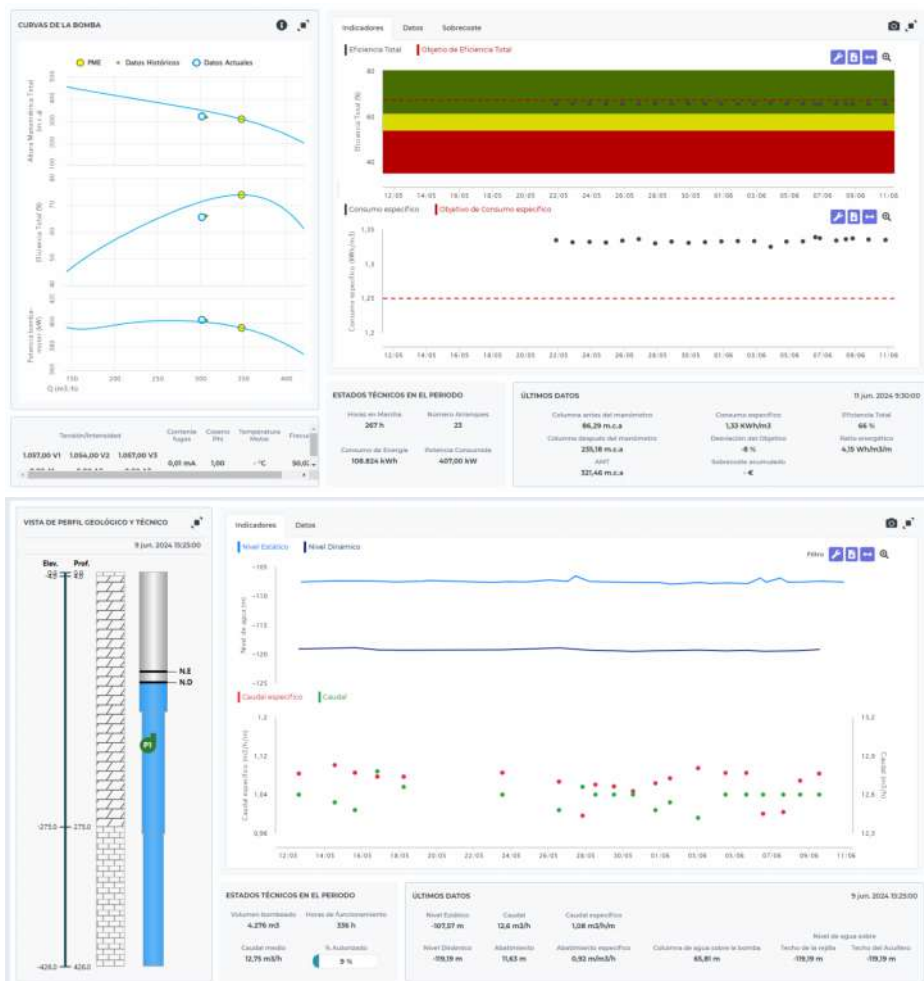


Figura 1. Herramienta de gestión optimizada de sondeos

Todo ello nos permite realizar una operación de los sondeos lo más optimizada posible siempre teniendo en cuenta el estado de los acuíferos y el volumen extraído vs el volumen concesional disponible.

4. INNOVACIÓN APLICADA

Con este binomio, operación avanzada de los recursos hídricos apoyada en la digitalización y tecnología, y la innovación vehiculada e impulsada a través de Cetaqua, Hidralia ha logrado alcanzar un nivel de gestión de los recursos hídricos, y en particular de las aguas subterráneas, que es un referente en el sector.



Figura 2. Operaciones de limpieza y desarrollo de sondeos con CO₂ líquido

En los siguientes apartados vamos a ver cómo la innovación aplicada, con esa vocación de Cetaqua de llevar el conocimiento desde la academia al día a día de la gestión del agua, partiendo siempre de las necesidades operativas de Hidralia y otras operadoras de agua.

5. CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Gracias a la creación de Cetaqua y a la colaboración que con ello se instauró y fortaleció con la Universidad de Málaga, se han llevado a cabo numerosos estudios que han contribuido a generar conocimiento de los acuíferos andaluces, con especial foco en la Costa del Sol Occidental donde Hidralia es uno de sus principales operadores. Aunque suene a perogrullo no se puede gestionar bien lo que no se conoce. Es por ello que Hidralia ha impulsado el conocimiento pormenorizado del binomio de acuíferos aluviales cuaternarios y pliocenos asociados para poder impulsar una gestión sostenible de los mismos, respetando siempre las condiciones de explotación que permitan un uso de los recursos compatible con su balance hídrico natural y las demandas de los servicios. En esos estudios se han realizado trabajos de campo que permiten conocer con mayor detalle el balance hídrico de los acuíferos, su recarga natural anual, dónde se producen las transferencias entre acuíferos, la calidad del agua en los diferentes sectores y cómo varía en el tiempo, o el caudal que recorre los arroyos costeros cuando estos llevan agua. En definitiva, conocer detalladamente su funcionamiento para poder ajustar así la explotación de los mismos en un entorno, la Costa del Sol, donde el agua subterránea supone un porcentaje importante del mix de recursos hídricos (más del 30% en muchos sectores costeros).



Figura 3. Trabajos de campo para el seguimiento hidrogeoquímico de los acuíferos



Figura 4. Trabajos de campo para el aforo de arroyos costeros



Figura 5. Trabajos de campo para el control de parámetros de calidad en arroyos

Uno de los aspectos que pueden tener un impacto relevante es el del seguimiento de los arroyos intermitentes con técnicas de visión artificial a través de cámaras o el uso de datos de satélite, ya que actualmente la mayoría de estos arroyos o ríos intermitentes no cuentan con aforos oficiales por la dificultad para medir caudales pequeños e intermitentes, y el alto coste que las estaciones de aforo tienen. Un mejor conocimiento del caudal circulante en estos cursos fluviales nos permitiría un mejor conocimiento de los acuíferos cuaternarios asociados y por tanto un mejor potencial aprovechamiento de los mismos. Actualmente CETAQUA está trabajando en este aspecto en varios proyectos de investigación en curso.

En los estudios hidrogeológicos mencionados se ha avanzado también en el conocimiento de la configuración geométrica de los acuíferos de la masa de agua Marbella-Estepona, con varios trabajos de geofísica y piezómetros de investigación que han permitido potenciar un

conocimiento de los acuíferos mucho más detallado, lo que ha permitido configurar y calibrar modelos de flujo de detalle de algunos sectores costeros, que es un nivel superior de conocimiento que nos permite, por ejemplo, estudiar el impacto en los acuíferos de diferentes escenarios climáticos o de gestión. Otro de los aspectos que permite constatar este tipo de trabajos es la compartimentación lateral de muchos de los sectores acuíferos, haciendo que el funcionamiento de los mismos pueda ser claramente diferente entre sí en función del régimen de explotación al que se vean sometidos. Este tipo de estudios puede ayudar, por tanto, a las administraciones a compartimentar la gestión de esas masas de agua allá donde tenga sentido técnico, mejorando la gestión de las mismas, pudiéndose realizar restricciones o proponer mejoras en aquellos sectores acuíferos donde realmente existe una problemática concreta.

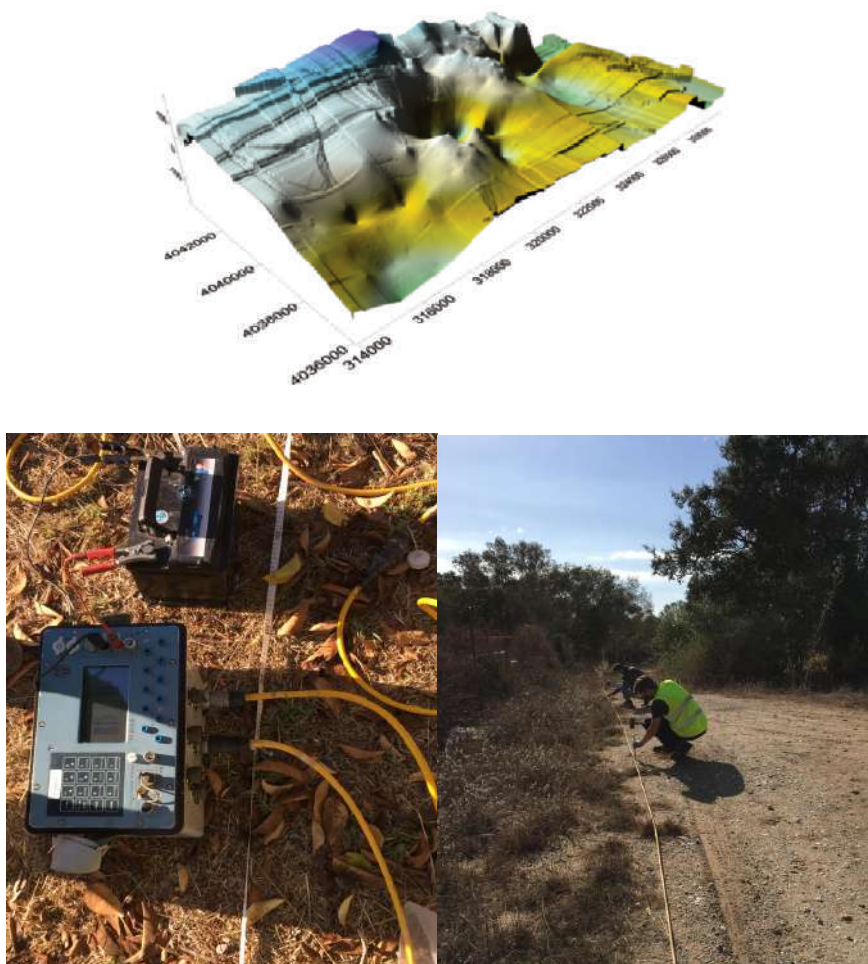


Figura 6. Ejemplo de modelo tridimensional de los acuíferos (arriba), obtenido a partir de trabajos de campo de geofísica (debajo) y piezómetros de investigación.

Todos estos estudios contribuyen a la mejora del conocimiento de los acuíferos que puede ser de gran utilidad no sólo para la propia operadora sino también para la Administración u otros usuarios. La realización de los mismos en colaboración con la Universidad garantiza la calidad técnica de los mismos, siendo en algunos casos la base para publicaciones científicas. También cabe destacar que muchos de estos trabajos se han realizado con la colaboración de estudiantes de máster en prácticas, lo que contribuye a su formación con trabajos aplicados.

6. OPERACIÓN AVANZADA DE SONDEOS

Desde el punto de vista de la innovación, a lo largo de los años se ha trabajado en diferentes aspectos como el uso de recubrimientos especiales para evitar la formación de biofilm en las rejillas de los sondeos, que es un problema habitual en muchos acuíferos, o el uso de técnicas de inteligencia artificial para la previsión de fallos en diferentes elementos del sondeo, con técnicas de aprendizaje basadas en datos históricos. Este es un campo que con la proliferación de la digitalización y, por tanto, la disponibilidad de mayor cantidad de datos, permitirá desarrollar nuevas técnicas de detección de fallos todavía con mayor anticipación a las actuales, o bien el uso de menos parámetros para hacer un seguimiento similar.

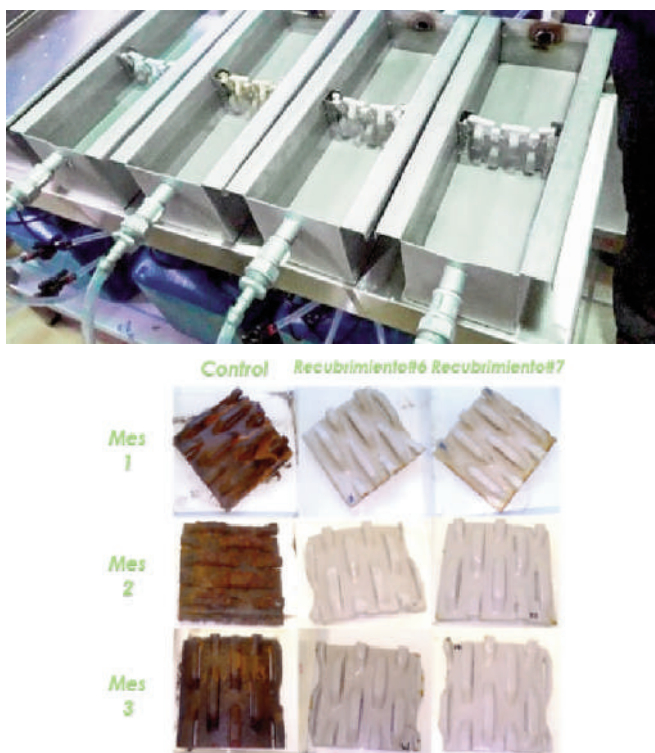


Figura 7. Ensayos de laboratorio con distintos recubrimientos de rejillas de sondeos

7. RECARGA GESTIONADA DE ACUÍFEROS

Hidralia viene apostando por la recarga de acuíferos desde hace cerca de 20 años, con un ejemplo en el sector del Señorío en Marbella donde se inyectan en un acuífero plioceno excedentes del manantial de Camoján, que brota en situaciones de lluvias intensas en invierno o primavera. El acuífero plioceno permite almacenarlos para ser extraídos en verano en condiciones de máxima demanda. Anualmente de media se están recargando a 100 m de profundidad en torno a 128.000 m³ mediante dos sondeos de 25 L/s.

En 2017 se puso en marcha otra experiencia de recarga, esta vez en el sector de Aloha, para el aprovechamiento en este caso de los excedentes del río Verde, ya sea por lluvias intensas o por desembalses de la presa de la Concepción que se encuentra aguas arriba. En este caso se utilizan sondeos del acuífero cuaternario que explotan el río; para ser inyectados mediante un sondeo profundo en el acuífero plioceno del sector Aloha. Con técnicas isotópicas se pudo realizar un seguimiento de la recarga a diferentes distancias del sondeo de inyección y se pudo comprobar el efecto positivo de la recarga en el acuífero plioceno.

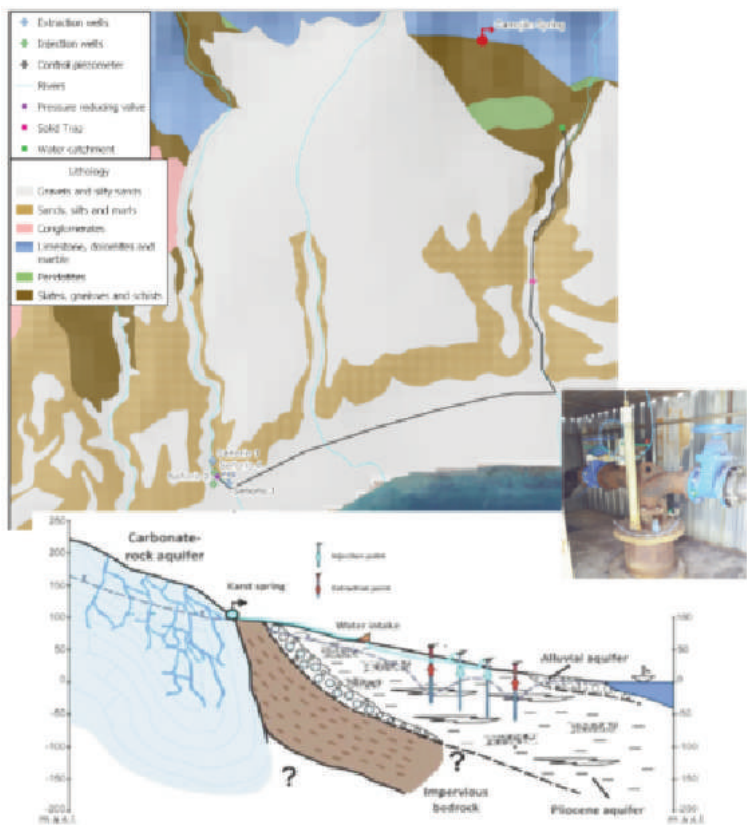


Figura 8. Recarga del sector del Señorío en Marbella con excedentes del manantial de Camoján

Con ánimo de poder extrapolar esta experiencia a otras zonas se ha trabajado en varios proyectos de innovación, tanto de iniciativa privada como de financiación pública, en una metodología para la estimación del potencial hidrogeológico de los acuíferos y del potencial de recarga gestionada, con recomendaciones de diferentes técnicas de recarga en función de diferentes aspectos. Esta metodología ha sido aplicada en diferentes zonas de la Costa del Sol Occidental y Oriental o del Poniente Almeriense.

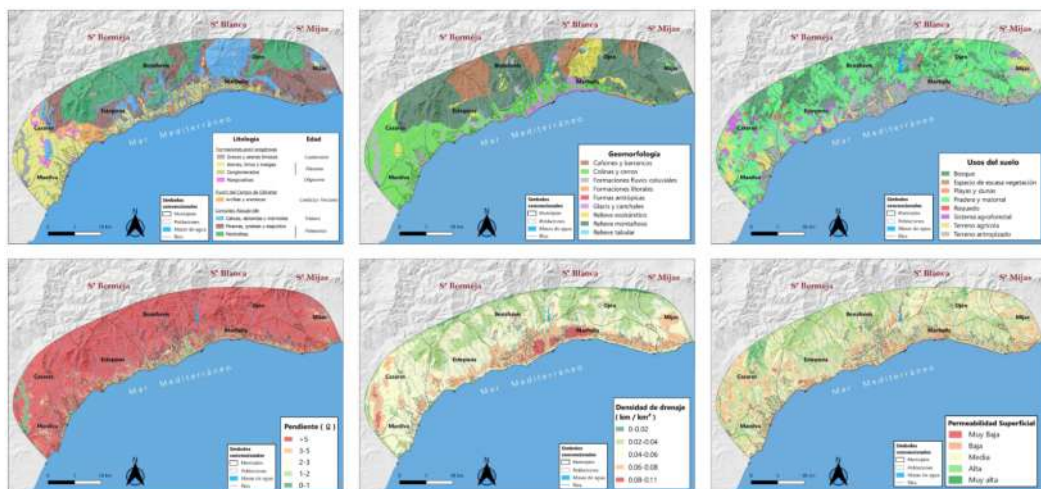


Figura 9. Ejemplo de análisis del potencial hidrológico mediante técnicas GIS

Los sistemas de recarga mencionados anteriormente son eficientes y aprovechan un agua de gran calidad que de otra manera se pierde al mar en situaciones de lluvias intensas. Pero en la práctica, el volumen de agua que se puede recargar de esta manera es relativamente pequeño y depende de la meteorología. Es por ello que otra línea de trabajo a nivel de innovación aplicada pasa por el uso de agua regenerada para la recarga de acuíferos. En este sentido Cetaqua Andalucía lidera un proyecto europeo, el LIFE Matrix, con Cetaqua Barcelona, ACOSOL y la Universidad de Málaga. El objetivo es demostrar la viabilidad técnica de la recarga de agua de un sistema terciario costero en Marbella, en la EDAR de la Víbora de ACOSOL, donde el agua será tratada adicionalmente en una balsa con plantas halófilas y en su paso al acuífero a través de un lecho reactivo diseñado para retener componentes específicos del agua. Además el proyecto desarrollará una herramienta para la gestión de la recarga, tanto en el ámbito operativo como de gestión del riesgo sanitario asociado. Este tipo de proyectos son clave para poder generar la confianza necesaria tanto en las Administraciones competentes como en la población en general. Como contexto, solamente en la Costa del Sol hay una capacidad de regeneración de agua de 40 hm³/año, de los cuales se aprovechan para riego de campos de golf poco más del 10%.

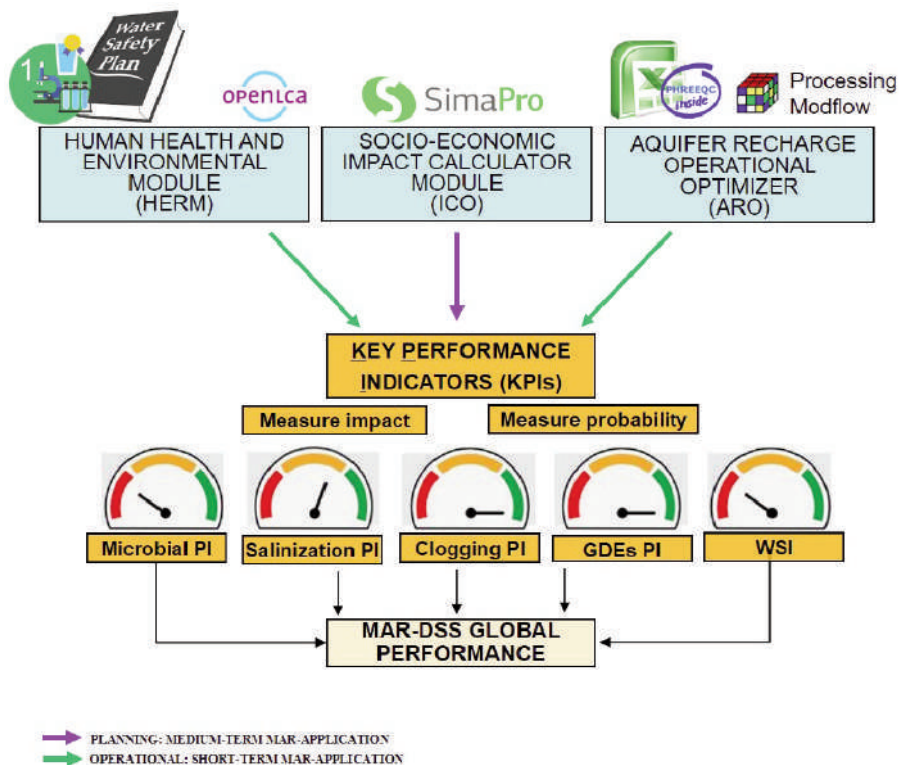


Figura 10. Esquema funcional del Sistema de Ayuda a la Decisión (DSS) de LIFE Matrix.

8. GESTIÓN CONJUNTA DE RECURSOS HÍDRICOS

Hidralia apuesta por la gestión conjunta de recursos hídricos, que debe ser analizada y adaptada a la realidad de cada cuenca. Para ello cuenta con una herramienta de gestión, Smart Basin Management, que permite tener una visión integrada de la oferta de recursos hídricos y demandas de la cuenca.

Respecto a la innovación se está trabajando en diferentes aspectos para otorgar al operador de mejores datos para la toma de decisiones. Un ejemplo de ello es la línea de trabajo con modelos predictivos basados en aprendizaje automático o machine learning, que nos permiten modelizar a futuro el comportamiento de diferentes variables como el agua embalsada, los niveles piezométricos o los indicadores de gestión como el SPI o los índices de escasez. Esas mismas técnicas pueden utilizarse para modelar el comportamiento de la demanda esperada. Todo ello permite poder adaptarse ante situaciones de escasez anticipando decisiones operativas antes de que los diferentes niveles de alerta por escasez se vayan activando.

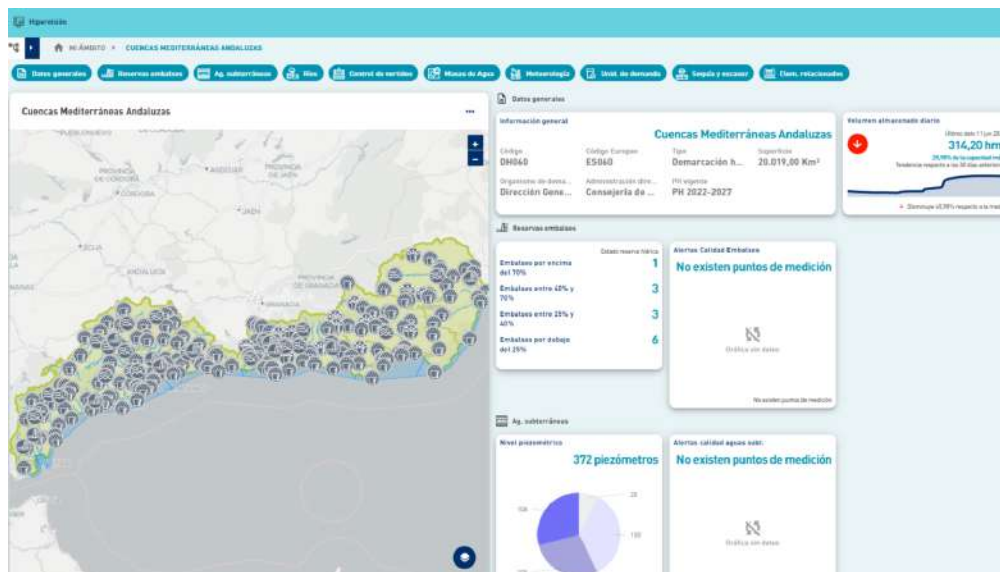


Figura 11. Vista de hipervisión de las cuencas mediterráneas Andaluzas.

Otro de los aspectos en los que se está trabajando actualmente es en el desarrollo de nuevos indicadores de escasez que tengan en cuenta el agua subterránea, dado que en general únicamente se tiene en cuenta la disponibilidad de agua superficial, a pesar de que en muchas zonas el agua subterránea supone un elevado porcentaje del recurso hídrico utilizado. Esto va en línea con una reclamación histórica de los expertos en agua subterránea que reclaman que la misma sea considerada adecuadamente en los Planes Hidrológicos o en la gestión de recursos en las Comisiones de Sequía.

Por último, en esta gestión conjunta de recursos juega un rol fundamental la *gobernanza*. En este aspecto Cetaqua ha desarrollado numerosos proyectos en torno a esta temática. Las autoridades están apostando por implementar las Comunidades de Usuarios de Masas de Agua Subterránea (CUMAs), como paso necesario para poder implementar de manera decidida un cambio de paradigma en la gestión de las aguas subterráneas, mediante colaboración entre todos los usuarios de las mismas. Aquí también la innovación puede jugar un rol importante a la hora de experimentar con diferentes escenarios de gestión, aportando las experiencias previas en otras zonas de España o del mundo. Un ejemplo de esto es el proyecto PRIMA Gotham, liderado por Cetaqua Andalucía con piloto en el Poniente Almeriense, donde se desarrolló una metodología de evaluación de la gobernanza y una herramienta específica para promover la compartición de datos en el marco de una CUMA, con buenos resultados en esta filosofía de gestión "bottom-up", desde los usuarios hacia las Administraciones competentes. Sin duda en los próximos años la conformación de CUMAs generará innumerables oportunidades de innovación en torno a la gobernanza de masas de agua subterránea.

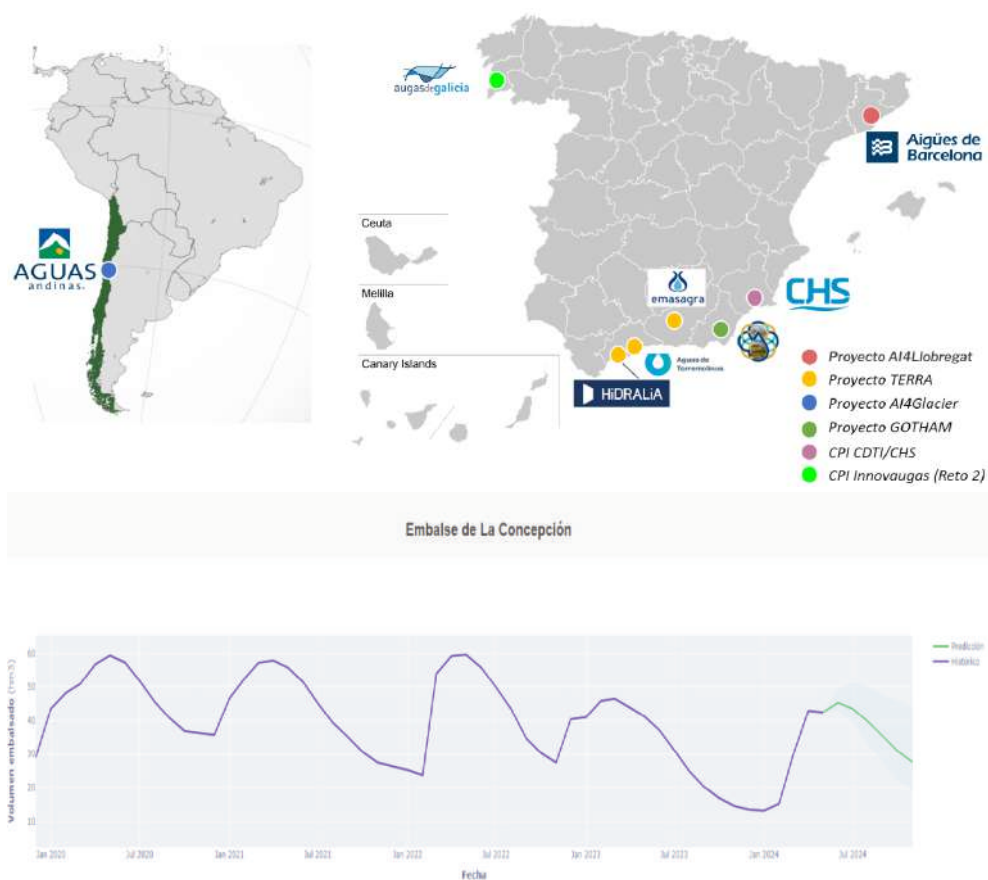


Figura 12. Resumen de pilotos con modelos predictivos de recursos hídricos y ejemplo de simulación para el Embalse de la Concepción en Marbella.

9. CONCLUSIONES

Hidralia ha demostrado que su apuesta por la innovación aplicada a través de un modelo de colaboración público-privada como el de Cetaqua se puede dar un salto cualitativo en el conocimiento y gestión de las aguas subterráneas por parte de las operadoras de agua, no sólo mejorando sus operaciones, sino aportando con ello un valor a la sociedad y el territorio en el que operan. La conformación de las tan necesarias CUMAs supondrá un renovado escenario para poder aportar esta filosofía de gestión al resto de usuarios del territorio, constituyendo con ello una oportunidad que debemos aprovechar.

Sin duda alguna la aprobación del PAAS (Plan de Acción de Aguas Subterráneas) en julio de 2023 supone una enorme oportunidad para la mejora del conocimiento y gestión de estas

Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación.
M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafuella, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.)

aguas en España. Desde Hidralia y el grupo Agbar/Veolia esperamos que se apueste por mecanismos de colaboración público-privada que posibiliten la participación del sector privado en el Plan, lo que sin duda multiplicaría su impacto en el territorio.

Rubio Campos, J. C., 2025. Oportunidades de las aguas subterráneas en el marco del plan de acción. Recurso estratégico. Recurso ambiental. Reflexiones sobre la recarga artificial de acuíferos. En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafuella, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volúmen XXXI, pp. 73-88. Madrid.

OPORTUNIDADES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL MARCO DEL PLAN DE ACCIÓN. RECURSO ESTRATÉGICO. RECURSO AMBIENTAL. REFLEXIONES SOBRE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

Juan Carlos Rubio Campos¹

¹ Consejo Asesor del Club del Agua Subterránea.
juancarlos.rubiocampos@gmail.com

RESUMEN

Se hace una serie de consideraciones sobre la oportunidad que ofrece el desarrollo del Plan de Acción de Aguas Subterráneas, elaborado en 2023 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para las Cuencas Intercomunitarias, en la mejora del conocimiento hidrogeológico y digitalización, el impulso al programa de seguimiento de las redes de control, la protección de las Masas de agua subterránea (Masub), y la mejora en la gobernanza. Se reflexiona sobre la importancia de las aguas subterráneas como recurso estratégico, como recurso ambiental y el empleo de la recarga artificial.

Palabras Clave: aguas subterráneas, recurso estratégico, recurso ambiental, recarga artificial, Plan de Acción de Aguas Subterráneas.

1. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU IMPORTANCIA COMO RECURSO ESTRATÉGICO

1.1. Generalidades

La importancia de las aguas subterráneas llevó a Naciones Unidas a celebrar el Día Mundial del Agua de 2022 bajo el lema "Aguas Subterráneas, hacer visible lo invisible".

Las aguas subterráneas constituyen un recurso natural escaso, de gran valor económico y ambiental. Con ellas se abastecen en España más de 12 millones de habitantes y se riegan más de 900.000 hectáreas. A la vez, constituyen el soporte de valiosos ecosistemas y otros espacios de especial interés ambiental, paisajístico, cultural o recreativo (Manifiesto fundacional por la Hidrogeología, Club del Agua Subterránea 1994). Los volúmenes almacenados en la península deben superar los 80.000 hm³ y los recursos renovables deben alcanzar cerca de 26.500 hm³ (SIMPA).

El Plan de Acción de Aguas Subterráneas (MITERD, 2023) destaca para este tipo de aguas: *Su distribución por la mayor parte del territorio, su capacidad de almacenamiento (ausencia casi total de evaporación), su papel estratégico en situaciones de sequía (en las que no se ven afectadas como las aguas superficiales) y su papel esencial en el mantenimiento del caudal de los ríos, de ecosistemas acuáticos y de los márgenes de ribera y humedales.*

El papel de las aguas subterráneas es decisivo desde el punto de vista *socioeconómico* tanto para *garantizar el abastecimiento* de agua de calidad a la población como para la *industria, regadío o minería*.

A escala mundial, las aguas subterráneas proporcionan la mitad del volumen de agua para uso doméstico y el 25% para agricultura que se aplica sobre el 38% de las tierras de regadío (UNESCO, 2022). En la Unión Europea, el agua subterránea supone el 65% del volumen para abastecimiento urbano y el 25% para agricultura de regadío (EEA, 2022).

Las aguas subterráneas (la parte de todos los recursos hídricos que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra), si exceptuamos el hielo de los polos, representan más del 95% de las reservas mundiales de agua dulce. Dadas sus ingentes reservas y su amplia distribución geográfica, su buena calidad en general y su resistencia ante las fluctuaciones estacionales y la contaminación, las aguas subterráneas representan *una garantía de que la población mundial actual y futura* contará con un abastecimiento de agua asequible y seguro. Las aguas subterráneas son predominantemente un recurso renovable que, cuando se gestiona adecuadamente, garantiza un abastecimiento a largo plazo que contribuye a atender las crecientes demandas y a *mitigar los impactos del cambio climático previsto*. En términos generales, el desarrollo de las aguas subterráneas requiere una *inversión de capital menor* que el desarrollo de las aguas superficiales y se puede poner en práctica en un plazo de *tiempo más corto*. Las aguas subterráneas han proporcionado grandes beneficios a muchas sociedades en las últimas décadas a través de su uso directo como fuente de agua potable, mediante su utilización en la agricultura de regadío y el desarrollo industrial e, indirectamente, a través del mantenimiento del ecosistema y de los flujos de agua. El aprovechamiento del agua subterránea supone con frecuencia un *medio rápido y asequible de combatir la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria*. Además, entendiendo la naturaleza complementaria de las aguas superficiales y subterráneas, podrán aplicarse estrategias de gestión hídrica integral que permitan promover el uso eficaz del agua y prolongar su abastecimiento (Declaración de Alicante, enero de 2006. Agenda de acción resultado de los debates en el marco del Simposio Internacional para el Uso sostenible de las Aguas Subterráneas ISGWAS).

Hay que asimilar que *los acuíferos son verdaderos embalses subterráneos*, que presentan unas aportaciones naturales, que serían las entradas anuales al acuífero (denominadas recursos renovables y que se deben a la lluvia); una capacidad de embalse (son las denominadas reservas) y un aliviadero de embalse (son los manantiales) en el caso de los acuíferos que coincidiría con la parte superior de la cerrada de una presa o aliviadero. Los terrenos que actúan como almacén de las aguas subterráneas ocupan importantes extensiones en superficie, frente a la distribución generalmente lineal de ríos y embalses.



Embalse del Negratín.



Humedales en Sierra Gorda.

De no existir explotación de las aguas subterráneas, la situación es similar a la de un embalse lleno, cuya agua de entrada por los cauces estuviera rebosando permanentemente por el aliviadero de la presa, por lo que la capacidad del embalse subterráneo no serviría para ejercer su posible función, que es la regulación y la satisfacción de las demandas asociadas mediante la adaptación de la oferta del agua (recursos renovables) de los embalses subterráneos, a la demanda anual e interanual.

Para los acuíferos, se llaman *reservas en términos de volumen*, a la *totalidad del agua movilizable* existente utilizando criterios geológicos, de porosidad y permeabilidad de la formación y criterios técnico-económicos. El límite superior de las reservas se debe tomar en coincidencia con el límite superior saturado, considerando el agua disponible como el producto del volumen por la porosidad media de la formación. Los recursos se refieren al volumen renovable anual medio ($\text{hm}^3/\text{año}$) en régimen de equilibrio, es decir, sin disminución de las reservas a largo plazo.

Las aguas superficiales se caracterizan por presentar una descarga considerable y un reducido almacenamiento; las subterráneas, por el contrario, presentan una circulación lenta (agua entretenida), con salidas naturales al medio aéreo en días, meses o años después de la lluvia que la originó, con unos volúmenes de almacenamiento natural muy importantes. Las aguas superficiales están más expuestas a la contaminación que las subterráneas, dada la presencia del terreno que actúa como filtro al paso del agua desde la superficie en el proceso de infiltración.

1.2. Sobre las aguas subterráneas, las sequías y el incremento de la garantía y la disponibilidad de recursos.

El agua subterránea, por su naturaleza y ubicación, constituye un *recurso estratégico*, pues las grandes reservas acumuladas superan en varias veces los recursos renovables anualmente y *permiten asimilar mejor los ciclos meteorológicos desfavorables*.

Existe una serie de factores que facilitan su utilización: su amplia distribución geográfica que los sitúa próximos a los centros de consumo; su fácil adaptación a la demanda hídrica, aumentando o disminuyendo su consumo con facilidad, dependiendo de la época del año ya que pueden satisfacer de modo rápido y eficaz excesos puntuales en la demanda; su uniformidad en la calidad a lo largo del tiempo y su protección ante agentes contaminantes.

Desde un punto de vista conceptual *deben considerarse como periodos de sequía, no sólo aquellos ligados a la escasez de precipitaciones y/o el estado de almacenamiento de los embalses, sino las tendencias hacia mínimos en la evolución de los drenajes de los manantiales y en los niveles piezómetros, de la red de control de las aguas subterráneas, más aún en aquellos acuíferos y masas de agua cuya explotación es inexistente o casi inexistente (Espacios naturales de cabecera de cuencas hidrográficas y reservas naturales subterráneas).*

La presencia de embalses con pocas reservas acumuladas no siempre se debe a una situación de sequía. Puede ser debido a desembalses en centrales eléctricas, consumo excesivo de los usuarios del embalse, colmataciones, deficiente gestión, etc.

Dice el refranero que “*todo el mundo se acuerda de Santa Bárbara cuando truena*”. Algo parecido ocurre con las aguas subterráneas cuando llegan las sequías. Se trabaja intensamente para paliarlas cuando ya no tienen remedio, improvisando sin un suficiente soporte técnico y sin una planificación adecuada.



Humedal en Cubeta de sobreescavación glaciar (Sierra Nevada).



Drenaje con humedad asociado a morrena lateral en glaciar de Sierra Nevada.

Así lo han vivido los hidrogeólogos en la península, en las sequías anteriores (1980-1983, 1990-1995, 2003-2006, 2013-2016, 2021-2023) que observan cómo, una vez vuelve la lluvia, las aguas subterráneas vuelven a caer en el olvido, quedando numerosas obras, ya realizadas con motivo de la sequía, abandonadas y otras muchas, previstas, sin realizar. Lo rentable es mantener en buena disponibilidad de uso las obras ya realizadas y completar las previstas para incorporarse a los sistemas de aprovechamiento de forma inmediata, en previsión

de la próxima sequía, pues lo que no se conoce en profundidad es cuando llegará esta, pero lo que es seguro es que llegará.

La planificación ante escenarios de sequía y la mejora de la garantía de los suministros con la ejecución de obras para el uso de las aguas subterráneas se deben realizar en periodos de bonanza hidrológica.

En un escenario como este de cambio climático, con sequías frecuentes, más que nunca se debe favorecer la utilización de las aguas subterráneas en combinación con las superficiales, identificando los sectores de las masas de agua que deben reservarse como estratégicas para garantizar los abastecimientos urbanos e industriales y los regadíos de emergencia.

La programación de un incremento excepcional en la utilización de las aguas subterráneas debe apoyarse en un sistema de alerta temprana ante el cambio climático que deberá tener su base, entre otras consideraciones, en la evolución de caudales en los manantiales en diferentes contextos geológico-hidrogeológicos, estudiando las tendencias en los caudales drenados, en la piezometría y en las variaciones de las entradas por lluvia - respuesta en forma de salidas por manantiales. Si queremos tener una labor preventiva ante las sequías, las simulaciones sobre el impacto climático en las masas de agua subterránea deberán basarse en las redes de control que, a día de hoy, son muy deficientes, por densidad de puntos, representatividad y falta de series de larga duración representativas.

Es necesario resaltar que en el caso de la utilización intensiva de las aguas subterráneas ante sequías excepcionales, *se debe potenciar la recarga natural forzada o artificial* y esta debe contemplarse como un elemento clave en el mantenimiento de la garantía, mejorando la regulación de las Demarcaciones Hidrográficas y la disponibilidad de agua, aprovechando la gran capacidad de almacenamiento de los acuíferos. Así, en países como Bélgica, Holanda, Alemania, Estados Unidos o Australia, la recarga artificial es una potente herramienta de gestión.

La realidad es que, en los Planes Especiales de Sequía, salvo excepciones puntuales, apenas se contempla el papel tan relevante de las aguas subterráneas. La incorporación de las aguas subterráneas como elemento clave en los periodos de sequía y, de forma habitual, para los abastecimientos urbanos, está acorde con las directrices marcadas para la transición ecológica, la economía circular y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático con propuestas de uso respetuoso con el medio ambiente, la preservación de ecosistemas, la biodiversidad y la contaminación.



Gallipato en humedal de Sierra Gorda (Granada).



Marrovertebrados dependientes de humedales menores.

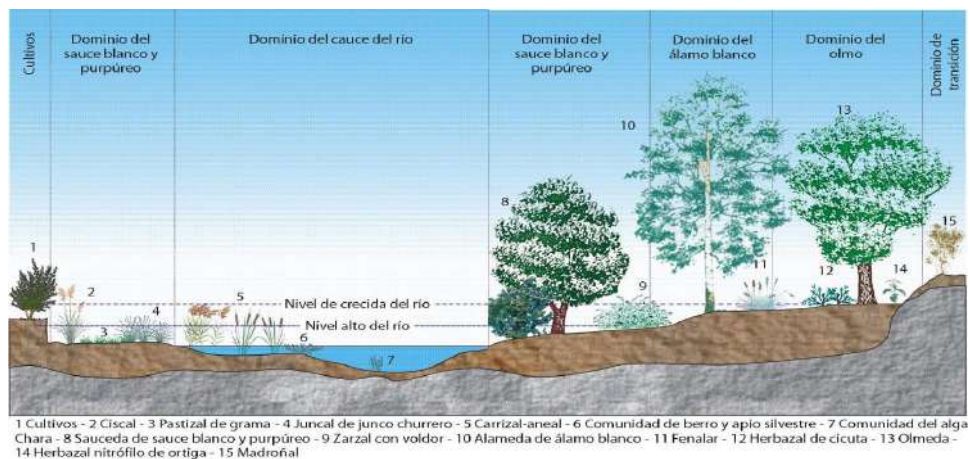
2. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO RECURSO AMBIENTAL

Desde un punto de vista ambiental, las aguas subterráneas son el sustento de ríos, manantiales y de muchos humedales, criptohumedales y ecosistemas de gran valor.

Como aportación al medio ambiente de las aguas subterráneas deben entenderse las aportaciones al caudal de los ríos, al mantenimiento del caudal ecológico, a la conservación del ecosistema de ribera, al mantenimiento de zonas húmedas de gran entidad como las recogidas en los inventarios de zonas húmedas de las comunidades autónomas y a la conservación de zonas húmedas de menor entidad (áreas de drenaje difuso de acuíferos poco extensos, drenajes en márgenes de ribera, pastizales en áreas de montaña en relación con circulación sub-superficial, navas, zonas con procesos de generación de turberas incipientes, rezumes en paredones rocosos, etc.).

Durante la época húmeda, los caudales circulantes por los ríos son la suma de los procedentes de los manantiales y áreas de descarga natural y las aguas de escorrentía superficial; durante el estiaje, en muchos casos, únicamente permanecen los primeros por lo que se los conoce como “*caudal base*”.

Muchos ríos se verían secos si no estuvieran alimentados por agua subterránea. El agua subterránea se hace visible también en la conservación de la vegetación freatofita y en la riqueza biológica y ecológica de los criptohumedales.



Vegetación de ribera (bandas paralelas al eje del cauce). Fuente: IGME-Junta de Andalucía.
Guías del agua subterránea en los parques naturales.



Junco churrero.



Ninfa de perlo.

Hoy en día se debe admitir que el término de zona húmeda debe englobar también aquellas zonas de especial interés ambiental asociadas a formaciones superficiales, bien en márgenes de ribera, bien en formaciones de montaña donde la flora y fauna dependen del régimen de humedad del sustrato. Estas formaciones constituyen acuíferos de escasa entidad en cuanto a los recursos renovables (verdaderas islas); si bien presentan flujo subterráneo y un régimen de entradas y salidas (terrazas aluviales, coluviones de ladera, formaciones periglaciares, depósitos glaciares, etc.).



Humedal de alta montaña por cierre glaciar.



Gallipato (*Pleurodeles Walti*).

Así, los *isleos de vegetación* que se ven por muchos sectores asociados a manantiales, *rezumes*, *navas*, *zonas con turba incipiente*, *áreas húmedas abandonadas*, ocasionalmente inundadas en periodos de crecida, *zonas de carrizo y juncos*, constituyen ecosistemas que conforman paisaje y son lugares donde la *vegetación*, similar a la de zonas húmedas tradicionales, es refugio de especies singulares (terrestres y acuáticas) muy sensibles a la actuación humana y al cambio climático que nos amenaza.



Vegetación asociada a zonas de turbera en Sierra Nevada.



Musgos, hepáticas y helechos cobran protagonismo en las comunidades de rezumes. Fuente: IGME-Junta de Andalucía. Guías del agua subterránea en los parques naturales.



Culantrillo del pozo. El helecho más típico en estos ambientes. Fuente: IGME-Junta de Andalucía. Guías del agua subterránea en los parques naturales.

3. REFLEXIONES SOBRE LA RECARGA ARTIFICIAL

3.1. Sobre los conceptos básicos asociados a la recarga

La recarga artificial consiste en *la infiltración programada en el terreno de más recursos de agua que los que se introducen de forma natural en un acuífero o masa de agua mediante balsas de infiltración en superficie, sondeos, pozos y pantallas en cauces, acequias o recarga indirecta a través del efecto llamada por bombeos limítrofes a cauces.*

Utilizando la gran capacidad de almacenamiento de los acuíferos, se provoca una elevación de niveles en el acuífero y un retardo en el tiempo en las salidas naturales a los cauces superficiales, lo que supone, de hecho, la posibilidad de que *los caudales ambientales puedan garantizarse en la época estival, así como el ahorro energético a la hora de los bombeos y un incremento destacado en la garantía de los usos asociados, bien los urbanos, el regadío o la industria.*

Además de un uso directo y un incremento muy notable en la garantía y disponibilidad del recurso es preciso incidir en que su aplicación, como *uso no consuntivo del agua*, debe contemplarse como un elemento sustancial en la adaptación al cambio climático de los ecosistemas terrestres y acuáticos asociados a los cauces, nacimientos de agua y zonas húmedas en sentido amplio (humedales asociados a cauces o drenajes de ribera, ecosistemas de ribera, humedales mayores, áreas de drenaje de acuíferos de pequeña extensión, áreas de montaña, navas, turberas, rezumes en paredones rocosos, etc.).

Así, la recarga artificial debe contemplarse como un *elemento clave en la gestión* de las masas de agua subterránea, en especial en lo que conlleva a las acciones necesarias para la *resiliencia y adaptación al cambio climático de los ecosistemas acuáticos, el mantenimiento de la garantía de usos y especialmente los abastecimientos urbanos*, en lo que supone de mejora de la *regulación* y en el *cumplimiento de los objetivos medioambientales* de las masas de agua (recuperación de niveles y de la calidad del agua).

3.2. Objetivos de la recarga

- Mejora en la adaptación al cambio climático de los ecosistemas asociados al recurso hídrico (resiliencia).
- Incremento de la regulación natural utilizando el volumen de embalse subterráneo (retardo controlado desde la entrada en el acuífero/inyección-salidas naturales).
- Mejora de la garantía del caudal ambiental de ríos, manantiales y zonas húmedas mayores y menores al retardar en el tiempo las salidas naturales que permitirán mayores caudales en el estío.
- Mejora de la garantía de los usos asociados a las masas de agua subterránea y superficial tras su drenaje a los cauces.
- Lucha contra la intrusión salina.
- Posibilitar el cumplimiento de objetivos medioambientales en las masas de agua subterránea (restitución de niveles y mejora de la calidad).
- Utilizar el poder depurador del terreno en la zona no saturada (filtros verdes, infiltración directa de ARU).
- Lavado de la zona no saturada en accidentes contaminantes (hidrocarburos y otros).
- Ahorro y eficiencia energética al elevar niveles en las masas de agua subterránea.
- Incremento de recursos hídricos disponibles al introducir en los embalses subterráneos recursos de agua no regulados por los embalses en épocas de excedentes. Es preciso incidir en el gran incremento de los últimos años en la irregularidad de las lluvias y en las aportaciones de agua que se vienen produciendo (sequías e inundaciones), más aún en un país como España y en un escenario de cambio climático.
- Mayor preservación de los volúmenes almacenados dadas las menores pérdidas por evapotranspiración, al estar la lámina de agua oculta bajo el suelo.

3.3. Sobre lo que supone la recarga artificial en un escenario de cambio climático

El cambio climático va asociado a un gran incremento en la *irregularidad* de las aportaciones naturales derivadas de la lluvia, a la vez que a la escasez de recursos hídricos en numerosas subcuencas de nuestra geografía.

La forma en que llueva en el futuro cercano, junto a la elevación de las temperaturas y la mayor tasa de evaporación, implica un reto en la necesaria adaptación de los ecosistemas asociados al agua, de ríos, manantiales y zonas húmedas, a la vez que en la garantía de las demandas para los diferentes usos.

Esta situación requiere incrementar la garantía, a la vez que una mejora de la regulación, allí donde sea posible, utilizando la *posibilidad de almacenar agua en periodos de disponibilidad* en los embalses subterráneos, elevando el nivel freático de las aguas subterráneas que, a su vez, influirán positivamente en el drenaje de ríos y ecosistemas asociados.

La recarga artificial constituye una técnica de especial relevancia en determinadas circunstancias, en consonancia con las directrices marcadas para la transición ecológica, la economía circular, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, la Ley de Cambio Climático y Transición Ecológica (20/5/2020) y el Pacto Verde Europeo.

Este último persigue como ejes fundamentales: el respeto por el medio ambiente, la preservación de ecosistemas y la biodiversidad, la mejora en la eficiencia energética, la economía circular, etc.



Laguna obturada por tillitas frontales de cierre en un glaciar.



Criptohumedal con desarrollo de césped almohadillado en alta montaña.

3.4. Sobre las aguas subterráneas en España y las experiencias de recarga

Es conocido que el agua subterránea, por su naturaleza y ubicación muy generalizada en todo el territorio de la España peninsular e insular, constituye un recurso estratégico, pues sus grandes reservas acumuladas, que superan en tres o cuatro veces los recursos renovables anualmente, y la gran capacidad de embalse subterráneo *permiten de forma natural asimilar mejor los ciclos climatológicos desfavorables*.

La recarga artificial ya se utilizaba en China en el año 221 a.C. Destaca el gran desarrollo en Estados Unidos desde la década de los años sesenta (Míchigan, Arkansas, etc.), Países Bajos, Finlandia, Alemania y Australia.

Existen numerosos ensayos en España sobre recarga artificial. No obstante hay que destacar la realización de recarga artificial a partir de acequias (careos) en Sierra Nevada, en torno al año 1000 de nuestra era, y algunas realizaciones en la Cuenca del Guadalquivir (Vega de Granada, aluvial del Guadalquivir, Mancha Real, Guadix, Gracia Morenita, Alcalá la Real, etc.), Duero (Oja en La Rioja, Carracillo, Cubeta de Santiuste, Valle del Esgueva), Cuenca del Tajo (canal de Isabel II), aluvial del Besoós y Delta del Llobregat, Llano de Palma, Plana de Gandía-Denia y Costero Catalanas.

A modo de ejemplo de la importancia que tiene la recarga artificial en un estado con un clima muy parecido al nuestro, con grandes periodos de sequía tipo Mediterráneo, ALVAR ESCRIVA_BOU del Instituto de Medio Ambiente y Sostenibilidad UCLA USA (27/2/24) señala para California que:

- La recarga de acuíferos es *la gran esperanza para el incremento del recurso disponible en California*.
- Estrategia *Flood-MAR (recarga gestionada)*.
- En invierno de 2023 se recargaron 4700 hm³. - La recarga *conlleva beneficios ambientales, disminución de riesgos de inundación, etc. bancos de agua, embalses subterráneos gestionados localmente*.
- La *capacidad de reservas de estos bancos se está incrementando significativamente*.
- Los bancos funcionan como depósitos o embalses.
- Los *usuarios guardan el agua y tienen derecho a sacarla (con un coste)*.
- Concepto *Net metering*. Los participantes que *infiltran agua obtienen un crédito*. Si generas más de lo que consumes envías agua excedente de ese banco a la red.

4. MEDIDAS QUE SE PROPONE ADOPTAR EN EL FUTURO EN EL MARCO DEL PLAN DE ACCION

El Plan Hidrológico Nacional establece la elaboración de un Plan de Acción en materia de aguas subterráneas en la cuencas intercomunitarias. Este Plan debe permitir el aprovechamiento sostenible, incluyendo los programas de mejora del conocimiento hidrogeológico, la protección y ordenación de acuíferos y aguas subterráneas y la mejora en la gestión y gobernanza.

Profundizar en el conocimiento de acuíferos y masas de agua subterránea es uno de los objetivos clave, por lo que es preciso indicar que en gran parte de las masas de agua subterránea se dispone, hoy en día de una información hidrogeológica escasa, debido a la insuficiente red de control actual y a la utilización, para muchos acuíferos, de información procedente de las décadas de los años ochenta o noventa.

Así se considera necesario:

- Abordar con urgencia las labores contenidas en el Plan de Acción, con el objetivo de llegar a una *mejora sustancial del conocimiento general* de las masas de agua subterránea

(geometría, interrelación entre masas, cartografía, reconocimiento de diferentes niveles acuíferos en la vertical de las mismas, información hidroquímica, isotópica, mejora en el conocimiento del balance, usos del agua, etc.).

Una guía orientativa sobre las necesidades de mejora del conocimiento venía recogida en el "Programa Estatal de Actualización del Inventario Hidrogeológico PAIH (1996) propuesto en su día dentro del programa de actuaciones entre la Dirección General del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España.

- Profundizar en el conocimiento de las *relaciones río-acuífero* como factor clave en el mantenimiento de los caudales ecológicos.
 - *Analizar la recarga artificial como un uso no consuntivo del agua*, con objeto de mantener la garantía de los usos existentes, en especial los abastecimientos urbanos y el cumplimiento de objetivos medioambientales (recuperación de niveles y de la calidad del agua). La utilización de aportaciones hídricas para recarga artificial se considera imprescindible, en un país como España, donde la irregularidad climática es grande, con alternancias de periodos secos y húmedos. En multitud de países, la utilización de la recarga artificial es pieza básica en la gestión y corrección de situaciones indeseables por lo que representa en la mejora de la regulación y satisfacción de la demanda.
- Desde el punto de vista de la utilización de las aguas subterráneas y su combinación con la recarga, se pueden apuntar varias *ventajas*:

- El almacenamiento del agua bajo el suelo *evita pérdidas por evaporación*.
 - La utilización coordinada aguas subterráneas-superficiales *minimiza el potencial impacto de la sequía en la regulación de las cuencas*. El cambio climático está provocando una mayor irregularidad en las aportaciones a los embalses tradicionales disminuyendo su capacidad de regulación.
 - *Aumenta la garantía* en la disponibilidad del recurso, pues las aguas subterráneas soportan mucho mejor los ciclos de sequía.
 - Su utilización, junto a labores complementarias de recarga artificial, allí donde sea posible, *posibilita el cumplimiento de objetivos medioambientales*, restituyendo niveles y mejorando la calidad del agua, además de incrementar la regulación por lo que supone de retardo desde la entrada del agua a los acuíferos –salidas naturales.
- Análisis preliminar del papel que desempeñan las aguas subterráneas en acuíferos limítrofes al cauce fluvial y en la *potencial recuperación del funcionamiento ecológico de ríos deteriorados a través de su conexión longitudinal y transversal*.
 - Refuerzo de las medidas de estimación de la explotación de las aguas subterráneas con contadores directos e indirectos, complementario a otras estimaciones como la teledetección, utilizando el método de la evaluación de extracciones en sondeos y pozos, a partir del *contador de energía eléctrica*, estableciendo la relación m³/kwh consumido, que permite reconstruir el caudal de bombeo de los últimos años.
 - Realización de un estudio complementario que permita profundizar en el impacto del cambio climático sobre los acuíferos a partir de la creación de dos *redes específicas de control en relación con el cambio climático*:
 - Una red, a modo de laboratorio experimental, en manantiales no influenciados por la explotación o la contaminación, en diferentes contextos geológico/hidrogeológicos

(calizas, dolomías, areniscas, detríticos, cuarcitas, etc.) que permita controlar la respuesta de la variación de entradas por lluvia-respuesta en forma de salidas por manantiales-variaciones de hidroquímica, en las diferentes áreas climáticas de la España peninsular e insular.

- Una red experimental que permita seguir las variaciones de la relación rio-acuífero en tramos ganadores o perdedores que sean representativos de las potenciales variaciones futuras en el régimen de aportaciones, acorde con las predicciones del cambio climático.



Desarrollo de un humedal por obturación glaciar de un arrollo de montaña (S. Nevada)



Lago de alta montaña entre umbrales de un valle glaciar

Entre otros sectores, el control de los caudales que se drenan en las *reservas naturales* subterráneas se considera de especial relevancia para evaluar el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos subterráneos. El análisis de la evolución de los caudales es de especial interés al constituir sectores en estado prístino, con apenas presiones de explotación o contaminación. Su distribución en diferentes ámbitos climáticos de la España Peninsular, a la vez que en diferentes contextos geológicos/hidrogeológicos, permitiría conocer los cambios que se producirán, acorde con las predicciones contempladas para España sobre el cambio climático.

Se trata de hacer un seguimiento en el tiempo de *las variaciones en la relación lluvia-caudal-variaciones en la hidroquímica, del agua aportada a los cauces superficiales como drenaje natural de los acuíferos*, para lo que será imprescindible el control de las entradas a partir de la lluvia y nieve caída en las áreas de recarga.

Este control debe llevarse a cabo mediante la instalación de estaciones meteorológicas tipo, así como mediante la construcción e instalación de secciones en los tramos de cauces ganadores y en manantiales para control en continuo, tal como se ha venido desarrollando en dife-

rentes proyectos hidrogeológicos previos: Sierra de Cazorla-Sierra de Segura, acuífero del Carcabal en La Peza, Sierra de Castril, etc.

El control de estas variaciones, junto con el control de toda una serie de manantiales significativos y áreas de drenaje en acuíferos apenas influenciados por el hombre, permitirá avanzar notablemente en el análisis del impacto del cambio climático sobre las aguas subterráneas.

- Se propone analizar el *efecto de las modernizaciones en zonas de regadío sobre las entradas naturales a los acuíferos* por impermeabilización de cauces, derivación de acequias fuera del área de infiltración natural de cabecera, disminución de retornos de regadío, etc.
- Se propone *establecer un sistema de alerta temprana, específico para los acuíferos*, ante periodos de sequía, sistema que se apoyara en la red experimental de manantiales propuesta para el análisis de la evolución de los acuíferos ante el cambio climático. Este sistema controlará la variación de las entradas por lluvia-respuesta en forma de salidas por manantiales, así como se apoyará en el análisis de la evolución de tendencias sobre drenajes, piezometría y variación de volúmenes almacenados a lo largo del año hidrológico. Se considera prioritario establecer *las curvas de embalse subterráneo y la evolución de las reservas útiles para las aguas subterráneas en los periodos de sequía*.
- Es preciso considerar los *impactos del agua residual urbana procedente de pequeños núcleos urbanos sin depuración adecuada, así como las presiones existentes (derivaciones de acequias, uso excesivo de fitosanitarios, aplicación de nitratos) sobre cauces / acuíferos aluviales* subyacentes en tramos de cabecera de cuencas hidrográficas de elevado interés ambiental, en los que se presentan reducidos caudales en estiaje, para valorar adecuadamente su impacto y, en su caso, modificar el régimen de caudales mínimos en estiaje incrementando el caudal para aumentar la dilución.
Hay que tener en cuenta que la previsión del aumento de la temperatura del agua con disminución del oxígeno disuelto, sumará negativamente en la conservación de los macro invertebrados acuáticos, base de gran parte del ecosistema acuático de las zonas de cabecera para cuya conservación se precisa una mayor exigencia en las condiciones de vertido, utilización de fitosanitarios, etc.
- Se considera que la *red actual es muy insuficiente*, por densidad de puntos y representatividad de los diferentes niveles acuíferos. El Plan de Acción de Aguas Subterráneas debería incluir sistemas de control en continuo de numerosos puntos de la red, así como la necesaria realización de sondeos y obras de reducido impacto ambiental para el acondicionamiento y control de manantiales significativos y de secciones de cauces ganadores o perdedores que reciben o pierden una aportación significativa de agua subterránea. Se propone complementar los boletines hidrogeológicos con la elaboración de dos informes anuales por Demarcación Hidrográfica en relación con el seguimiento de las redes de control (primavera y otoño) que permitirán reflejar la situación de las diferentes masas de agua, una evolución de las tendencias en drenajes, piezometría e hidroquímica y las variaciones en los volúmenes almacenados por masa de agua y acuífero diferenciado.
- Se considera prioritario *simplificar los aspectos administrativos necesarios para la creación de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas, con objeto de llegar a un auto-control de las explotaciones y de la utilización de productos de fertilización orgánica y fitosanitarios*.

Agradecimientos

El autor agradece a la Asociación Española de Hidrogeólogos y al Club del Agua Subterránea la invitación a participar en la Jornada sobre el Plan de Acción de las Aguas Subterráneas celebrada en la Escuela de Minas y Energía de Madrid el pasado 13 de junio de 2024, así como, a Luis Miguel Hueso Quesada por su asesoramiento en la realización del PowerPoint de presentación en la jornada.

REFERENCIAS

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaria de Estado de Medio Ambiente. Dirección General del Agua (2023). Plan de Acción de Aguas Subterráneas 2023-2030, 136p.

Guimerà, J., et al., 2025. Profesionales hidrogeólogos y la empresa privada en el desarrollo del plan de acción de aguas subterráneas. En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafuella, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volúmen XXXI, pp. 89-100. Madrid.

PROFESIONALES HIDROGEÓLOGOS Y LA EMPRESA PRIVADA EN EL DESARROLLO DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Jordi Guimerà, Albert Allepuz, Jorge Molinero, Elena Abarca,
Ester Vilanova, Salvador Jordana

Amphos 21 Consulting SL, c. Venezuela, 103, 2-1, 08019 Barcelona
jordi.guimera@amphos21.com

RESUMEN

El “Plan de Acción de Aguas Subterráneas” (PAAS) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2023 aborda la gestión y protección de las aguas subterráneas en España. Este plan es esencial para asegurar el abastecimiento de agua y la sostenibilidad de los ecosistemas. El PAAS destaca la colaboración fundamental entre empresas privadas y profesionales hidrogeólogos en su implementación. Las empresas y expertos desempeñarán roles clave en las cinco líneas de acción principales del plan: (1). Mejora del conocimiento: empresas y universidades colaborarán en la recopilación de información hidrogeológica y modelación numérica, impulsando la transferencia de conocimientos y tecnologías. (2). Programas de seguimiento: se requiere la participación de empresas tecnológicas para consolidar y mejorar las redes de control, utilizando inteligencia artificial para gestionar datos y alertas tempranas. (3). Protección del estado de las aguas: Las empresas podrán liderar proyectos de recarga de acuíferos y reutilización de agua, aplicando soluciones innovadoras para enfrentar problemas de contaminación y sobreexplotación. (4). Digitalización y control de usos: Las empresas tecnológicas desarrollarán herramientas avanzadas, como modelos basados en inteligencia artificial, para mejorar la gestión del agua en tiempo real. (5). Gobernanza y marco normativo: Las consultoras apoyarán en la implementación de nuevas normativas y formación de comunidades de usuarios. El PAAS representa un cambio de paradigma en la gestión de las aguas subterráneas en España, impulsando una colaboración estrecha entre la administración pública, los profesionales hidrogeólogos y las empresas privadas. Esta alianza es crucial para garantizar una gestión sostenible del agua subterránea, adaptada a los desafíos presentes y futuros. Las empresas y profesionales del sector tienen la oportunidad de liderar esta transformación, aportando su experiencia y capacidades para asegurar el éxito del plan.

Palabras clave: PAAS, líneas de trabajo, empresas y tecnología.

1. INTRODUCCIÓN

El “Plan de Acción de Aguas Subterráneas (PAAS)” presentado por el MITERD (2023) aborda la importancia crítica de las aguas subterráneas en España, las cuales constituyen la mayor parte del agua dulce disponible en la Tierra, después del agua atrapada en glaciares y casquetes polares. Representan el 99% del agua dulce líquida del planeta, una magnitud considerablemente superior a la de los ríos, lagos y embalses. Este recurso es vital no sólo para la supervivencia y desarrollo humano, sino también para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de él.

1.1 Relevancia de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas desempeñan un papel fundamental desde diversas perspectivas. Desde un punto de vista ambiental, son cruciales para la subsistencia de ríos, manantiales, humedales y otros ecosistemas valiosos. Desde el punto de vista socioeconómico, son esenciales para garantizar el abastecimiento de agua de calidad a la población y para otros usos como la agricultura, la industria y la minería. En el mundo las aguas subterráneas suministran aproximadamente la mitad del volumen de agua extraída para uso doméstico y un cuarto de la utilizada para riego, abarcando el 38% de las tierras irrigadas globalmente (UNESCO, 2022). En Europa, representan el 65% del agua utilizada para el abastecimiento urbano y el 25% del agua para la agricultura de regadío (European Environment Agency, 2022).

En reconocimiento de su vital importancia, las Naciones Unidas dedicaron el Día Mundial del Agua de 2022 a las aguas subterráneas, bajo el lema “Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”. Este lema enfatiza la necesidad de mejorar y ampliar el conocimiento existente sobre las aguas subterráneas, así como de divulgar su relevancia para la vida diaria, a pesar de su “invisibilidad”. Las aguas subterráneas se hacen visibles en muchos aspectos: en el agua que bebemos, en manantiales y surgencias naturales, en humedales que son parte de nuestro patrimonio natural y cultural, en miles de pozos y galerías que se utilizan para captarlas, en ríos que estarían secos sin su alimentación subterránea, y en la biodiversidad de criptohumedales y vegetación freática.

1.2. Desafíos en la gestión de aguas subterráneas

A pesar de su importancia, este recurso sigue siendo poco conocido, subestimado y, en muchos casos, mal gestionado. En un contexto global de cambio climático y creciente escasez de agua, se reconoce la necesidad urgente de gestionar las aguas subterráneas con mayor cuidado. Sus características únicas —como su amplia distribución geográfica, capacidad de almacenamiento sin pérdida por evaporación y su rol estratégico durante períodos de sequía— las hacen especialmente valiosas. Sin embargo, estas mismas características también complican su gestión, ya que las aguas subterráneas responden de forma más lenta y amortiguada a las intervenciones externas, con efectos que pueden perdurar por muchos años. Esto introduce una dimensión temporal y ética adicional en su manejo.

En España la gestión del recurso ha enfrentado desafíos particulares debido a la complejidad técnica, ambiental, económica, legal y social que conlleva. La información geológica e hidrogeológica es en general buena, pero insuficiente en algunos aspectos, como la cartografía detallada de suelos y formaciones geológicas profundas, especialmente en áreas con tectónica compleja o sedimentaciones gruesas. El conocimiento hidrogeológico requiere estudios detallados y localizados que suelen ser costosos. A pesar de estos retos, España ha sido líder en el estudio y aprovechamiento de las aguas subterráneas desde finales de los años 60, gracias a iniciativas como el Curso Internacional de Hidrología Subterránea de Barcelona y otros estudios relevantes.

1.3. Marcos regulatorios y esfuerzos institucionales

El marco legal español ha evolucionado para adaptarse a los desafíos de la gestión de las aguas subterráneas. La Ley de Aguas de 1985 marcó un cambio significativo al considerar las aguas subterráneas como parte de un ciclo hidrológico global, transfiriendo su gestión a los Organismos de Cuenca. A pesar de este cambio, la aplicación de la ley no fue acompañada por una asignación adecuada de recursos humanos y materiales para las nuevas responsabilidades de control y gobernanza. Desde entonces, las políticas públicas han buscado mejorar el conocimiento y la gestión de los recursos subterráneos, apoyadas por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y las Confederaciones Hidrográficas, entre otras entidades.

Además, la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA) ha sido fundamental para ampliar las redes de control y mejorar la valoración de las presiones humanas sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos. Esto permite evaluar el estado de las masas de agua y establecer programas de medidas para su conservación. Sin embargo, los esfuerzos para generar nuevo conocimiento de base han sido limitados y se han centrado en casos específicos, lo que deja margen para mejorar la integración y difusión de la información existente.

1.4. Necesidad de un plan de acción

El “Plan de Acción de Aguas Subterráneas” surge como una respuesta a esta necesidad de mejorar el conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas en España. Este plan es también un mandato legal establecido en la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, que obliga al Ministerio de Medio Ambiente a elaborar un plan de acción para el aprovechamiento sostenible de estos recursos. Durante la primera Cumbre Mundial sobre Aguas Subterráneas en 2022, las autoridades españolas anunciaron la implementación de este plan, que busca abordar los problemas más relevantes desde diferentes perspectivas: científico-técnica y administrativa.

El Plan de Acción responde a la necesidad de abordar los efectos del cambio climático, conforme a la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, que establece la importancia de realizar estudios específicos de adaptación en cada demarcación hidrográfica. Esto incluye la determinación de escenarios climáticos e hidrológicos, el análisis de impactos y vulnerabilidades y la identificación de medidas de adaptación.

1.5. Objetivos y Propuestas del Plan

El Plan tiene como objetivo impulsar el conocimiento y la protección de las aguas subterráneas, así como desarrollar instrumentos normativos y de gobernanza para alcanzar los objetivos establecidos. Propone diversas actividades esenciales para todas las masas de agua subterránea y establece pautas para identificar las masas prioritarias donde actuar en función de sus características específicas, como las presiones, riesgos asociados y los ecosistemas dependientes. El plan también contempla la modelación numérica de las masas de agua en riesgo de incumplir los objetivos ambientales, lo que permitirá analizar los programas de medidas previstos y sus efectos sobre estas masas.

En términos de gobernanza, el plan busca fomentar la cooperación y coordinación entre diferentes niveles de administración y actores involucrados, para gestionar de manera efectiva este recurso vital. En el marco del Estado se pretende alcanzar una gestión sostenible y adaptada a las necesidades futuras, en línea con los compromisos europeos y globales.

1.6. Conclusión

El “Plan de Acción de Aguas Subterráneas” destaca la necesidad urgente de mejorar la gestión de este recurso esencial. Subraya la importancia de aumentar el conocimiento, promover su protección, y desarrollar políticas efectivas de gobernanza para garantizar un uso sostenible del agua subterránea en el contexto de los desafíos ambientales y climáticos actuales y futuros.

2. OBJETIVOS

En el marco de los objetivos y estructura del Plan este artículo aborda el papel que jugarán los profesionales y empresas privadas en su implementación. Para ello tenemos como objetivos:

- Evaluar los retos que supone el PAAS
- Comparar qué implica el PAAS con respecto al “business as usual” en aguas subterráneas en España
- Identificar las principales áreas de contribución para profesionales y empresas

2.1. Estructura del documento

Después del resumen del PAAS y de los objetivos descritos, el artículo se estructura de la siguiente forma. A continuación, la metodología aplicada repasa la evolución de la contratación pública en los últimos años y la compara con el reto que supone el PAAS cuantitativamente. Posteriormente se analizan las líneas de trabajo y los puntos en los que se articula el PAAS y se detectan los principales intereses para profesionales y empresas. Finalmente, se enumeran los trabajos a escala estatal y a nivel de demarcación hidrográfica, antes de pasar a las conclusiones del artículo.

3. METODOLOGÍA

3.1. Evaluación de las licitaciones públicas de agua subterránea en España

Para realizar esta evaluación se ha consultado la herramienta de Tenderlake.com en la cual es posible acceder a las licitaciones públicas por un importe superior a 100.000 €. El periodo consultado ha sido de cuatro años (2020-2023) para poder laminar el posible impacto de la pandemia de COVID-19 en la distribución de las licitaciones.

La tabla 1 muestra el resumen de resultados y la figura 1 muestra la distribución en porcentajes. Se observa que los temas de ensayos que incluyen, por ejemplo, la perforación de sondeos de monitoreo e investigación, junto con los de control de la contaminación, son como un orden de magnitud mayores que el resto de temas. La suma de todos ellos fue de 134 MM€ mientras que la suma de los dos primeros únicamente ya supone el 75% de este total.

Por año, el volumen de contratación es de 33 MM€ de promedio, lo que implica, para un periodo de cinco años como es el PAAS, 167 MM€. Si se tiene en cuenta que el PAAS pretende licitar de una forma u otra 500 MM€, resulta evidente que llevar a cabo este plan es un reto mayúsculo, tanto para la Administración como para los profesionales y las empresas. En España hay suficiente músculo técnico como para llevar a cabo las líneas planteadas por el PAAS tal como se desarrolla en las siguientes secciones.

Subject	Lump sum
Technical testing, analysis and consultancy services (arranged)	73,925,722 €
Groundwater pollution monitoring or control services	26,803,651 €
Advisory and consultative engineering services	7,459,406 €
Analysis services	5,337,936 €
Groundwater pollution treatment or rehabilitation	3,157,131 €
Analytical, scientific, mathematical or forecasting software developmen	2,966,098 €
Civil engineering consultancy services	2,070,228 €
Cleaning and sanitation services in urban or rural areas, and related servi	1,660,572 €
Laboratory services	1,493,754 €
Architectural, construction, engineering and inspection services	1,258,903 €
Miscellaneous repair and maintenance services	1,158,065 €
Polluted soil removal services	1,110,000 €
Environmental engineering consultancy services	951,140 €
Sewage services	949,455 €
Environmental quality control services	812,579 €
Technical work related to groundwater exploitation files: registrations, i	790,530 €
Technical assistance services	554,863 €
Engineering-related scientific and technical services	398,163 €
Pollution investigation services	300,000 €
Pollutants tracking and monitoring and rehabilitation services	280,320 €
Geological, geophysical and other scientific prospecting services	254,090 €
Engineering services	238,978 €
Technical work related to groundwater exploitation files: registrations, i	0 €
	133,931,584 €
	33,482,896 € /año
	167,414,480 € en 5 años
	500,000,000 € PAAS en 5 años

Tabla 1. Distribución de los volúmenes contratados por temas en el periodo 2020-2023.

3.2. Implicaciones del PAAS

Por su ambición y calado, el PAAS es una oportunidad histórica en el avance de la gestión de las aguas subterráneas en España. Estas implicaciones se distribuyen en unas líneas de actuación que pretenden satisfacer los quince objetivos estratégicos, los cuales se articulan alrededor de las zonas protegidas y los ecosistemas asociados, para los que promueve una utilización sostenible de los recursos, y se aplica y amplía el conocimiento, la gestión y la gobernanza al buen estado de las masas de agua subterránea.



Figura 1. Porcentajes de las licitaciones según los temas consultados (arriba) y detalle de las licitaciones sin tener en cuenta los dos temas mayoritarios (abajo).

3.3. Líneas de acción del PAAS

El PAAS se articula alrededor de cinco líneas de acción que se enumeran a continuación y para cada una de ellas se elaboran las implicaciones que puede tener en cuanto a profesionales y empresas españolas,

- Mejora del conocimiento
- Impulso a los programas de seguimiento
- Protección frente al deterioro de su estado
- Digitalización y control de usos
- Gobernanza y marco normativo

1. Mejora del conocimiento

La **mejora del conocimiento** va orientada a la seguridad alimentaria, la garantía de suministro, consideraciones energéticas, el empleo, la ocupación humana del territorio y la valoración de los servicios ecológicos entre otros. En general se articula en recopilación y análisis de información, estudios hidrogeológicos generales y modelación numérica de las aguas subterráneas.

Estos son trabajos de campo tradicionalmente ligados a empresas (a gran escala), pero también es un campo muy vinculado a las universidades en el desarrollo de tesis doctorales (a pequeña escala). Se abre pues, una oportunidad de colaboración universidad-empresa para transferencia de conocimiento entre unos y otros.

2. Impulso a los programas de seguimiento

Esta línea se articula alrededor de los siguientes puntos:

- Análisis y diagnóstico general del estado de los programas de seguimiento existentes
- Propuestas para la consolidación de las redes de control
- Propuestas para la mejora y ampliación de las redes de control
- Consolidación de la gestión en los programas de seguimiento del estado químico

En el fondo, esta línea se basa en la mejora de la gestión de las redes de control, así como en el tratamiento de los datos generados. Para que esos “datos” acaben en “información” utilizable para la toma de decisiones, se propone la aplicación de la inteligencia artificial para, por ejemplo, desarrollar mecanismos de alerta temprana. La figura 2 muestra un ejemplo en el que Amphos 21 (2021) ha desarrollado una aplicación para la Agencia Catalana del Agua.

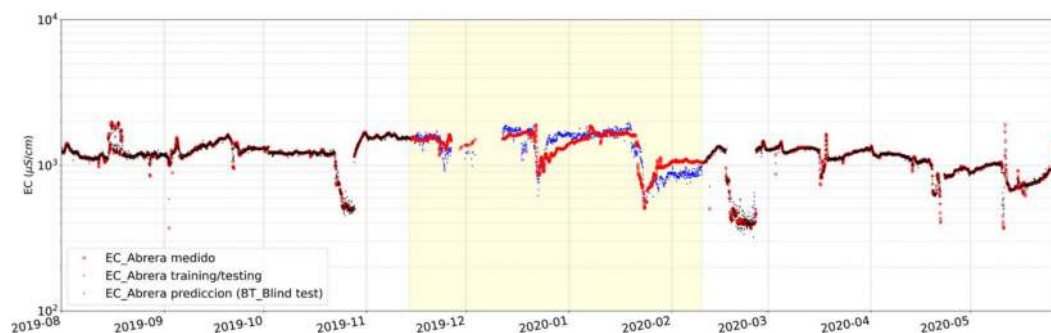


Figura 2. Simulación de la CE de la estación de Abrera en el río Llobregat, a partir de series históricas de datos de diez años en promedio.

3. Protección frente al deterioro de su estado

Esta línea se articula en los cinco campos siguientes:

- Contaminación difusa
- Contaminación puntual
- Explotación no sostenible
- Conservación y puesta en valor de las reservas hidrológicas
- Perímetros de protección

En líneas generales, se puede decir que ésta es “LA” línea. De las 136 pp del PAAS, la palabra “nitratos” aparece en 24 de ellas, lo que da una idea del esfuerzo que va a representar revertir o al menos ralentizar la contaminación difusa de acuíferos. Por otra parte, la recarga gestionada de acuíferos o la reutilización están, a nuestro parecer, poco reflejadas en la importancia que merecen desde el punto de vista de la explotación sostenible, por cuanto para las empresas y profesionales supone:

- Oportunidades de todos los tamaños y conceptos
- Gran implicación de grupos de investigación en proyectos de I+D
- Transferencia de tecnología a los gestores
- Generación de conocimiento por parte de las empresas
- Implementación de proyectos

Son tecnologías maduras en España para hacer frente a impactos de salinización en acuíferos costeros y de sobreexplotación en acuíferos internos. La figura 3 muestra un ejemplo de recuperación de acuíferos a partir de la regeneración de aguas de EDAR urbana en Menorca.



Figura 3. Planta piloto de inyección de agua regenerada a partir del terciario de una EDAR urbana en Menorca (UTE Northline-Amphos 21(2024) para la DGRH del Gobierno Balear).

4. Digitalización y control de usos

La digitalización y el control de usos tiene como ejes fundamentales de organización el PERTE y la digitalización interna de los Organismos de cuenca, la digitalización del control de los usos del agua y el Gestor Documental de Aguas Subterráneas (ADEPAS).

Además, en esta línea se enmarcan tareas como el “Desarrollo de un programa específico de modelación numérica de las masas de agua subterránea en riesgo de no alcanzar los objetivos ambientales” o el “Impulso y mantenimiento del Gestor Documental de Aguas Subterráneas (ADEPAS)”. Ambas líneas de trabajo suponen una contribución importante de las empresas privadas y de algunos profesionales (Figura 4) además de ser un campo abonado tradicionalmente a la Universidad. Creemos que esta línea debe ser una de las principales promotoras de trabajo altamente cualificado para las empresas toda vez que potencia la oportunidad citada anteriormente de colaboración entre la universidad y el sector privado. Además, los modelos hidrogeológicos del futuro inmediato se basarán en algoritmos de inteligencia artificial para poder hacer predicciones en tiempo real cuando hoy pueden tardar días o semanas. Eso supondrá, a la vez, una enorme demanda de caracterización hidrogeológica de calidad para que los modelos puedan, a su vez, realizar predicciones de calidad.

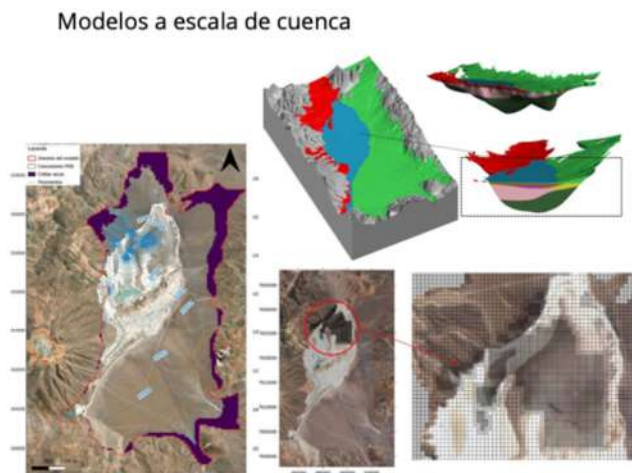


Figura 4. Ejemplo de modelo numérico hidrogeológico a escala de cuenca realizado por Amphos 21 (cliente privado).

5. *Gobernanza y marco normativo*

La gobernanza y marco normativo se articulan alrededor de:

- Modificaciones normativas
- Comunidades de usuarios de masas de agua subterránea
- Actividades formativas y de capacitación

Creemos que el papel de las empresas en este caso debe ser el de soporte técnico allí cuando la propia Administración lo considere necesario.

3.4. **Síntesis de trabajos**

En el conjunto del estado se plantean los siguiente 95 trabajos agrupados en las líneas propuestas:

Conocimiento hidrogeológico y modelación:	16
Trabajos relacionados con el impulso a los programas de seguimiento:	12
Trabajos relacionados con la prevención del deterioro de las masas de agua:	25
Trabajos relacionados con la digitalización y el control de usos:	12
Trabajos relacionados con la gobernanza y marco normativo:	30
TOTAL	95

Asimismo, los trabajos específicos para cada demarcación hidrográfica (no cuantificados) se agrupan en los siguientes temas:

1. Tratamiento de datos e información de caracterización
2. Estudios geológicos
3. Estudio de la zona no saturada
4. Estudio de la piezometría
5. Definición de acuíferos y parámetros hidrogeológicos
6. Estudios de caracterización hidrogeoquímica
7. Estudios de contaminación puntual
8. Estudios de contaminación difusa
9. Estimación de la recarga
10. Relación río-acuífero y estudio de necesidades ambientales de los EDAS
11. Análisis y diagnóstico de las redes de control. Propuestas de mejora
12. Modelación geológica 3D
13. Modelación de flujo subterráneo
14. Modelación de transporte de solutos y transporte reactivo
15. Modelos de gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)
16. Evaluación del recurso disponible y reservas
17. Geotermia e hidrotermalismo
18. Identificación de intrusión marina
19. Análisis de efectividad de medidas o alternativas de gestión en el sistema hidrogeológico

4. CONCLUSIONES

EL PAAS supone un reto mayúsculo y un cambio de paradigma en la gestión de las aguas subterráneas que conllevará una auténtica revolución para la Administración pero también para los profesionales y las empresas.

A modo de reflexiones finales, cabe indicar que el PAAS incide en el papel de las empresas de calidad y la contratación. Desde nuestro punto de vista, los criterios de contratación condicionan en muchas ocasiones el producto final, por cuanto el resultado del contrato es una combinación del precio de licitación y de la ponderación de criterios, en particular del económico. Hay un gran número de proyectos, en particular los de desarrollo que no pueden tener el mismo rasero que los proyectos de aplicación, para lo cual hay herramientas muy interesantes como la Compra Pública de Innovación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la organización de la jornada “EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. OPORTUNIDAD CIENTÍFICO-TÉCNICA Y DISPONIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN” por parte de la Asociación Española de Hidrogeólogos la

invitación a participar y la oportunidad de presentar este artículo. En particular, a las personas más implicadas como su presidente Sebastián Delgado y a Juan Antonio López Geta.

6. REFERENCIAS

- AMPHOS 21 (2021) Aqualearning, un sistema de alerta temprana basado en Machine Learning. Smart Catalonia Challenge, primer premio.
- MITECO (2023) PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 2023 - 2030. MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Dirección General del Agua. 136 pp.
- Northline-Amphos 21 (2024) PRUEBA PILOTO DE REUTILIZACIÓN DE AGUA REGENERADA PARA RECUPERACIÓN DE ACUÍFEROS SOBRE EXPLOTADOS. (CONTR 5034/2020) DGRH, Conselleria de la Mar i del Cicle de l'Aigua, Govern Balear.

Delgado Ramos, F., 2025. El plan de acción de aguas subterráneas visto desde Andalucía. En: M. Boned, S. Delgado Moya, A. Fernández Uría, J. M. Herranz Villafruela, J. A. López Geta, Segismundo Niñerola i Pla y F. Octavio de Toledo y Ubieto (Eds.), *Jornada sobre el Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Oportunidad Científico-Técnica y disponibilidad económica para su implementación*, Serie Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Volúmen XXXI, pp. 101-106. Madrid.

EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS VISTO DESDE ANDALUCÍA

Fernando Delgado Ramos

Profesor titular de Ingeniería Hidráulica. E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
Universidad de Granada.
fdelgado@ugr.es

RESUMEN

Este artículo analiza el Plan de Acción de Aguas Subterráneas (PAAS) en el contexto de la gestión hídrica en Andalucía, España. Se destaca la singularidad de Andalucía al contar con cuencas hidrográficas, tanto intercomunitarias como intracomunitarias, lo que exige una coordinación efectiva entre Administraciones. El estudio evalúa la situación actual de las aguas subterráneas en la región, incluyendo aspectos cuantitativos y cualitativos, y examina las medidas de gobernanza propuestas en el PAAS. Se critica la falta de un Plan Hidrológico Nacional actualizado y se señala la necesidad de una implementación efectiva de las medidas planificadas para lograr los objetivos de la legislación española en materia de aguas.

Palabras clave: Aguas subterráneas, Gobernanza, Plan Hidrológico, Andalucía.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos en España se distingue por la división competencial entre cuencas hidrográficas intercomunitarias, gestionadas por el Estado, e intracomunitarias, gestionadas por las Comunidades Autónomas, aunque el dominio público hidráulico es de titularidad estatal. Andalucía presenta una singularidad en este contexto, al albergar seis demarcaciones hidrográficas diferentes: Guadiana, Guadalquivir y Segura (intercomunitarias), y Tinto, Odiel y Piedras; Guadalete y Barbate, y Cuencas Mediterráneas Andaluzas (intracomunitarias). Esta distribución exige una coordinación efectiva entre las Administraciones para garantizar una gestión coherente y sostenible de los recursos hídricos. El presente artículo tiene como objetivo analizar el Plan de Acción de Aguas Subterráneas desde la perspectiva de Andalucía, evaluando su alcance y potencial para abordar los desafíos específicos de la región en materia de gestión de aguas subterráneas.

2. LA SINGULARIDAD DE ANDALUCÍA EN LA GESTIÓN HÍDRICA

Como sabemos, en España se distingue, de acuerdo con nuestra Constitución, entre cuencas hidrográficas intercomunitarias e intracomunitarias. Las primeras son gestionadas por el Estado, a través de las Confederaciones Hidrográficas y las segundas por las correspondientes Comunidades Autónomas; aunque en todo caso, el dominio público hidráulico es de titularidad estatal.

Andalucía presenta, como comentaba anteriormente, una singularidad en el contexto español debido a que dentro de su territorio, encontramos seis demarcaciones hidrográficas diferentes, tres intercomunitarias: i) Guadiana, ii) Guadalquivir, iii) Segura; y tres intracomunitarias: i) Tinto, Odiel y Piedras; ii) Guadalete y Barbate, y iii) Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

Esta distribución competencial exige una coordinación efectiva entre las diferentes Administraciones para garantizar una gestión coherente y sostenible de los recursos hídricos.

La tabla 1 presenta los datos de las cuatro demarcaciones hidrográficas con mayor superficie en Andalucía: Guadalquivir, Tinto, Odiel y Piedras (TOP), Guadalete-Barbate (GB) y Cuencas Mediterráneas Andaluzas (CMA). Estas Demarcaciones representan una parte significativa del territorio andaluz y concentran una parte importante de su actividad económica y población.

DEMARCACIÓN	SUPERFICIE CONT. (km²)	APORT. ACT. (hm³)	REC. HIDR. TOT. ACT. (hm³)	DEMANDAS TOTALES (ACT.)	RATIO D/A	DÉFICIT (ACT.)
GUADALQUIVR	57.180	6.928	3.502	3.721	0,54	219
TOP	4.762	676	266	267	0,40	1
GB	5.961	979	408	412	0,42	6
CMA	17.929	2.834	1.142	1.325	0,47	183

Tabla 1. Datos de las principales demarcaciones hidrográficas en Andalucía.

Como se puede observar, la demarcación hidrográfica donde en la actualidad existe una mayor presión sobre los recursos hídricos es la del Guadalquivir, con una demanda superior al 50% de las aportaciones medias, mientras que la menos tensionada es la del Tinto, Odiel y Piedras.

En cuanto a los déficits estructurales, de nuevo destaca con peor situación la demarcación del Guadalquivir, con un déficit de nada menos que 219 hm³ para el año medio, seguida de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas con un déficit de 183 hm³, estando las otras dos equilibradas.

Si en situación normal ya hay graves déficits estructurales, podemos imaginar la gravedad que supone exponerse a un periodo de sequía como el que estamos sufriendo.

Es por ello fundamental revisar las previsiones de los vigentes planes hidrológicos del tercer ciclo de planificación 2022-2027, aunque se aprobaron en el año 2023.

DEMARCACIÓN	REC. HIDR. TOT. 2027 (hm³)	DEMANDAS TOT. (2027)	DÉFICIT (2027)	MEDIDAS rec.hidr. (Meur)	MEDIDAS rec.hidr. eur/km²
GUADALQUIVR	3.361	3.601	240	778	13.599
TOP	469	476	7	520	109.089
GB	411	417	6	23	3.905
CMA	1.266	1.282	16	1.631	90.991

Tabla 2. Previsiones de los planes hidrológicos para el horizonte 2027.

Podemos ver que las tres demarcaciones hidrográficas intracomunitarias andaluzas prevén acabar con sus déficits estructurales dejándolos en valores suficientemente bajos como para que se den por cumplidos los criterios de garantía; mientras que sorprende que la demarcación del Guadalquivir, dependiente del Gobierno de España, haya planificado incrementar aún más su déficit estructural, pasando de 219 hm³/año a 240 hm³/año.

La explicación la podemos intuir al ver la última columna de la derecha de la tabla 2: En TOP o CMA se prevén medidas sobre la disponibilidad de recursos hídricos (tanto en lo relativo a la oferta como a la demanda) de aproximadamente 100.000 euros por kilómetro cuadrado de cuenca, mientras que en el Guadalquivir esa inversión se reduce a 13.600 euros/km².

Otra explicación la podemos ver en la siguiente tabla 3 que muestra las previsiones en cuanto a recursos hídricos no convencionales, como la reutilización y la desalación:

DEMARCACIÓN	Reutilización Act. (hm³)	Desalación Act. (hm³)	Reutilización 2027 (hm³)	Desalación 2027 (hm³)
GUADALQUIVR	(-) 20	0	(-) 40	0
TOP	0	0	6	0
GB	6	0	8	0
CMA	23	77	105	199

Tabla 3. Recursos hídricos no convencionales (actual y horizonte 2027).

Como podemos ver, la desalación supone una oportunidad importante de incremento de los recursos hídricos disponibles en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y por ahora no está prevista en el resto. En cuanto a la reutilización, el volumen de 40 hm³ previsto en el Guadalquivir para 2027 va a costa de incrementar déficit ya que se detrae de vertidos a cauce; mientras que en las demás demarcaciones sí hay una componente importante de vertidos al mar cuya reutilización no reduce los caudales circulantes en cauces.

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La situación de las masas de aguas subterráneas andaluzas es bastante similar al resto de cuencas del arco mediterráneo:

En cuanto al estado cuantitativo, se observa una concentración de masas de agua subterránea en mal estado en regiones específicas del país:

1. Las dos Castillas: Tanto Castilla-La Mancha como Castilla y León presentan una proporción significativa de masas de agua subterránea en mal estado. Esto puede estar relacionado con la intensa actividad agrícola en estas regiones y la consecuente sobreexplotación de los acuíferos.
2. La franja mediterránea: A lo largo de la costa mediterránea, desde Cataluña hasta Andalucía, se observa una concentración de masas de agua subterránea en mal estado. Esta situación puede atribuirse a diversos factores, incluyendo la presión demográfica, el turismo, la agricultura intensiva y la intrusión salina en acuíferos costeros.
3. La cuenca del Guadalquivir: en Andalucía, particularmente en la cuenca del río Guadalquivir, se identifica otra zona con una notable presencia de masas de agua subterránea en mal estado. Esta situación podría estar vinculada a la intensa actividad agrícola en la región, especialmente en cultivos de regadío.

Esta distribución geográfica de las masas de agua subterránea en mal estado subraya la necesidad de implementar medidas de gestión y protección específicas para cada región, teniendo en cuenta sus características particulares y las presiones a las que están sometidos los acuíferos.

En cuanto al **estado cualitativo**, entre los diversos contaminantes que pueden afectar a las aguas subterráneas, los nitratos y los plaguicidas son motivo de especial preocupación en España.

De forma general, los nitratos constituyen uno de los problemas de calidad más graves en las aguas subterráneas del país. La contaminación por nitratos está principalmente asociada a la actividad agrícola, especialmente al uso intensivo de fertilizantes nitrogenados. En este sentido, las demarcaciones andaluzas no difieren significativamente de otras regiones españolas, ya que también se ven afectadas por este problema.

Sin embargo, en lo que respecta a la contaminación por plaguicidas, la cuenca mediterránea andaluza (CMA) presenta una situación particularmente preocupante.

Ante esta problemática, es fundamental implementar medidas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos y plaguicidas. Estas medidas pueden incluir la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, la mejora de la gestión de los fertilizantes y plaguicidas, el establecimiento de zonas de protección alrededor de los puntos de captación de agua y el control de la calidad de las aguas subterráneas.

4. EL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La vigente ley española de aguas otorga la condición de dominio público hidráulico del Estado a todas las aguas continentales superficiales, y a las subterráneas, solo si son renovables, quedando por tanto excluidas las aguas subterráneas fósiles.

Tratándose, por tanto, de un dominio público del Estado, no se entiende que el Plan de Acción en materia de Aguas Subterráneas previsto en el artículo 29.1 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, se refiera en exclusiva a las cuencas intercomunitarias y que, para las intracomunitarias, sólo se prevea que ese plan pueda ser adoptado por la Administración hidráulica de la Comunidad Autónoma.

Vamos a hacer un breve resumen de las medidas de gobernanza previstas en el PAAS:

- Racionalización de los usos privativos por disposición legal (artículo 54.2 del TRLA).
- Revisión y clarificación de las obligaciones que afectan a las masas de agua subterránea declaradas en riesgo de no alcanzar el buen estado (artículo 56 del TRLA). Debería ampliarse al sistema en riesgo y no sólo a las aguas subterráneas.
- Redacción de documentos, tramitación e implantación de los programas de actuación de las masas declaradas en riesgo de no alcanzar el buen estado.
- Regulación de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas o de masas de agua subterránea (CUAS/CUMAS) y sus funciones.
- Actualización de la normativa sobre perímetros de protección.
- Mejora del control del cumplimiento de las condiciones de la concesión: incorporación de la digitalización en la orden de contadores; inclusión en el registro de Entidades Colaboradoras de la Administración Hidráulica de entidades que certifiquen el cumplimiento; auditorías por teledetección.
- Simplificación y agilización de procedimientos mediante la incorporación de procedimientos abreviados, declaraciones responsables, etc.
- Regulación normativa de la construcción, clausura y sellado de pozos. Necesidad de guías.
- Consideración y tratamiento adecuado en la normativa de la recarga artificial o gestión de acuíferos.
- Actualización de la normativa e implantación de medidas de refuerzo de la protección de las aguas subterráneas frente a la contaminación puntual y difusa.
- Inclusión en el registro de Entidades Colaboradoras de la Administración Hidráulica de entidades que certifiquen estudios hidrogeológicos, efectos de la contaminación de las aguas subterráneas, etc.
- Revisión del régimen sancionador. Estudio de la tipificación de nuevas infracciones especí-

ficas y endurecimiento de algunas sanciones que han de adecuarse al beneficio potencial del acto ilícito.

- Posibilidad de regular la obligación de información por parte de las empresas de construcción de pozos al organismo encargado de gestionar la información hidrogeológica, de las características de las obras realizadas.
- Elaboración de un catálogo de acuíferos compartidos que identifique las masas de agua subterránea incluidas en cada uno de ellos. Este catálogo se aprobará mediante acuerdo de Consejo de Ministros, y servirá de referencia técnica para la futura actualización del Plan Hidrológico Nacional en los aspectos referidos a los acuíferos compartidos. El trabajo dará respuesta a la disposición final primera del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueban los planes hidrológicos para el periodo 2022-2027 de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias.
- Definición de criterios y procedimiento para establecer una zonificación de las masas de agua subterránea como medida de protección, a efectos del otorgamiento de autorizaciones y concesiones. El trabajo dará respuesta a la disposición final tercera del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueban los planes hidrológicos para el periodo 2022-2027 de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias

5. COMENTARIO FINAL

Los planes hidrológicos de cuenca y el Plan Hidrológico Nacional deberían ser suficientes para la consecución de los objetivos que fija la legislación española de aguas, sin necesidad de un plan específico de acción sobre las aguas subterráneas que debería incluirse dentro del Plan Hidrológico Nacional, debidamente actualizado. Pero que se cumplan las previsiones de los planes hidrológicos depende fundamentalmente de que se cumpla con la implantación de las medidas concretas previstas en dichos planes.

Lamentablemente, el nivel de cumplimiento de los programas de medidas de los planes hidrológicos anteriores ha sido extremadamente bajo, especialmente en relación con las medidas declaradas de interés general del Estado hace ya más de veinte años.

La extraordinaria inyección de fondos europeos del mecanismo de recuperación y resiliencia tras la pandemia del COVID-19 debería servir para dar la vuelta a esta situación, pero el mecanismo de asignación de dichos fondos parece no estar siendo lo suficientemente equitativo y eficaz.

El Plan de Acción de Aguas Subterráneas 2023-2030 responde, decenas de años después, al mandato del artículo 29.1 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional y contiene objetivos muy loables, pero su ámbito de acción, incompleto por la propia redacción de dicha ley, la falta de implantación real de las medidas planificadas (especialmente las declaradas de interés general del Estado) y el que el Plan Hidrológico Nacional, que debe coordinar y corregir todos los planes de cuenca, no se haya revisado después de 20 años y con tres ciclos de planificación de cuenca aprobados dejan serias dudas sobre el grado de éxito esperable.

CONCLUSIONES

Finalizamos con este acto la Jornada que la Asociación Española de Hidrogeólogos ha organizado dedicada al “Plan de Acción de Aguas subterráneas. Oportunidad científico-técnica y disponibilidad económica para su implementación”.

Momento es para mostrar la satisfacción por haber contado con su asistencia, por el nivel e interés de las ponencias expuestas, así como el vivo y fructífero intercambio de opiniones de la mesa redonda. Además, por haber tenido la oportunidad de ver, saludar y compartir unos agradables momentos con amigos, colegas y entusiastas del agua en general y de la subterránea en particular.

Es quizá el momento de aclarar que hablamos específicamente de las aguas subterráneas, no por ser recursos diferentes, todos son recursos hídricos del único ciclo hidrológico, sino por la singularidad que su conocimiento, manejo, control y mantenimiento, exigen.

Desde esa óptica, la Junta directiva de la Asociación Española de Hidrogeólogos, ha recogido, casi “a vuela pluma” aquellas cuestiones que creemos deben ser tenidas en cuenta para avanzar mejor en la gestión de las aguas subterráneas. A modo de consideraciones, las aguas subterráneas originan beneficios sociales y económicos innegables al tiempo que constituyen un recurso importante por su magnitud y su distribución, siendo estratégicamente vitales en los períodos de escasez y sequía.

Además de satisfacer demandas hídricas, contribuyen a complementar y contrarrestar los déficits de los sistemas hídricos tradicionales y son esenciales para la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y zonas húmedas.

Son, en definitiva, un recurso único donde no llegan las redes de distribución tradicionales; un recurso equilibrador en situaciones conflictivas y un elemento fundamental del medio ambiente, máxime en un país como el nuestro, con tan gran irregularidad hídrica.

Al estar protegidas naturalmente por formaciones geológicas y filtrarse a medida que percolan por el terreno, suelen ser de buena calidad.

Sin embargo, la captación descontrolada, y la utilización intensiva y abusiva han originado problemas indeseables de sobreexplotación y serios deterioros de la calidad del agua.

Las conclusiones de lo expuesto y discutido en esta Jornada son:

Estudios de actualización del conocimiento de las masas de agua subterránea

El conocimiento de nuestras masas de agua subterránea necesita un decidido impulso. No se pueden estar usando datos, muchos ya obsoletos, que correspondían a una situación de las aguas subterráneas que, en la mayoría de los acuíferos, nada tienen que ver con los actuales.

Es también importante el inventario de captaciones, todas, porque aún se desconoce cuantas existen y, por consiguiente, se no se conoce con rigor el volumen total de extracción; el inventario de desalobradoras y el inventario de los puntos de reinyección de la salmuera del rechazo de las desalobradoras, un nuevo medio de salinizar acuíferos.

Son necesarias referencias nítidas y viables, y el Plan de Acción de Aguas Subterráneas es el primer exponente, en varias décadas, en el que se depositan esperanzas de rescatar del olvido tan preciado recurso. Por ello, deseamos que sea el exitoso inicio de una nueva y fructífera etapa.

Es preciso acometer todas estas actuaciones que fomenten la actividad, la creación de empleo, constitución y consolidación de empresas, cuyas estrategias incluyan la conformación de equipos de profesionales especializados que presten apoyo y colaboración a las Administraciones competentes.

Investigación

No solamente son necesarios estudios hidrogeológicos de actualización. Se necesita, asimismo, fomentar la investigación, sobre todo, en los complicados procesos de contaminación difusa (nitrógeno y fosfatos provenientes de la fertilización orgánica y mineral y pesticidas-biocidas). La reversión de las masas de agua subterráneas en mal estado cualitativo no es tarea, ni fácil, ni rápida. La investigación debería abordar el desarrollo de medidas y de tecnologías viables y eficaces para tratar de acelerar esos procesos de regeneración de las aguas subterráneas contaminadas.

Redes

La infraestructura esencial, por cuanto es el medio de acceso y auscultación de las aguas subterráneas, las redes de control de extracciones, piezométrico y calidad del agua, deben estar en constante adecuación y mejora, para adaptarse a la legislación vigente, a las condiciones de explotación, a la implantación en el territorio de nuevas actividades potencialmente contaminantes, al control de los perímetros de protección y al grado de conocimiento de las masas de agua en cada momento.

Episodios excepcionales

La variabilidad climática continuará originando recurrentes períodos de sequía. El crecimiento

de demandas debido al aumento de población, mejora de la calidad de vida, incremento de procesos productivos, etc., darán lugar a escasez de disponibilidad de recursos regulados. Hay que estar preparados para minimizar esos impactos.

Para ello, se debería construir y mantener operativa una infraestructura de emergencia, como las existentes en varios sistemas de abastecimiento, formada por captaciones de aguas subterráneas que se utilice exclusivamente en esos períodos excepcionales.

Una vez superada la contingencia, hay que prever la necesidad de elaborar un plan de recarga artificial nacional que colabore en la gestión de los recursos hídricos disponibles y para regenerar la sobreexplotación en las masas de agua utilizadas durante el período de emergencia para que en los próximos episodios toda la infraestructura vuelva a estar operativa y disponible.

Gobernanza

Sabemos que la cuestión de la gestión de las aguas subterráneas es complicada debido a que se requieren conocimientos específicos, son de acceso puntual, las áreas de recarga que deberían protegerse son de extensión considerable, las extracciones, sobre todo las fraudulentas, son de difícil detección y control. Somos conscientes de ello, máxime con los medios humanos, técnicos y económicos con que cuentan las Confederaciones Hidrográficas: si no se pone remedio, las situaciones problemáticas, se agudizarán. Es imposible abarcar tan vasto territorio con las escasas decenas de hidrogeólogos de los Organismos de Cuenca.

Para que la gobernanza sea eficaz, las Instituciones con competencias en la gestión de los recursos hídricos subterráneos, deben contar con hidrogeólogos al igual que deben contar con los usuarios constituídos en las Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas. Las CUAS deben ser un instrumento de colaboración y apoyo en la gestión de las masas de agua subterránea.

Como ya se ha dicho en varias ocasiones, disponemos de todo lo necesario para retomar con vigor las líneas de acción que nunca debieron abandonarse. Las normas vigentes de ámbito nacional y europeo son más que suficientes, es el momento actuar y de invertir decididamente en las aguas subterráneas.

Los equipos de profesionales no sólo están perfectamente capacitados para afrontar con éxito los retos de las innovaciones metodológicas y tecnológicas que la dinámica evolutiva demanda, sino que están deseosos de poder desarrollarse, personal y profesionalmente y en su país (y subrayo esto último) en la actividad en la que son especialistas.

Entre todos lograremos vencer las dificultades y garantizar que las aguas subterráneas sigan siendo una fuente de vida para las generaciones venideras.

Muchas gracias.

