

Las Claves del Agua

②

ISSN 2952-4938

MARZO 2025

LA GESTIÓN DE LA SEQUÍA



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: RESERVAS ESTRATÉGICAS FRENTE A LA SEQUÍA

Bartolomé Andreo Navarro
José Manuel Gil Márquez
José María Ávila Marín

Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga.

Resumen:

Las aguas subterráneas son un recurso hídrico estratégico, fundamental para satisfacer las demandas hídricas, especialmente en periodos de sequía. Aun así, se tiene poco conocimiento sobre ellas y sobre la sobreexplotación y la contaminación que amenazan su calidad y disponibilidad. Estos desafíos, deben abordarse desde la gestión conjunta del agua, que incluye la Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR), y con una gobernanza adecuada, promoviendo la creación de comunidades de usuarios. Para ello, es esencial mantener actualizado el conocimiento hidrogeológico y contar con equipos de técnicos cualificados (hidrogeólogos) en las administraciones y empresas. No se puede gestionar bien lo que no se conoce y las sequías se mitigan previendo las actuaciones con la debida antelación.

Palabras clave: acuífero; agua subterránea; gestión conjunta; recarga gestionada; sobreexplotación.

A menudo, cuando en España se habla de planificación hídrica o del abastecimiento de agua a grandes ciudades, se tiende a pensar en la regulación de agua superficial mediante presas. Ciertamente, los embalses proporcionan agua a una gran parte de la población y suministran agua a muchas comunidades de regantes. Sin embargo, no es menos cierto que existen otros recursos hídricos que contribuyen a las redes de distribución de nuestro país, y que suponen hasta una tercera parte del volumen total, en su mayoría correspondientes a recursos hídricos subterráneos (AEAS-AGA, 2022). A escala mundial, el agua subterránea representa el 25% del agua em-

pleada para regadío y hasta el 50% del agua de uso doméstico (ONU, 2022) y en Europa el 42% de los recursos hídricos destinados a todos los usos provienen de acuíferos ([WISE](#)). No en vano, se estima que las aguas subterráneas suponen hasta el 99% del agua dulce líquida disponible en nuestro planeta (ONU, 2022) y, además, los acuíferos que la contienen se distribuyen por todo el mundo, tanto en valles y zonas topográficamente deprimidas como en relieves (a menudo de naturaleza carbonática), ocupando más de la mitad de la superficie terrestre (BGR-UNESCO, 2008), lo que la hace fácilmente accesible.

Aun conociendo la abundancia y ubicuidad de las aguas subterráneas, siguen constituyendo un “tesoro oculto” en el subsuelo y resultan ajenas para muchas personas, pese a que podemos verlas cuando se manifiestan en superficie a través de manantiales, ríos, humedales o lagos. Sigue existiendo un gran desconocimiento en la sociedad acerca del origen de las aguas subterráneas y del funcionamiento de los acuíferos. Aún más grave es la falta de información que existe todavía acerca de muchos aspectos claves para la gestión del agua subterránea y que, a menudo, obligan a realizar estimaciones poco precisas de los recursos hídricos subterráneos, lo que conlleva errores en la planificación hidrológica. En el peor de los casos, incluso, se llega a evaluar la disponibilidad de recursos ignorando la interrelación entre las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, los acuíferos constituyen una reserva estratégica de agua que, con el debido conocimiento y la adecuada gestión, pueden ser grandes aliados para la garantía de las demandas, particularmente en los periodos de sequía.

En este artículo se pretenden explicar algunas cuestiones fundamentales acerca de las aguas subterráneas y plantear problemas y posibles soluciones encaminadas hacia la gestión conjunta del agua.

¿QUÉ ES UN ACUÍFERO Y CÓMO FUNCIONA?

Un acuífero es una formación geológica **porosa y permeable**, es decir, capaz de almacenar y transmitir agua subterránea. Por tanto, se trata de un volumen identificable de roca o de sedimentos, con una estructura y límites bien definidos, en el que existen oquedades interconectadas (**porosidad eficaz**), por las que circula el agua subterránea. Cuando se trata de materiales sueltos, formados por sedimentos, el agua fluye a través de los huecos que existen entre las partículas; son los llamados **acuíferos detríticos** (**figura 1**).

Otras rocas permiten el paso del agua por medio de fracturas interconectadas y forman los **acuíferos fisurados**. Por último, existen litologías que son solubles, como la caliza, la dolomía o los mármoles (también la sal y el yeso), en las que las fracturas se ensanchan por disolución o karstificación y forman

conductos y cavidades por las que fluye el agua subterránea. Se trata de los **acuíferos de tipo kárstico**. Las rocas que no presentan ninguna de estas características cuentan con una baja permeabilidad, por lo que suelen constituir los límites espaciales de los acuíferos, tanto en la base como en los laterales.

Los acuíferos también pueden clasificarse según la presión a la que el agua se encuentra en sus poros. En los **acuíferos libres**, que afloran normalmente en la superficie del terreno, el agua subterránea está a presión atmosférica. Sin embargo, existen también **acuíferos confinados**, limitados por arriba (a techo) y por abajo (a muro) por rocas impermeables (**figura 1**), en los que el agua subterránea se encuentra a la presión ejercida por la secuencia sedimentaria que tiene encima, mayor que la atmosférica, y, en ocasiones, cuando se realiza una perforación, el agua asciende hasta la superficie (pozos surgentes o artesianos).

Al contrario de lo que se pueda imaginar, el agua subterránea no permanece estática en el subsuelo formando un “embalse subterráneo” con un nivel horizontal, sino que constituye un manto o superficie que tiene una pendiente o gradiente hidráulico, lo cual provoca el movimiento o flujo agua. La entrada del agua a un acuífero se produce generalmente desde la superficie, mediante el proceso de infiltración del agua de lluvia, o desde ríos, lagos o humedales, pero también se puede producir lateralmente desde otro acuífero (**figura 1**).

En el proceso de infiltración, el agua atraviesa el suelo, un tramo del acuífero conocido como **zona no saturada**, en la que los poros de la roca no están permanentemente ocupados por agua, hasta llegar al **nivel freático** o **nivel piezométrico**, que es el límite superior de la **zona saturada**. El agua infiltrada que produce **recarga** se incorpora al flujo subterráneo, que tiene lugar desde zonas con mayor cota piezométrica a las de menor cota. El agua subterránea, tras circular un tiempo variable, que en ocasiones puede alcanzar cientos y miles de años, es drenada por el acuífero y a menudo emerge en superficie (se hace visible) en las zonas de descarga, en manantiales, humedales, ríos, lagos o mediante bombeos en sondeos, aunque a veces la **descarga** se produce subterráneamente hacia otro acuífero o hacia el mar -descarga submarina en acuíferos costeros- (**figura 1**).

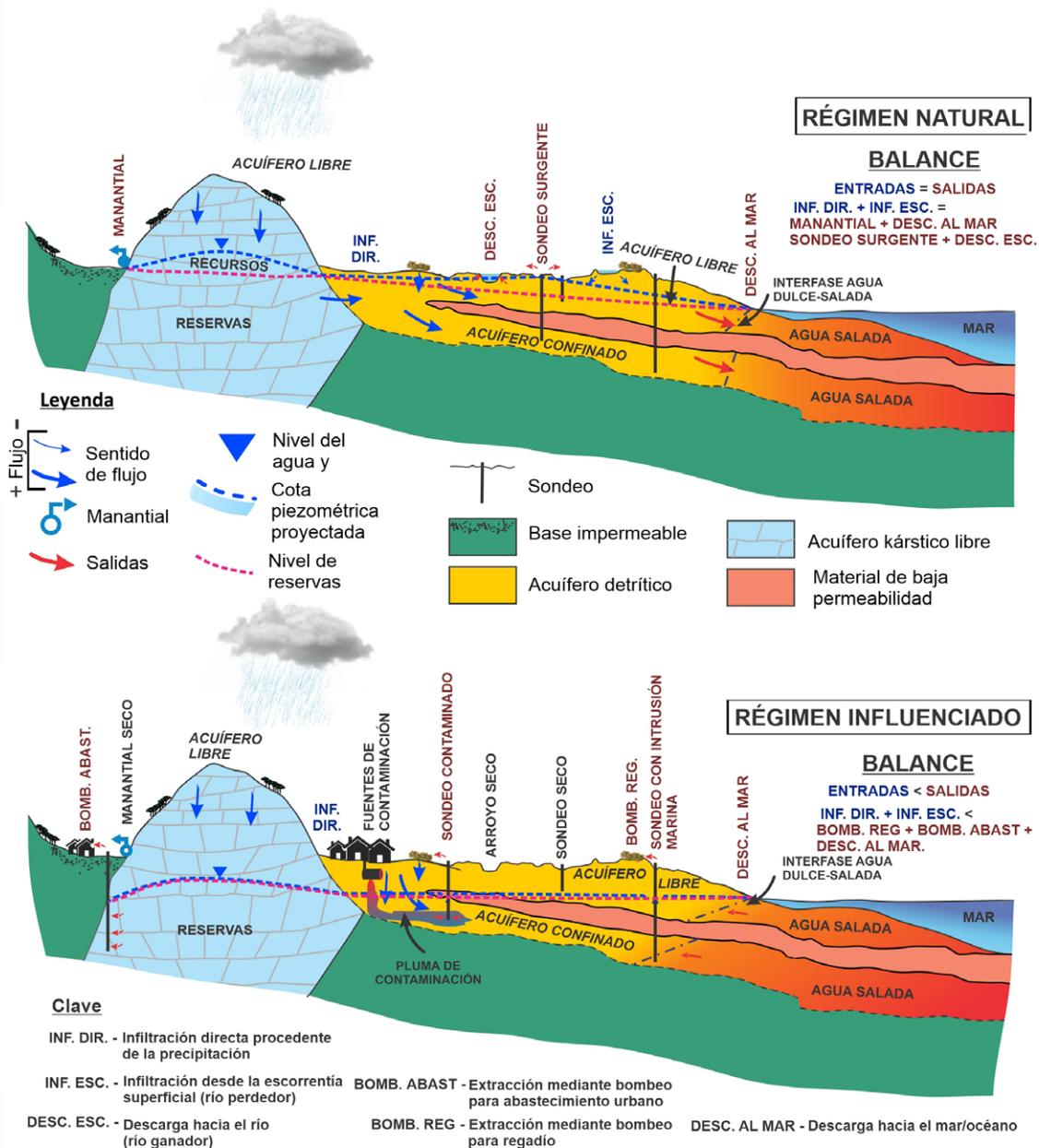


Figura 1. Esquema del funcionamiento hidrogeológico de acuíferos en régimen natural y en régimen influenciado por bombas sobreexplotación.

EL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA E IMPACTOS DERIVADOS

En condiciones naturales, el agua de recarga y de descarga de los acuíferos supone el mismo volumen anual en término medio, es decir, existe un balance equilibrado entre las entradas y salidas anuales de agua subterránea. Al volumen medio de recarga anual de un acuífero se conoce como **recursos**. Sin embargo, estos no suponen toda el agua subterránea existente, pues los acuíferos son capaces de almacenar mayores

volumenes de agua que se conocen como **reservas** (figura 1) y que, en condiciones naturales, no llegan a drenarse. Dependiendo de la geometría del acuífero y de su porosidad eficaz, el volumen de reservas puede llegar a superar con creces el de los recursos.

Históricamente, el agua subterránea ha sido extraída mediante pozos excavados de forma manual. Sin embargo, desde mediados del siglo XX, particularmente a partir de la década de 1980, los avances en las tecnologías de perforación han permitido realizar

sondeos de forma económica, rápida y a grandes profundidades. Ello ha derivado en un aumento de la **explotación** de los recursos hídricos subterráneos, a menudo carente de planificación. En algunas zonas, la extracción de agua subterránea es intensiva, pues llega a captar gran parte de los recursos, lo que genera consecuencias adversas en el normal funcionamiento del acuífero. Los efectos más palmarios son el descenso del nivel piezométrico y la reducción del caudal de los manantiales y ríos dependientes del agua subterránea. En ocasiones, el volumen extraído puede superar el del total de recursos y, como consecuencia, se comienza a captar agua de las reservas. Se llega así a una situación de **sobreexplotación**, en la que el nivel piezométrico desciende por debajo de la cota de surgencia de los manantiales (ríos, humedales) que, como resultado, terminan por secarse (**figura 1**). En determinados lugares, la sobreexplotación se intensifica en aras del desarrollo económico, sin tener en cuenta los impactos ambientales que puedan ocasionarse. El agua subterránea se extrae sin límite, incluso hasta vaciar la práctica totalidad de las reservas. Se llega así a una situación irreversible, en un proceso de **minería del agua**.

A los problemas de cantidad mencionados, hay que añadir los que se relacionan con la calidad química del agua. La sobreexplotación puede afectar negativamente a la mineralización de las aguas. Hay que tener en cuenta que el agua de las reservas ha permanecido mucho tiempo almacenada en contacto con la roca, por lo que puede presentar un contenido elevado de componentes disueltos. Por tanto, al ser movilizadas mediante bombeos, puede disminuir la calidad química del agua extraída para diferentes usos. En el caso de los acuíferos costeros, la sobreexplotación deprime la cota piezométrica por debajo del nivel del mar, lo que induce a una inversión del flujo, de manera que el agua salada entra hacia el acuífero, en un proceso conocido como **intrusión marina (figura 1)**. Por otro lado, la actividad humana desarrollada sobre los acuíferos genera desechos contaminantes que pueden infiltrarse junto con el agua de recarga y pueden incorporarse a las aguas subterráneas. No obstante, en los acuíferos, sobre todo en las zonas más profundas, existen condiciones poco oxidantes, o incluso reductoras, que favorecen la degradación de algunas de estas sustancias. Además, el paso del agua a través de poros en el interior del acuífero y, sobre todo, en la zona no saturada permite que muchos contaminantes puedan quedar atenuados o retenidos y, en consecuencia, se reduce su concentración

en las aguas subterráneas. La **vulnerabilidad** de los acuíferos frente a la contaminación es más baja que la de los embalses o ríos, sobre todo cuando existe una potente zona no saturada o, particularmente, cuando el acuífero es confinado.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO RESERVA ESTRATÉGICA DE AGUA FRENTE A LA SEQUÍA. PROBLEMAS Y SOLUCIONES.

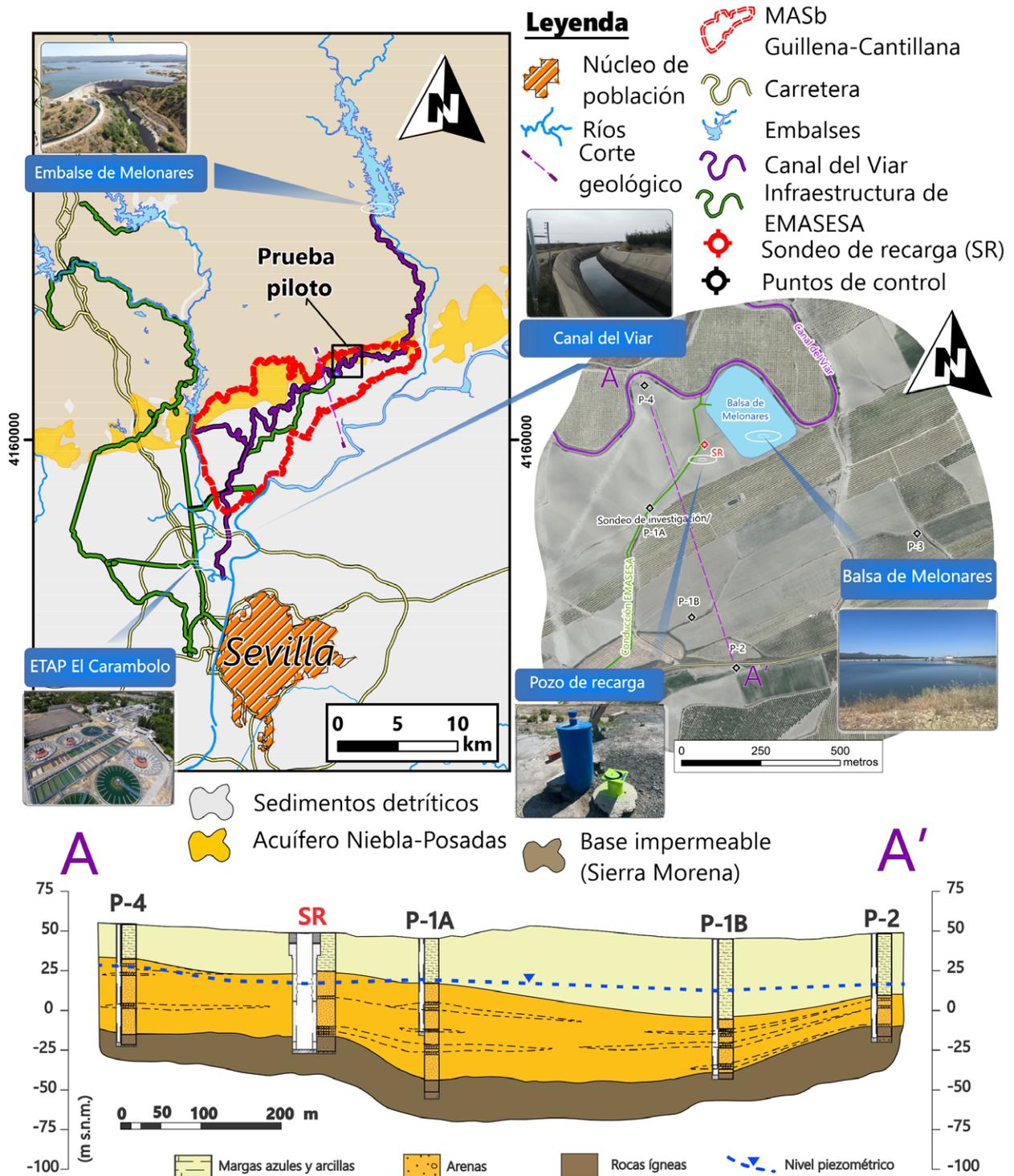
Las aguas subterráneas desempeñan un papel fundamental como **reserva estratégica de agua**, especialmente en contextos semiáridos, en los que son frecuentes los periodos de sequía. La existencia de acuíferos en buen estado, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo, supone una fuente de recursos hídricos valiosísima que, adecuadamente combinados con otros, pueden ser utilizados para garantizar el suministro cuando las aguas de origen superficial son escasas. Con este enfoque, conocido como **gestión conjunta del agua**, las aguas subterráneas pueden contribuir a satisfacer las demandas en época de estiaje o de sequías prolongada. Sin embargo, para que ello sea posible, es necesario tener un adecuado conocimiento de los acuíferos, que deben estar en buenas condiciones cuantitativas y cualitativas, es decir, deben contar con reservas y recursos y presentar agua con buena calidad química. Por tanto, es fundamental hacer estudios hidrogeológicos por técnicos cualificados (hidrogeólogos), controlar las explotaciones por bombeo y hacer un seguimiento adecuado del nivel piezométrico y de la composición del agua para **planificar la explotación de los acuíferos con racionalidad**, en aras de una **gestión conjunta** y de la mejora de la **gobernanza del agua**. Sin el conocimiento ni el control adecuados, el volumen de agua subterránea disponible para complementar o cubrir las demandas en momentos de escasez hídrica podría estar mermado y, en zonas costeras, el agua del acuífero se habría salinizado por la intrusión marina. Del mismo modo, se debe **controlar adecuadamente la calidad química de las aguas subterráneas**, mediante redes de control amplias y representativas, para actuar sobre la contaminación y sus focos de manera preventiva. Si no se lleva a cabo una buena monitorización, es posible que cuando se necesite extraer recursos para satisfacer demandas con requerimientos de calidad química muy restrictivos no se cumplan los parámetros mínimos para su uso o que el tratamiento del agua sea muy costoso.

La **Recarga Gestionada de Acuíferos** (MAR, del inglés *Managed Aquifer Recharge*) es considerada como una estrategia de gestión del agua fundamental para mitigar los efectos de la sequía mediante la mejora de la cantidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos (Dillon et al., 2019). Esta técnica de gestión consiste en la recarga inducida y planificada de agua en un acuífero para su almacenamiento y posterior uso o para generar beneficios medioambientales. Con ello se consigue reponer o mantener los niveles de agua subterránea durante épocas de abundante agua superficial y aumentar el volumen de almacenamiento de agua sin provocar pérdidas por evaporación. Además, si la calidad química del agua introducida en el acuífero es buena, puede contribuir a diluir la concentración de algunos contaminantes. Existen distintas técnicas de recarga gestionada: las modificaciones y la escarificación de los cauces de los ríos para fomentar la infiltración, las balsas o la inyección de agua en pozos y sondeos de recarga. Estos métodos MAR permiten una gestión sostenible y conjunta de las aguas subterráneas y superficiales mediante el almacenamiento en acuíferos, durante años húmedos, de excedentes de recursos procedentes de embalses, balsas de riego, cuencas fluviales, aguas pluviales urbanas o incluso agua regenerada, que después podrían bombearse para su uso en periodos secos. Además, las técnicas MAR también pueden contribuir a frenar la intrusión marina y a mantener las aportaciones hídricas hacia ecosistemas dependientes del agua subterránea. Este sistema de gestión amplía las opciones de almacenamiento y representa una estrategia resiliente de adaptación al cambio climático como parte de la gestión conjunta de recursos hídricos, que permite utilizar las aguas superficiales, las subterráneas o de otro tipo (desalación, regenerada), en función de su abundancia y del coste de extracción. Países como Australia, Estados Unidos, Holanda o Israel llevan décadas aplicando estas técnicas y, aunque con menor grado de implantación, en España existen varios casos de instalaciones y pruebas piloto de MAR (Fernández-Escalante, 2010). Precisamente, uno de los proyectos de recarga gestionada más recientes ha sido el llevado a cabo por EMASESA, con el apoyo del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), en el acuífero Niebla-Posadas, concretamente en la masa de agua subterránea de Guillena-Cantillana (CEHIUMA-EMASESA, 2023). En este contexto se ha realizado una prueba piloto de recarga gestionada a través de un sondeo perforado en la zona confinada del acuífero, junto a la llamada balsa de Melonares (**figura 2**), de donde se ha tomado el agua para la

operación de recarga. Esta infraestructura de regulación recibe, por medio del Canal del Viar, agua procedente del embalse de Melonares, que cuenta con una excelente calidad química. Además, en la balsa el agua es decantada, lo que favorece la disminución de sólidos en suspensión introducidos en el acuífero. Durante el ensayo se introdujeron más de 4.000 m³ de agua en el acuífero, con un efecto muy reducido sobre el nivel piezométrico de los puntos de control cercanos y sin que ello provocara afecciones negativas sobre la calidad química del agua subterránea (**figura 2**). Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la viabilidad de la recarga gestionada en el citado acuífero y, a falta de pruebas adicionales, permite ser optimista acerca del apoyo que un eventual sistema definitivo de recarga gestionada podría llegar a aportar al abastecimiento de la ciudad de Sevilla en periodos de escasez hídrica.

La gestión conjunta también requiere de una buena definición de los recursos disponibles y de la demanda existente. En ese sentido hay que destacar que en España se hizo un importante esfuerzo para caracterizar los principales sistemas acuíferos y evaluar sus recursos durante la década de 1970 y comienzos de la de 1980, gracias al Plan de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS). Sin embargo, desde entonces ha existido una clara dejación por parte de las administraciones en lo que a la actualización y generación de conocimiento hidrogeológico se refiere. Del mismo modo, hay que señalar que las redes actuales de control piezométrico y de la calidad química del agua subterránea son insuficientes en muchos casos para evaluar el estado de cada acuífero y para poder desarrollar modelos matemáticos de flujo subterráneo. No obstante, el actual **Plan de Acción de Aguas Subterráneas (2023-2030)** puede suponer una oportunidad para explorar los acuíferos menos estudiados y para actualizar el conocimiento de aquellos otros que se investigaron en su momento, así como para mejorar la monitorización hidrogeológica del país.

En cuanto a la demanda se refiere, la **gobernanza del agua**, en este caso subterránea, juega un papel clave para el uso eficiente del recurso. En nuestro país no hay un control adecuado de las extracciones de agua subterránea. Aunque existen concesiones para el aprovechamiento de este recurso y, pese a que según la normativa deben ejercerse revisiones periódicas de los caudales extractivos, la realidad es que las inspecciones raramente se producen y el control es escaso e insuficiente.



Del mismo modo, las **captaciones ilegales** proliferan por todo el territorio, incluso en acuíferos que cuentan con declaración de sobreexplotación. Ciertamente, la impunidad con la que en muchos lugares se extrae el agua subterránea sin autorización y la lentitud con la que se resuelven los expedientes de aprovechamiento de agua disuaden a muchas personas de actuar conforme a la normativa en cuanto a extracción de agua se refiere. Por todo ello, es necesario promover la constitución de **comunidades de usuarios** de agua subterránea que de forma organizada y democrática participen en el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos hídricos, velando al mismo tiempo por su protección y por el cumplimiento de la legislación vigente. La acción colectiva de estas entidades favorece una mayor eficiencia en la explotación y el control y ofrece un paraguas legal a todos los usuarios que la integran (Rica, 2016).

A toda la problemática ya mencionada, hay que añadir que la demanda de agua aumenta cada año como consecuencia del crecimiento demográfico y de la expansión de la agricultura de regadío. Además, existe un incremento generalizado de la temperatura ambiente global y los modelos climáticos pronostican un aumento de la evapotranspiración y de la recurrencia de los periodos de sequía en el sur de España (IPCC, 2022). Ello afectará especialmente a los recursos hídricos superficiales y tensionará aún más la

ya difícil gestión del agua. En ese contexto, las aguas subterráneas de los acuíferos constituyen una reserva estratégica que, bien gestionada y combinada con el uso de otros recursos hídricos y con una adecuada gobernanza, contribuirían a aumentar la garantía de abastecimiento. Sin embargo, esto solo será posible si las administraciones dedican medios económicos suficientes, de forma análoga a lo que ocurre con otros recursos hídricos (especialmente las aguas superficiales), y se crean grupos de técnicos especializados en aguas subterráneas (hidrogeólogos) en las demarcaciones hidrográficas, así como en otras administraciones del ámbito autonómico, provincial y local, e incluso en las empresas gestoras del agua. En paralelo, es imprescindible trabajar por la educación y concienciación ciudadana en materia de aguas, especialmente de las subterráneas, para preservar el buen estado de este tipo de recursos. Es preocupante que sigan existiendo errores conceptuales respecto a las aguas subterráneas, como, por ejemplo, la falta de conexión de las aguas subterráneas con las aguas superficiales y con el resto del ciclo hidrológico, el desconocimiento de cómo funciona un acuífero, el impacto de las actividades humanas en los acuíferos. Por tanto, se debe trabajar para **profesionalizar las administraciones y empresas con técnicos cualificados (hidrogeólogos)**, y para mejorar la **alfabetización de la sociedad** en materia de aguas subterráneas.



CONCLUSIONES

Las aguas subterráneas almacenadas en los acuíferos constituyen una reserva estratégica para mitigación de las sequías. Los acuíferos pueden almacenar grandes volúmenes de reservas hídricas, que no se ven afectadas por la evaporación y pueden permanecer almacenadas durante largos periodos de residencia (a menudo, centenares y miles de años). Asimismo, las aguas subterráneas son menos vulnerables a la contaminación que las que se encuentran en la superficie. Sin embargo, la explotación de los acuíferos debe ser sostenible y convenientemente planificada para evitar los efectos de la sobreexplotación, como el descenso de los niveles del agua subterránea y la afección a su calidad química. Por todo ello, se debe velar permanentemente por el buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua subterránea. La mitigación de las sequías debe planificarse

combinando adecuadamente los distintos recursos hídricos disponibles, actuando con anticipación, sin esperar a que se manifieste la sequía. Para lograrlo, es indispensable promover la realización de estudios hidrogeológicos, la profesionalización hidrogeológica de las administraciones y empresas con técnicos cualificados (hidrogeólogos), así como la ampliación de las redes de control piezométrico y de la calidad química. Igualmente, debe impulsarse la implantación de sistemas de recarga gestionada y la creación de comunidades de usuarios, mediante el desarrollo de normas específicas para ello y la dotación de medios económicos. Por último, pero no por ello menos importante, hace falta educar y concienciar a la sociedad sobre la importancia que las aguas subterráneas tienen para el mantenimiento de la vida, del desarrollo económico y social, y del medio ambiente. Es bien conocido que no se puede gestionar bien lo que no se conoce.

Referencias bibliográficas

AEAS-AGA (2022). XVII Estudio nacional de suministro de agua potable y saneamiento. Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento- Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua Urbana.

BGR-UNESCO (2008) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. WHYMAP. Groundwater Resources of the World. Mapa a escala 1: 25 000 000. Hannover/París. Disponible en: [enlace](#)

CEHIUMA-EMASESA (2023). Control e interpretación de los datos recopilados con motivo de la perforación de los sondeos, del ensayo de bombeo y de la experiencia de recarga en el entorno de la balsa de Melonares. Asistencia técnica a la redacción del proyecto piloto de gestión integrada de recursos subterráneos para el abastecimiento a Sevilla (Expte.:118/19). Etapa II: Investigación y selección del área Piloto. Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla – Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. 51 p.

Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lloria, M., Pyne, R.D.G., Jain, R.C., Bear, J., Schwarz, J., Wang, W., Fernandez, E., Stefan, C., Pettenati, M., van der Gun, J., Sprenger, C., Massmann, G., Scanlon, B.R., Xanke, J., Jokela, P., Zheng, Y., Rossetto, R., Shamruk, M., Pavelic, P., Murray, E., Ross, A., Bonilla Valverde, J.P., Palma Nava, A., Ansems, N., Posavec, K., Ha, K., Martin, R. y Sapiano, M. (2019). Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology Journal* 27, 1–30. Disponible en: [enlace](#)

Fernández-Escalante, E. (2010). DINA-MAR. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. *Desarrollo tecnológico*. 493 p.

IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

ONU (2022) Naciones Unidas, Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible. UNESCO, París.

Rica, M. (2016). Análisis de las acciones colectivas en la gobernanza del agua subterránea en España. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 154 pp.

Wise. (2024) *Freshwater Information System for Europe*. Disponible en: [enlace](#)

Las Claves del Agua



EMASESA



**OBSERVATORIO
DEL AGUA
DE EMASESA**



www.emasesa.com