

Importancia del estudio del agua subterránea en la enseñanza universitaria española y en la adecuada gestión del agua

Juan María Fornés, Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, España

Resumen

El agua subterránea en España constituye un elemento cada vez más valorado por los ciudadanos. A partir de la segunda mitad del siglo pasado, su uso experimentó un incremento hasta entonces desconocido que ha sido calificado como “revolución silenciosa”. Una prueba de ello es la presencia de la asignatura de hidrogeología en el currículo académico de numerosas universidades españolas (en estudios de grado y postgrado). Este conocimiento del agua subterránea ha hecho posible su adecuada gestión, entre otros motivos gracias a la incorporación de hidrogeólogos a cuerpos técnicos de la Administración del Estado, al establecimiento de redes de control cuantitativo y cualitativo por toda la geografía española, y a la existencia de un buen número de laboratorios de análisis de agua.

Introducción

Para muchos, el origen del agua subterránea es poco o mal conocido, y da lugar a mitos y malentendidos, y esto a pesar de que el agua subterránea es un elemento insustituible en buena parte del planeta e imprescindible para la salud humana y de los ecosistemas, así como para la buena marcha de la economía. El conocimiento científico de la hidrogeología, disciplina que se ocupa del agua subterránea, junto al desarrollo de las técnicas de perforación y de extracción, sentaron las bases de la extraordinaria difusión que ha experimentado esta ciencia, fundamentalmente desde la segunda mitad del siglo XX. Así ha ocurrido en España donde en la actualidad el requerimiento total de agua (superficial y subterránea) para usos consuntivos supera los 30,000 hm³/año; uso que se reparte entre los ámbitos municipal

(15%), agrícola (80%) e industrial (5%). El agua subterránea renovable está estimada, para la totalidad de los acuíferos españoles, en unos 30,000 hm³/año, siendo el consumo anual de 7,000 hm³, es decir, menor a 25% de la recarga. La organización de la Administración Pública del Agua se basa en la demarcación hidrográfica. Cuando esta excede el ámbito territorial de una comunidad autónoma se denomina cuenca intercomunitaria; en caso contrario, cuenca intracomunitaria y su gestión corresponde a la comunidad autónoma correspondiente.

ENSEÑANZA UNIVERSITARIA DE LA HIDROGEOLOGÍA

Estudios de grado. El plan de homogeneización de estudios de enseñanza superior que rige en la Unión Europea, y que coloquialmente recibe el nombre de Plan Bolonia, viene a sustituir los títulos de licenciado, ingeniero superior e ingeniero técnico por el de graduado, título imprescindible para el ejercicio de la profesión. Todas las titulaciones (salvo muy pocas excepciones) son de cuatro años.

Villarroya *et al.*, (2015), analizan en detalle la presencia de la asignatura de hidrogeología en los grados de geología, ingeniería geológica, ingeniería civil, ingeniería civil y territorial, ingeniería ambiental, ciencias ambientales, biología, ciencias del mar, farmacia y tecnología de minas y energía. En dicho estudio se especifican los créditos Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Crédito (ECTS) de cada asignatura. Estos créditos hacen referencia al trabajo del alumno en clase y fuera de ella, que se estima en veinticinco o treinta horas por cada crédito.

Algunos autores (Llamas *et al.*, 2001) estiman que el número de investigadores en hidrogeología vinculados a la universidad supera los 200, repartidos en una treintena de centros universitarios. De esa cifra, unos 50 ó 60 son profesores universitarios de plantilla; el resto becarios postdoctorales.

Estudios de posgrado. Se trata fundamentalmente de másteres impartidos por universidades, si bien unos pocos quedan fuera de

ese ámbito. En su esencia original, los másteres universitarios estaban diseñados para alumnos que buscaban una especialización en una materia concreta. Sin embargo, muchos de los que se ofertan hoy día están orientados a una mera ampliación de los estudios de grado.

Entre los másteres impartidos por la universidad, dedican un contenido total o parcial a la hidrogeología los siguientes (Villarroya *et al.*, 2015): Máster Profesional en Hidrología Subterránea (Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea y Universidad Politécnica de Cataluña); Máster de Recursos Hídricos y Medio Ambiente (RHYMA, Universidad de Málaga); Máster en Ciencia y Tecnología del Agua (CTA, Universidad de Girona); Máster en Hidrología y Gestión de los Recursos Hídricos (Universidades de Alcalá de Henares y Rey Juan Carlos); Máster en Agua y Medio Ambiente en Áreas Semiáridas (AQUARID, Universidad de Almería); Máster en Geología Aplicada a la Obra Civil y los Recursos Hídricos (GEORHID, Universidad de Granada); Máster Universitario de Ingeniería del Agua y del Terreno (Universidad Politécnica de Cartagena)

La Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea oferta cada año el Curso Internacional de Hidrología Subterránea, que alcanzará, en su versión presencial, su 50ª edición en 2016, y en su versión a distancia, su 14ª edición con titulación propia vinculada con la Universidad Politécnica de Cataluña. Es el curso de más solera y prestigio con formación específica en hidrogeología.

REDES DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, DE HIDROMETRÍA Y DE CALIDAD DEL AGUA

Para realizar un seguimiento adecuado de las características del agua subterránea y su evolución, es necesario disponer de unas buenas redes de control de piezometría (profundidad del agua en los acuíferos), hidrometría (caudal de agua registrado en manantiales) y calidad (parámetros físicos y químicos del agua). El buen diseño de una red lleva consigo la adecuada distribución y ubicación de sus puntos

de control, así como el mantenimiento, acondicionamiento y reposición de los mismos. Desde el año 2001, el responsable de estas redes es el Ministerio de Medio Ambiente, en la actualidad Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA); anteriormente la tarea le correspondía al Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Red de piezometría. En el IGME existen datos desde 1967 aunque opera con un control sistemático desde 1976. A partir de 1995 esta red del IGME es controlada de modo conjunto por este organismo y por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (DGOHCA), del Ministerio de Medio Ambiente y, según MIMAM (1998), cubría unos 165,000 km² del orden de 90% de la superficie permeable del territorio. La frecuencia de la medición era de tres a seis meses, con algunos puntos de medición mensual. Se controlaban unos 3,000 puntos con más de 10,000 medidas anuales, es decir, un punto por cada 55 km². En la actualidad el seguimiento de la red corresponde al MAGRAMA, que cuenta con 2,367 piezómetros distribuidos en diez demarcaciones hidrográficas; la toma de datos es mensual (en la demarcación hidrográfica del Duero es bimensual).

Red de hidrometría. La red de hidrometría del IGME ha tenido un desarrollo paralelo a la red piezométrica desde su instauración en la década de los setenta y es operada a partir de 1995 conjuntamente por el IGME y por la DGOHCA; cubría una superficie de unos 42,000 km² y estaba formada por casi 500 puntos de control en los que se efectuaron en 1996 más de 1,700 aforos directos (MIMAM, 1998). En la actualidad el IGME colabora en el seguimiento de esta red en algunas demarcaciones hidrográficas como son las del Guadalquivir, Ebro, Júcar y Segura.

Red de calidad del agua. Red instaurada por el IGME en 1976. Comprendía unos 1,800 puntos distribuidos aproximadamente en 60% de las unidades hidrogeológicas definidas con muestreos normalmente semestrales. Por ejemplo, en 1996 se tomaron algo más de 3,300 muestras (MIMAM, 1998), lo que supone casi dos muestras por año y punto. Entonces se analizaban la conductividad eléctrica

(CE), el pH y el contenido en iones de compuestos mayores disueltos. También había un seguimiento, al margen de la red básica, de la evolución de los nitratos en las zonas vulnerables formalmente designadas y existía una red permanente específica para controlar la evolución de la intrusión marina en algunos acuíferos costeros, con análisis de cloruros y CE. En la actualidad el MAGRAMA controla una red de 3,268 puntos, distribuidos en diez demarcaciones hidrográficas y mide cerca de 500 parámetros (más de 100 tipos de pesticidas) con frecuencia desigual (los nitratos se miden mensualmente). La campaña de toma de muestras suelen ser cuatrimestrales.

El IGME tiene registrados en su base de datos cerca de 140,000 puntos de agua. Parte de esos puntos se miden con regularidad pero otros sólo durante el periodo en que transcurren los proyectos de investigación. Como botón de muestra, en el periodo entre abril 2010 y noviembre 2014, se registraron 54,224 medidas de piezometría, 1,519 de hidrometría y 1,230 de calidad del agua.

OTRAS REDES DE CONTROL

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex) tiene su propia Red de Vigilancia Isotópica Ambiental. Actualmente se analizan 1,350 muestras/año procedentes de 77 puntos distribuidos por toda la geografía nacional. Las tareas que lleva a cabo, entre otras, son la vigilancia de radiactividad en aguas continentales y costeras y en agua para abastecimiento. Se miden los siguientes índices de actividad: α Total, β Total, β Resto, Tritio, espectrometría gamma y otros parámetros físico-químicos. Los datos se envían a las diferentes demarcaciones hidrográficas.

Este mismo Organismo (Cedex) gestiona, en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) y la Red Española de Vigilancia de Isótopos en Precipitación (REVIP). La REVIP se creó en el año 2000 con el objeto de aportar información de referencia sobre la composición isotópica de la precipitación en España para el

desarrollo de estudios y proyectos de investigación de hidrogeología e hidrología.

Para ello facilita valores mensuales de Deuterio y O-18 en dieciséis estaciones repartidas por el territorio nacional; respecto al Tritio, las medidas son anuales y en Madrid, mensuales. La distribución espacial y temporal de estos valores se ha utilizado durante décadas para identificar zonas de recarga en áreas montañosas, estudiar procesos de mezcla entre aguas de diferente procedencia o diferente edad en acuíferos, e identificar la interacción de masas de aguas superficial y subterránea, es decir, como ayuda en la definición de los límites de los sistemas acuíferos y del tipo de interacción a través de esos límites. Las muestras se envían al Organismo Internacional para la Energía Atómica (OIEA).

HIDROGEÓLOGOS QUE TRABAJAN EN LA ADMINISTRACIÓN CENTRAL DEL ESTADO

No es fácil responder a esta cuestión. En España no existe un grado universitario de hidrogeología. Esta especialidad se adquiere fundamentalmente a través de másteres que ofrecen las universidades. Para estimar el número aproximado de hidrogeólogos que trabajan en la Administración Central del Estado, se va a considerar a aquellas personas que poseen la especialidad de hidrogeología y se dedican al estudio y gestión del agua subterránea. Así, en el Área de Recursos Subterráneos de la Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico, perteneciente a la Dirección General del Agua del MAGRAMA, trabajan actualmente cuatro personas. En las confederaciones hidrográficas se puede encontrar una veintena de hidrogeólogos. En el IGME (Organismo Público de Investigación adscrito en la actualidad al Ministerio de Economía y Competitividad a través de la Secretaría de Estado de Investigación) trabajan en la actualidad unos 50 hidrogeólogos. La gran mayoría de los hidrogeólogos tienen el grado en geología aunque también hay graduados

en ciencias ambientales, física, química, farmacia, geografía, ingeniería civil, ingeniería de minas y energía, e ingeniería geológica.

LABORATORIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS Y DE ISÓTOPOS EN AGUA

Son numerosos los laboratorios que se dedican a analizar muestras de agua. Gran parte de ellos son privados, algunos de los más utilizados en España son los siguientes: Laboratorio de Calidad del Agua del Cedex, Labaqua, Oliver Rodés, SGS, Iproma y el Laboratorio de Aguas del IGME.

Respecto a laboratorios de medidas radio-ambientales, se destacan sólo los que están acreditados: Laboratorio de Radiología Ambiental (Universidad de Barcelona), Universidad de Sevilla, Institut de Tecniques Energetiques (Universidad Politécnica de Cataluña), Laboratorio de Radiactividad Ambiental (Universidad Autónoma de Barcelona), Laboratorio de Medidas de Baja Actividad (Universidad del País Vasco), Laboratorio de Centelleo Líquido, Enusa Industrias Avanzadas, S.A.–Fábrica de Juzbado, Laboratorio de Radiactividad Ambiental (Universidad de Extremadura), Laboratorio de Aguas del IGME, Unitat de Radioquímica Ambiental y Sanitaria (Universidad Rovira Virgili), Laboratorio de Radiactividad Ambiental (Universidad Politécnica de Valencia) y Fábrica Nacional de la Marañosa.

Entre las técnicas o equipos más comunes figuran: *a*) contador proporcional de bajo fondo, *b*) contador de centelleo líquido, *c*) espectrometría gamma de alta resolución, y *d*) espectrometría alfa. Menos común: *a*) espectrometría de masas con aceleradores de baja energía, y *b*) fluorescencia de rayos X con fuentes radiactivas. Estas técnicas permiten determinar en agua, entre otros, los siguientes isótopos: espectrometría gamma (Am-241, Cd-109, Co-60, Cs-134, Cs-137, K-40, Mn-54, Pb-210, Ra-226, U-235, Zn-65), Sr-90, H-3, PuTh-230, α Total, β Total, Pu-239/Pu-240.

Recomendaciones

Es deseable que los tomadores de decisión incluyan en sus resoluciones, a través de leyes, normas o regulaciones, la necesidad de contar con un número mínimo de investigadores cualificados en hidrogeología (en España es de 1/250,000 habitantes), incorporar bancos de información, y diseñar y llevar a la práctica programas ligados a conocer la calidad y cantidad del agua subterránea. Es apremiante también disponer de una infraestructura de laboratorios *ad hoc* que puedan realizar las determinaciones que sean precisas. Finalmente, la formación de personal ligado a estas actividades se torna una acción impostergable en cualquier país.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de Amalia Vergara, Itziar Vázquez, María Dolores Gómez-Escalonilla y Pablo Sastre del IGME; de Javier Rodríguez Arévalo y Silvino Castaño del Cedex, y de Antonio Pérez Baviera y Luis Martínez-Cortina del MAGRAMA. La información que han aportado ha sido muy útil para la elaboración de este estudio.

Bibliografía

- LLAMAS, M.R., *et al.*, *Aguas subterráneas: retos y oportunidades*, Fundación Marcelino Botín, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2001, 529 pp.
- MIMAM, *Programa de redes básicas de control de las aguas subterráneas. Cuencas intercomunitarias y Baleares*, Serie Monografías, Ministerio de Medio Ambiente, Centro de Publicaciones, 1998, 60 pp.
- VILLARROYA, F., Fornés, J.M. y De la Hera, A., “El Plan de Bolonia y su repercusión en la formación universitaria: su aplicación a la Hidrogeología en España”. *Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen XIII*, 2015, 3-18 p