

LA INVESTIGACIÓN DE ACUÍFEROS CONTAMINADOS: PERSPECTIVA DESDE EL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

A. Castillo Martín

Científico Titular del CSIC. Hidrogeólogo. Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. Granada) e Instituto del Agua (Univ. Granada)

RESUMEN

Se hacen algunos apuntes sobre el CSIC y su investigación en el campo de la contaminación de aguas, y más concretamente de las subterráneas. El enfoque, que no puede ser exhaustivo, se centra en los centros e institutos de Andalucía. Un repaso a las memorias de investigación y al libro de cursos de posgrado del 2001, refleja que los estudios se centran, sobre todo, en el suelo y franja no saturada, en la que se sigue la evolución de constituyentes tales como plaguicidas (fundamentalmente), nitratos y metales pesados; gran parte de los estudios ensayan con distintas sustancias las posibilidades de retención y degradación de dichos constituyentes. Como colofón, se expone brevemente la situación de la contaminación por nitratos del acuífero de la Vega de Granada, que se viene estudiando por el autor de esta nota desde el año 1982.

Palabras clave: *Consejo Superior de Investigaciones Científicas, investigación de acuíferos contaminados, Andalucía, nitratos, Vega de Granada*

EL CSIC EN ESPAÑA Y ANDALUCÍA

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (en adelante CSIC) se fundó en 1939, sobre las instalaciones de la Fundación Nacional para la Investigación Científica de 1931 y los de la extinta Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, creada en 1907 como organismo dedicado plenamente a la investigación científica y técnica en los diversos ámbitos del saber. Actualmente tiene la consideración de Organismo Público de Investigación (OPI), autónomo, de carácter multisectorial y multidisciplinar, adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología, con personalidad jurídica, patrimonio propio e implantación en todo el territorio nacional. Por el volumen de recursos y personal, es el OPI más importante de España. En él trabajan más de 8.000 personas, entre personal científico investigador, técnicos de apoyo a la investigación, de administración y servicios (tanto en régimen funcional como laboral) y científicos en formación (becarios) e investigadores contratados. Cuenta con un presupuesto anual superior a los 70.000 millones de pesetas (año 2000), siendo su tasa de autofinanciación del 40%. A nivel patrimonial dispone de unos 400 edificios, 200 solares y 20 fincas experimentales (con más de 10.000 ha); entre sus instalaciones y propiedades destacan la Reserva Biológica de Doñana (Huelva), el Observatorio Astrofísico de Sierra Nevada (Granada), la Residencia de Estudiantes (Madrid), el Museo Nacional de Ciencias Naturales (Madrid) o el Real Jardín Botánico (Madrid).

El CSIC desarrolla su actividad científica pluridisciplinar a través de una centena de Institutos y centros de investigación, de los cuales la quinta parte son centros mixtos con universidades y comunidades autónomas. Todos los centros se agrupan en ocho áreas científico-técnicas, que cubren casi todos los campos

de las humanidades, las ciencias sociales y las ciencias naturales, siendo esta última donde cuenta con la mayor parte de sus recursos.

Andalucía, con 20 centros, 4 de ellos mixtos, es, después de Madrid, la comunidad autónoma que cuenta con mayor número de centros del CSIC. En ellos desarrollan su actividad unas 1.400 personas, un 45% de las cuales posee titulación universitaria. Por provincias es Sevilla la que cuenta con un mayor número de centros (9) y de recursos humanos (un 50%). Le siguen Granada (5 centros y 25% de recursos humanos), Córdoba (2 centros) y Almería, Cádiz, Málaga y Huelva (con un centro; esta última con la Reserva Biológica de Doñana). Por áreas temáticas, y aunque todas están representadas, predominan los centros relacionados con los recursos naturales (6) y las ciencias agrarias (4), seguidos por los de humanidades y ciencias sociales (3), biología y biomedicina (2), ciencias y tecnologías: físicas (2), químicas (1), de alimentos (1) y de materiales (1). La delegación del CSIC en Sevilla es el centro encargado de coordinar en esta comunidad la política de relaciones con la Junta de Andalucía, las universidades, las empresas y la Unión Europea.

INSTITUTOS Y LINEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE CONTAMINACIÓN DE AGUAS EN ANDALUCÍA

Se sale fuera del objetivo de esta breve comunicación ofrecer un análisis sobre la investigación en contaminación de aguas, y más concretamente de aguas subterráneas, que realiza el CSIC. No obstante, a continuación se hacen algunos apuntes, a grandes rasgos, de la situación existente, relativamente dinámica en el tiempo, como cabe esperar de respuestas rápidas de la comunidad científica a los problemas y prioridades que la sociedad demanda en cada momento. En primer lugar cabe decir que la investigación sobre aguas se realiza mayoritariamente sobre las continentales superficiales (ríos, lagos, embalses...), y en mucha menor medida sobre las subterráneas; ello se debe a la mayor complejidad de interpretación de la hidrogeoquímica de las aguas subterráneas, para las que el CSIC dispone de pocos científicos especializados (a título de curiosidad, puede señalarse que, en el momento actual, en el CSIC no existe más que un hidrogeólogo de plantilla, el autor de esta pequeña nota, actualmente vinculado al Instituto del Agua de la Universidad de Granada). Otra parte de los estudios de contaminación se realizan sobre aguas marinas, a través de la red de centros del CSIC en esta línea. A nivel temático, cabe destacar los estudios químicos y microbiológicos de aguas, para los que se dispone de rutinas de análisis en todos los centros de recursos naturales y agrarios. Las investigaciones de aguas subterráneas se suelen centrar, fundamentalmente, en el suelo-franja no saturada (y en menor medida saturada) de acuíferos detríticos, afectados por prácticas agrícolas. De este modo, son numerosas las líneas de investigación sobre contaminación por nitratos, metales pesados y, sobre todo, plaguicidas. En la mayor parte de los casos, las investigaciones tienen por objeto, no tanto diagnosticar y describir las situaciones de afección, sino encontrar soluciones, por lo que es muy frecuente la experimentación con bio-remediadores o otras sustancias (arcillas y materia orgánica, entre otras) que aminoren las tasas de lixiviación de estos compuestos hacia las aguas subterráneas.

En concreto, en Andalucía se desarrollan investigaciones en esas líneas en la Estación Experimental de Zonas Áridas (Almería), Estación Experimental del Zaidín (Granada), Estación Experimental La Mayora (Málaga), Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Granada), Instituto de Agricultura Sostenible y en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (Sevilla). En muchos casos, las investigaciones son compartidas con grupos universitarios, que en el caso de las aguas subterráneas suelen aportar la interpretación hidrogeoquímica y su encuadre con el contexto hidrogeológico.

A título de ejemplo de la investigación-tipo que realizan estos centros del CSIC, a continuación cito los proyectos desarrollados dentro de convocatorias oficiales sólo por científicos del IRNA (Sevilla), y obtenidos del listado de proyectos de 1999 de su página web; estos son: "Contaminantes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente", "Influencia mutua de plaguicidas y metales pesados en su movilidad en el sistema suelo-agua...", "Arcillas como portadoras de plaguicidas polares para minimizar su impacto ambiental", "Development of biotechnology for soil detoxication from polycyclic aromatic hydrocarbons...", "Efecto de la adsorción de residuos orgánicos en la microagregación de la arcilla en el suelo", "Influencia de la composición de los suelos en la fotodegradación y adsorción de pesticidas...", "Movilidad de plaguicidas en suelos: efecto...en la reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas" y "Persistencia y movilidad de herbicidas de uso forestal".

Como es sabido, el CSIC no tienen encomendada docencia universitaria reglada; no obstante, son muchos los cursos de postgrado que realiza; a través de ellos también se pueden prospectar las líneas de trabajo desarrolladas por sus investigadores en relación con la contaminación de las aguas, y más específicamente de las subterráneas. En el libro de cursos para postgraduados del 2001 (CSIC, 2001) aparecen los siguientes cursos relacionados con el tema que nos ocupa:

- XXXIV curso de hidrogeología "Noel Llopis". El primer curso se desarrolló en 1967 en el ámbito del CSIC, por iniciativa del entonces catedrático de estratigrafía de la UCM y director del Dpto. de Geología Económica de Madrid, Noel Llopis Lladó. Constituye ya un clásico de los cursos para postgraduados organizados por el CSIC y el único de hidrogeología de alta especialización, si bien en su desarrollo participan mayoritariamente profesores universitarios y expertos de los organismos patrocinadores y organizadores (Universidad Complutense de Madrid, DGOH, IGME, ENRESA, INIMA, TRAGSA y CEDEX, entre otros). Se ha realizado en 34 ocasiones; tiene 400 horas lectivas y los temas 8 y 9 tratan sobre aspectos de química y contaminación de acuíferos. Hasta la edición 32 habían pasado por él cerca de 700 alumnos, la mitad de ellos procedentes de más de 30 países (iberoamericanos principalmente). La sede del curso es la UCM.
- VI curso de "Dinámica de contaminantes en el sistema suelo-agua". Se realiza en el IRNAS (Sevilla).
- II curso de "Consecuencias medioambientales de la explotación de acuíferos". Se realiza en el Instituto del Agua (Granada).
- II curso de "Hidroquímica y contaminación de aguas continentales". Se realiza en el Instituto del Agua (Granada).
- VIII curso de "Análisis y tecnologías del agua". Se realiza en la Universidad de Sevilla.
- III curso de "Efecto medioambiental de los fertilizantes y riegos en la agricultura". Se realiza en el IRNAS (Sevilla).

INVESTIGACIÓN DE ACUIFEROS CONTAMINADOS EN ANDALUCÍA: UN CASO DE ESTUDIO, EL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA

El acuífero de la Vega de Granada, y más concretamente la calidad y contaminación de sus aguas, ha merecido varios estudios por parte de la comunidad científica de Granada, y más concretamente del CSIC. Así, en los últimos años se han llevado a cabo tres investigaciones de Tesis Doctoral en dicho ámbito. La primera de ellas fue la realizada por el autor de esta nota, con el título "Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada" (Castillo, 1986); posteriormente, de la Colina (1996) realizó el trabajo titulado "Metodología para la determinación de residuos de plaguicidas en aguas; aplicación al acuífero de la Vega de Granada". Por último, Campos (1998), dedicó su estudio a los metales pesados en la Vega

de Granada. La primera tesis se realizó en el Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (centro mixto del CSIC y la Universidad de Granada, posteriormente reestructurado bajo la denominación de Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra), mientras que los dos trabajos restantes fueron realizados desde la Estación Experimental del Zaidín, también de Granada.

Los nitratos en el acuífero de la Vega de Granada

El acuífero de la Vega de Granada se asienta sobre una depresión aluvial de unos 200 km² de extensión; la mayor parte de ella está ocupada por cultivos de regadío, de 160 a 180 km², y el resto por núcleos urbanos e infraestructuras varias. Los residuos generados por ambas actividades, agrícola y urbana, generan una cierta contaminación del acuífero, que no es grave, debido a que la tasa de recarga del mismo es inusualmente alta para su superficie, del orden de 150 a 180 hm³/a; las aguas de recarga, por otra parte, son de una excelente calidad, al provenir, en gran medida de infiltración de aguas superficiales y de retornos de regadíos, a partir de aguas de deshielo de Sierra Nevada.

La afección más extendida e importante es la causada por los nitratos, procedentes en su mayor parte de los fertilizantes agrícolas. Se han realizado diversas investigaciones tendentes a cuantificar las aportaciones de nitratos (Castillo, 1986; Castillo, *et al.*, 1995) y se estima que el 75% del nitrógeno es de procedencia agrícola y el resto urbana (a través de la mineralización de la materia orgánica de las aguas residuales utilizadas en regadío). El aporte de nitrógeno por fertilizantes se estima en torno a 4.400 T/año, lo que equivale a una dotación media de 230 kN/ha.año. Esta dosis es similar a las aplicadas en otras áreas españolas de características análogas, y próximas a las establecidas como dotación para cubrir adecuadamente las necesidades nutritivas de los cultivos existentes. Sin embargo, el buen drenaje de los suelos de la Vega de Granada y las altas dotaciones de riego empleadas, normalmente por gravedad (surcos y a manta), facilitan especialmente el lixiviado de los nitratos contenidos en el suelo.

Las concentraciones en nitratos de las aguas subterráneas son muy variables en el espacio y algo menos en el tiempo, oscilando entre 25 mg/l en zonas de cabecera del acuífero (La Zubia, Alhendín...) y más de 200 mg/l en ciertas áreas (Valderrubio, Escóznar...); en la zona de aliviadero del acuífero, en Fuentevaqueros, las concentraciones son del orden de 40 mg/l. En los últimos años han saltado las alarmas en algunos abastecimientos urbanos, al superarse ligeramente los 50 mg/l, concentración máxima admitida por la legislación española para aguas de bebida.

Un estudio comparativo realizado para dos situaciones diferentes, entre los años 1980-83 y 1993-94 (Castillo, *et al.*, 1995), reflejó un práctico estancamiento de las concentraciones a nivel medio. La previsión de futuro no es fácil de hacer porque el área se encuentra desde hace unos años sometida a rápidos y variados cambios, de influencias potenciales contrapuestas. Por una parte se está urbanizando la zona, en detrimento de las zonas de regadío y, consecuentemente, de los aportes de fertilizantes, si bien por otra se están regulando mejor las aguas de superficie, aumentando las eficiencias de riego y disminuyendo las pérdidas desde acequias, lo que previsiblemente supondrá una pérdida de recarga y consecuentemente un aumento de las concentraciones de nitratos en un futuro próximo.

REFERENCIAS

- Castillo, A. 1986. Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada. Tesis Doctoral Univ. Granada. Serv. Pub. Univ Granada en coed. Con el IGME. 658 pp.
- Castillo, A; Martínez Carmona, N. y Pulido Bosch, A. 1995. Cuantificación del nitrógeno aportado por fertilizantes al

- acuífero de la Vega de Granada. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XX, 467-479
- Castillo, A.; Pulido Bosch, A. y Martínez Carmona, N. 1997. Evolution de la pollution par fertilisants dans un grand aquifere detritique du sud de l'Espagne. *Freshwater Contamination*. IAHS
- De la Colina, C. 1996. Metodología para la determinación de residuos de plaguicidas en aguas; aplicación al acuífero de la Vega de Granada. Tesis Doctoral Univ. Granada (inéd.). 303 pp.
- CSIC 2001. Cursos del CSIC para postgraduados 2001. Ed. CSIC (Departamento de Postgrado y Especialización).
- Gutiérrez, F. 1996. Centros del CSIC en Andalucía; información contenida en la Web de la Delegación del CSIC en Andalucía. Ed. Restringida. 84 pp.
- Web: www.csic.es (2001). Página web del Consejo Superior de Investigaciones Científicas