

LA INVESTIGACIÓN DE ACUÍFEROS CONTAMINADOS: PERSPECTIVA DESDE LA UNIVERSIDAD DE JAÉN

M.C. Hidalgo Estévez

Profesora Titular de Universidad. Departamento de Geología. Escuela Universitaria Politécnica de Linares. Universidad de Jaén.

RESUMEN

La protección de la calidad de las aguas subterráneas requiere de una caracterización adecuada de los procesos de contaminación –derivados de las actividades agrícolas, industriales y mineras o de la sobreexplotación de los acuíferos–, así como del control de la calidad de los recursos hídricos. Además, la prevención de la contaminación precisa de un buen conocimiento de los mecanismos de transferencia de los contaminantes hasta el sistema acuífero. En este sentido, resulta de gran utilidad la modelización matemática de los sistemas de flujo junto con los procesos geoquímicos y de transporte de contaminantes. A ello habría que añadir el interés de la investigación sobre métodos de descontaminación ambiental, referidos, en el caso de la provincia de Jaén, especialmente a la protección de los acuíferos en antiguas zonas mineras abandonadas.

Palabras clave: *recursos hídricos, control de la contaminación, transporte de contaminantes, abandono de minas.*

INTRODUCCIÓN

Una componente importante de la gestión ambiental y de la planificación hidrológica reside en la protección de la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Para ello es necesario disponer de estudios que aporten información sobre la magnitud de los problemas de contaminación, su gestión, prevención y corrección.

Esta caracterización, no siempre posible dada la escasez de controles sobre calidad de las aguas subterráneas, puede llevarse a cabo en determinados casos a partir de las labores de investigación desarrolladas desde el ámbito universitario. En este sentido, el Departamento de Geología de la Universidad de Jaén aborda desde dos vertientes complementarias el estudio de la contaminación de los recursos hídricos subterráneos. Por una parte, mediante la dirección de proyectos de fin de carrera relacionados con la identificación de focos de contaminación y el análisis de la vulnerabilidad de los recursos hídricos. Por otra parte, mediante el desarrollo de líneas de investigación específicas sobre la problemática de la contaminación de los acuíferos en la provincia de Jaén.

Dentro de los proyectos de investigación en curso, cabe destacar los trabajos llevados a cabo en relación con los acuíferos carbonatados de la comarca de la Loma de Úbeda y, especialmente, la investigación sobre contaminación de las aguas en regiones mineras abandonadas.

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS CARBONATADOS: LA COMARCA DE LA LOMA DE ÚBEDA

Las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta constituyen una importante unidad hidrogeológica localizada al N de Úbeda, con una superficie total próxima a los 800 km². Esta unidad carbonatada aflora en su sector septentrional, donde se comporta como un acuífero libre. Hacia el sur, donde aparece confinada por margas terciarias, queda limitada por las Unidades Olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir.

Es difícil, sin embargo, conocer la geometría de esta unidad carbonatada a partir de datos de superficie, por lo que se ha realizado una reconstrucción de la misma integrando datos referentes a sondeos mecánicos, sondeos eléctricos verticales e interpretación de líneas sísmicas realizadas por las compañías petroleras en esta región. De este modo, ha sido posible localizar los límites de este acuífero -que corresponden a los cabalgamientos prebéticos al este, en tanto que al oeste desaparece por acuñaientos progresivos- e identificar un conjunto de fracturas que compartimentan el acuífero (Rey *et al.*, 1998).

En amplios sectores del valle del río Guadalimar, donde aflora este sistema acuífero, se han desarrollado canteras que explotan como áridos las dolomías liásicas, fuertemente brechificadas y caracterizadas por una importante porosidad secundaria. Tal circunstancia hace que este sector del acuífero, en el que se produce buena parte de la recarga del mismo, resulte especialmente vulnerable a la contaminación, máxime cuando estas canteras se convierten en vertederos incontrolados tras su abandono como explotación.

Por otra parte, desde hace pocos años se explota el sector confinado del acuífero dolomítico jurásico mediante sondeos de profundidades entre 300-500 m, con caudales de bombeo que oscilan entre 15 y 40 l/s. Se ha constatado un considerable incremento de la salinidad del agua al aumentar la profundidad a la que se capta, relacionado con la disolución de los materiales sobre los que se dispone -arcillas y evaporitas del Trías-; además, la caracterización geoquímica de las aguas indica la existencia de procesos de reducción que pueden jugar un papel significativo sobre el quimismo de estos recursos hídricos (Hidalgo *et al.*, 1998c).

EFFECTO DEL ABANDONO DE MINAS SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS: EL DISTRITO MINERO DE LINARES.

Contaminación del agua por la actividad minera

Los contaminantes metálicos suelen incorporarse a los medios acuáticos como consecuencia de una variada gama de actividades antropogénicas: industria y minería, fundamentalmente. Aunque muchos de dichos elementos son micronutrientes, suele suceder que su concentración en el agua por exceso de unos determinados valores, generalmente pequeños (del orden de microgramos por litro), implica que el agua no sea apta para consumo humano. De hecho, estos metales pesados están clasificados como constituyentes tóxicos y peligrosos en todas las normativas sobre potabilidad de aguas.

En el caso de la actividad minera se da, además, un hecho de suma importancia: la afección medioambiental y el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas pueden perdurar durante largo tiempo, después incluso del abandono de la actividad. Estas afecciones químicas a la calidad de los recursos hídricos se relacionan fundamentalmente con la generación de aguas ácidas, la movilización de metales y la lixiviación en los depósitos de estériles y escombreras.

Las aguas ácidas de drenaje se originan por la exposición de los sulfuros, y especialmente de la pirita, a la acción del agua y el aire, en presencia de ciertas bacterias. La oxidación de la pirita libera iones hidrógeno, lo que conduce a una disminución del pH de las aguas y al incremento del contenido en sulfatos, hierro y otros metales en disolución. El proceso de lixiviación de metales se produce cuando el agua que se infiltra adquiere un elevado potencial de oxidación, controlado fundamentalmente por el pH y Eh de la solución (Langmuir, 1997).

Si el pH del agua aumenta, como ocurre cuando entra en contacto con minerales básicos o se mezcla con aguas de pH más elevado, los iones metálicos como Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} y As^{3+} pueden precipitar como hidróxidos, carbonatos, sulfatos y sus formas hidratadas. Los procesos de neutralización son relativamente frecuentes en la Naturaleza, y hacen que las aguas influenciadas por la minería no siempre se caractericen por un bajo pH. El drenaje de las minas puede ser neutro o básico, pero otro aspecto de suma importancia, desde el punto de vista de la contaminación, es el contenido en metales pesados, sulfatos, hierro, aluminio y sólidos en suspensión. Por ello, comienzan a utilizarse términos como "aguas influenciadas por la minería" ("mining-influenced waters", MIW) para hacer referencia a todas aquellas aguas, ácidas o no, cuya calidad química se ve afectada por las actividades mineras (Schmiermund, 1997).

Tras la clausura de las minas, las condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas pueden variar considerablemente respecto a lo que acontecía durante el periodo de actividad (Fernández-Rubio *et al.*, 1986). Las modificaciones producidas al adaptarse el sistema a las nuevas condiciones de equilibrio potenciométrico dan lugar, frecuentemente, a la generación de aguas con elevados contenidos en metales pesados. De igual modo, el incremento de las extracciones por bombeo puede incidir sobre la calidad de las aguas.

Movilidad de contaminantes metálicos en el batolito de Linares

En el caso del distrito minero de Linares, hoy día abandonado, fue necesario evacuar importantes cantidades de agua durante el periodo de actividad. Con la clausura progresiva de las diferentes explotaciones y el cese de los bombeos, los niveles piezométricos comenzaron a recuperarse de modo espontáneo, inundando buena parte del conjunto minero. En los últimos años, se han instalado bombas para extraer el agua de estos antiguos pozos de mina, con fines agrícolas.

La movilidad de contaminantes metálicos asociada a este cambio en el uso de las aguas subterráneas es objeto de un Proyecto de Investigación, dentro del Programa Nacional de Recursos Hídricos (HID98-0983, CICYT), desarrollado por el Departamento de Geología de la Universidad de Jaén, en colaboración con el Instituto del Agua de la Universidad de Granada y el Instituto Geológico y Minero, entre otros. Concretamente, el área geográfica que se investiga actualmente corresponde al enclave metalogénico filoniano del batolito de Linares, asociado con el cual existen importantes mineralizaciones de sulfuros metálicos. La investigación también comprende parte de los materiales que rodean al mencionado batolito: rellenos neógenos de las fosas de Linares y Bailén.

Actualmente las aguas en estos huecos mineros son ligeramente básicas y se caracterizan por una alta concentración en ion sulfato (varios cientos de miligramos/litro), lo que las diferencia de otras aguas asociadas a los granitos del sector (decenas de miligramos/litro), así como por presentar en ciertos casos contenidos elevados en Mn (algunos miligramos/litro) (Hidalgo *et al.*, 1998a). La generación de estas aguas sulfatadas probablemente esté relacionada con la oxidación de la pirita. El carácter alcalino de las aguas podría deberse a distintos procesos: a) la inundación de los huecos mineros cortó el aporte de oxígeno al interior de las minas, y por tanto, redujo la generación de aguas ácidas; b) la circulación del agua

habría lavado parcialmente los huecos abandonados desde hace algunas decenas de años; c) la fracción carbonatada presente en los filones puede neutralizar parte del ácido (Hidalgo *et al.*, 1999). Esta evolución hacia aguas alcalinas podría variar en un futuro, debido al descenso de los niveles piezométricos como consecuencia del aumento de las extracciones por bombeo.

Estas características hacen que la investigación sobre la contaminación por elementos metálicos precise de una red de control de calidad ambiental que permita disponer de información sobre las modificaciones de la calidad química de las aguas (Hidalgo *et al.*, 1998a y b). También es necesario analizar los materiales sólidos en contacto con la fase acuosa eventualmente contaminada, con objeto de caracterizar los contenidos en metales pesados que experimentan sorción en los mismos (El Mabrouki *et al.*, 2000).

Por otra parte, se requiere un conocimiento profundo de las características hidrogeológicas del sector afectado para prever los mecanismos de transferencia de los contaminantes hasta el sistema acuífero (Hidalgo y Benavente, 2001). En este sentido, la modelización matemática de los sistemas de flujo y la modelización de procesos geoquímicos y de transporte de contaminantes juegan un papel esencial como técnicas de predicción del potencial contaminante de la actividad minera.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En el marco del proyecto sobre movilización de metales pesados en los recursos hídricos de antiguos distritos mineros, se pretende llevar a cabo experiencias de restauración ambiental, tanto en lo relativo a aguas como a terrenos contaminados por efecto de las labores mineras abandonadas. Su interés reside en que la conservación de la calidad del suelo y de las aguas superficiales es indispensable como medida de protección de la calidad de las aguas subterráneas. Con tal objeto, se pretenden realizar experiencias de descontaminación mediante procesos biológicos de bajo coste (fundamentalmente tratamientos pasivos con humedales construidos y biopelículas).

Por otra parte, y dada la enorme importancia de las actividades agrícolas en la provincia de Jaén, es importante abordar el estudio de la contaminación de origen agrario, referida no sólo al problema bastante generalizado de los nitratos sino también a la necesidad de investigaciones referidas a otros productos de gran toxicidad ambiental, como los plaguicidas.

REFERENCIAS

- El Mabrouki, K., Hidalgo, M.C. y Benavente, J. 2000: Incidencia de las escombreras de minas abandonadas sobre la contaminación por metales pesados en suelos de la comarca de Linares (Jaén). *Geotemas*, 1(3), 101-104.
- Fernández-Rubio, R., Fernández, S. y Esteban, J. 1986. Abandono de minas: impacto hidrológico. I.T.G.E., Madrid, 267 pp.
- Hidalgo, M.C. y Benavente, J. 2001: Controls on groundwater chemistry in the Linares lead-copper abandoned mines (Spain). XXXI I.A.H. Congress, Munich, Alemania.
- Hidalgo, M.C., Benavente, J. y Rey, J. 1999: First results on the presence of metallic contaminants in waters after the abandonment of a sulphide mining district (Linares, Spain). *Mine, Water & Environment for the 21st Century* (International Mine Water Association), Sevilla.
- Hidalgo, M.C., Rey, J. y Benavente, J. 1998a: Contaminación por metales pesados de los recursos hídricos asociada al cese de las explotaciones mineras del batolito de Linares (Jaén). Reunión Científico-Técnica sobre el Agua en el Cierre de Minas, Oviedo.

- Hidalgo, M.C., Rey, J. y Benavente, J. 1998b: Contenido en elementos metálicos de las aguas superficiales del distrito minero de Linares (Jaén). *Geogaceta*, 24, 175-178.
- Hidalgo, M.C., Rey, J. y Redondo, L. 1998c: Origen de la surgencia del Balneario de San Andrés (Provincia de Jaén). *Geogaceta*, 24, 179-182.
- Langmuir, D. 1997. *Aqueous environmental geochemistry*. Prentice-Hall, New Jersey, 600 pp.
- Rey, J., Redondo, L. E Hidalgo, M.C. 1998: Intéres hidrogeológico de las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta (norte de Ubeda, provincia de Jaén). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11 (3), 213-221.
- Schmiermund, R.L. 1997. Acid mine drainage and other mining-influenced waters (MIW). En Marcus, J.J. (ed.), *Mining Environmental Handbook*. I.C.P., London, cap. 13. 599-609.