

# La contaminación y la renovación del agua subterránea a través de la representación gráfica de los isótopos

Joel Podgorski, Michael Berg y Rolf Kipfer

Cada vez resulta más difícil obtener agua subterránea de buena calidad para el consumo, la industria y la agricultura debido al aumento de la población, la sobreexplotación de los recursos hídricos, el uso de la tierra y el cambio climático. Los recursos de aguas subterráneas proporcionan el 50 % del agua de bebida a escala mundial y el 43 % del agua utilizada para el riego. No obstante, los acuíferos de aguas subterráneas cercanos a la superficie se contaminan fácilmente a causa de los fertilizantes y los plaguicidas, el vertido de productos químicos y las aguas residuales. Además, la sobreexplotación y la extracción incontrolada del agua de los acuíferos puede acabar con las reservas de este recurso debido al rápido descenso de los niveles freáticos.

Los mapas de vulnerabilidad de los acuíferos son un instrumento útil para ayudar a los responsables de la gestión del agua a proteger y conservar los recursos de aguas subterráneas. Estos mapas contribuyen a determinar qué zonas son especialmente sensibles a la contaminación o a la sobreexplotación y, consiguientemente, ayudan a fundamentar iniciativas en materia de gestión y rehabilitación de los recursos hídricos. La representación gráfica de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas también es clave para lograr el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas, u ODS 6, que pide garantizar el acceso sostenible al agua para todos y, en particular, al agua potable (meta 6.1), y que defiende, asimismo, la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (meta 6.5).

## Vulnerabilidad de los acuíferos

Desde un punto de vista técnico, la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación o a la sobreexplotación de sus aguas puede evaluarse de muchas formas. En el pasado, se empleaban las características geológicas generales, los datos de los sondeos y los datos hidrológicos regionales. Sin embargo, estos elementos suelen ser imprecisos, inexactos o sencillamente inexistentes. También se han utilizado modelos informáticos complejos, pero estos requieren datos exactos y a menudo su rendimiento se ve afectado por unos costos computacionales elevados y una disponibilidad de datos limitada, por lo que su aplicación se suele limitar a campos de estudio reducidos.

Los indicadores químicos y los análisis estadísticos pueden servir para establecer un vínculo entre los datos ambientales disponibles y la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Un ejemplo de ello es el nitrato, un contaminante del agua introducido principalmente por la agricultura cuya medición resulta sencilla y económica. A fin de elaborar mapas sobre la vulnerabilidad de las aguas subterráneas o para la protección



Joel Podgorski, Michael Berg y Rolf Kipfer trabajan en el Departamento de Recursos Hídricos y Agua Potable (W+T) del Instituto Federal Suizo de la

Ciencia y Tecnología del Agua (Eawag).

El Eawag es un instituto suizo de investigaciones hídricas que desarrolla conceptos y tecnologías para gestionar de manera sostenible las masas de agua y el agua como recurso. En colaboración con universidades, otras instituciones de investigación, entidades públicas, la industria y organizaciones no gubernamentales, el Eawag trabaja junto con su red internacional con miras a armonizar los intereses ecológicos, económicos y sociales en cuanto al uso de los recursos hídricos.

de este recurso, debe disponerse de los datos sobre el contaminante (a la sazón, el nitrato) o relativos al indicador de vulnerabilidad respecto de la zona que se quiere estudiar para que estos mapas predictivos sean fiables y exactos.

## Representación gráfica en línea

Con el fin de demostrar la eficacia de los mapas estadísticos de vulnerabilidad de los acuíferos, se volvieron a analizar los datos de un mapa de vulnerabilidad previo relativo al Canadá por medio de la Plataforma de Evaluación de Aguas Subterráneas (GAP), disponible en línea de manera gratuita ([www.gapmaps.org](http://www.gapmaps.org)). Los mapas de vulnerabilidad de los acuíferos generados mediante la GAP dieron lugar a un mapa predictivo probabilístico exacto de las zonas de alta vulnerabilidad de los acuíferos sin necesidad de recopilar una gran cantidad de datos sobre toda la zona objeto de estudio.

## Utilización del tritio para representar gráficamente las tasas de recarga del agua

En la lluvia se encuentran de forma natural trazas del radioisótopo tritio como resultado de la interacción de la radiación cósmica en la alta atmósfera. En los ensayos superficiales de armas nucleares llevados a cabo entre 1952 y 1962 se introdujeron grandes cantidades de tritio en el ciclo hidrológico, que, en consecuencia, se convirtió en un indicador mensurable de la recarga del agua subterránea moderna. Si bien los niveles globales de tritio presentes en las precipitaciones se han ido reduciendo hasta alcanzar los bajos niveles naturales anteriores a los ensayos con bombas, las capacidades de detección para la realización de análisis sensibles nos siguen permitiendo detectar con exactitud la presencia del isótopo.

Una de las principales ventajas de utilizar tritio, o  $^3\text{H}$ , para la representación gráfica es que este isótopo es un constituyente fundamental de la molécula de agua ( $^1\text{H}^3\text{HO}$ ) y, por lo tanto, está presente en las precipitaciones. Por consiguiente, todo el tritio detectable en otras etapas del ciclo hidrológico — ríos, lagos, aguas subterráneas— revela la presencia de agua contemporánea procedente de precipitaciones recientes. Así podemos saber si el agua data de los últimos decenios, información que podemos utilizar para determinar y representar gráficamente de forma directa hasta qué punto las precipitaciones podrían contaminar estos acuíferos, incluso aunque el agua subterránea nunca se haya contaminado.

Hasta la fecha, los métodos que se basan en mapas estadísticos para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos no han utilizado de manera generalizada las mediciones del tritio, ya que este no suele incluirse en los estudios de aguas subterráneas y su análisis aún es costoso. Entretanto, pueden emplearse otros parámetros isotópicos o de calidad del agua fácilmente obtenibles para la representación gráfica de las vulnerabilidades. Por ejemplo, el carbono 14, la composición isotópica estable del agua ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), el nitrato y el cloro también pueden ayudar a evaluar la edad del agua subterránea o comprobar si ha estado expuesta a la contaminación.

Los mapas estadísticos y en línea de la vulnerabilidad de los acuíferos y la recarga del agua subterránea mediante isótopos e indicadores químicos suponen un importante avance y constituyen una aplicación práctica del tritio y de los trazadores isotópicos naturales conexos. Actualmente, la aplicación de los extensos conjuntos de datos mundiales del OIEA relativos al  $^3\text{H}$ , el  $^2\text{H}$  y el  $^{18}\text{O}$ , junto con los mapas geoestadísticos anteriormente descritos, ofrece muchas posibilidades en relación con cuestiones referentes a la calidad y la cantidad de las aguas superficiales y subterráneas en todo el mundo. El OIEA está realizando nuevos esfuerzos en esta esfera en cooperación con el Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua (Eawag) a fin de llevar a cabo evaluaciones basadas en pruebas empíricas y representaciones gráficas del agua potable salubre a escala internacional. Asimismo, esperamos que la representación gráfica de los isótopos ayude a expertos de todo el mundo a gestionar las aguas subterráneas de forma sostenible y equilibrada.

*Este artículo se ha redactado en colaboración con hidrólogos isotópicos del OIEA.*

**Estudio de indicadores de vulnerabilidad de los acuíferos relativo a la región occidental del Canadá (izquierda), comparado con un nuevo mapa de regresión logística de los valores de esos indicadores de vulnerabilidad en la plataforma en línea GAP (derecha). Las zonas más vulnerables aparecen marcadas en rojo. Las zonas marcadas en verde son menos vulnerables o están adecuadamente protegidas frente a la contaminación superficial.**

(Imagen: Eawag)

