

La contaminación del agua subterránea

Por *Dr. Carlos Miguel Marschoff*

Foto: Camilo Lynch

El buen uso y gestión de los recursos hídricos, así como los efectos antrópicos y el control de la contaminación requieren de un conjunto de soluciones que funcionen armónicamente.

La población mundial y el consumo de agua han tenido un crecimiento sostenido durante el último siglo. Deben señalarse, sin embargo, algunas cuestiones. En primer lugar, la demanda mundial de agua no llega al 10% del volumen total de agua renovable disponible en el planeta; sin embargo, la heterogénea distribución del recurso, que determina que haya hoy un número creciente de países con déficit de disponibilidad de agua; los costos crecientes de obtención y tratamiento y el consiguiente esfuerzo por realizar un uso más racional del agua han llevado a disminuir los niveles de consumo per cápita respecto de épocas en las que esas limitaciones no constituían un factor importante

en los países más desarrollados.

En efecto, la adopción de técnicas más eficientes de uso del agua, sobre todo en lo que hace al riego, ha llevado a que, a pesar de que la superficie irrigada aumenta a un ritmo semejante al del incremento de población, la evolución del consumo de agua muestra una desaceleración (ver gráfico 1). Sin embargo, es claro que la demanda total continuará aumentando, impulsada por el crecimiento poblacional, y que satisfacer esa demanda será cada vez más difícil debido a los costos crecientes de obtención.

Dado que actualmente la provisión está satisfecha en su casi totalidad por agua dulce obtenida de fuentes superficiales (lagos y ríos) y de acuíferos, es importante reconocer

que ese incremento de costos está asociado con las diversas formas de deterioro que sufren estas fuentes.

La mayor parte de los recursos hídricos disponibles mundialmente está contenida en los acuíferos que, por un lado, son los que proveen el flujo de base para la alimentación de lagos y ríos y, por otro, son la fuente directa para el 40% de las áreas irrigadas y para la provisión de agua potable a más de 2.000 millones de personas [1].

Los acuíferos pueden ser afectados de dos maneras: por sobreexplotación o por contaminación. Los mecanismos de intervención humana que impactan sobre este recurso son el desarrollo de aglomerados urbanos, las actividades industriales y la agricultura.

Impacto de la urbanización

Cuando una ciudad depende en forma significativa del aporte de los acuíferos para satisfacer su demanda, es necesario analizar su situación tanto desde el punto de vista de la extracción de agua del depósito subterráneo, como en lo que se refiere al manejo de los flujos de descarga que van a afectar al acuífero.

La evolución de un acuífero sobre el cual se desarrolla una ciudad presenta cuatro etapas: en la primera se parte inicialmente de un poblado que toma agua del acuífero a baja profundidad. Como consecuencia de esa extracción hay una circulación horizontal del agua subterránea adyacente que recarga el acuífero en la zona de extracción, al tiempo que las descargas de agua servida vuelven también a él.

A medida que la población crece y el poblado se transforma en una pequeña ciudad, el proceso se intensifica y da comienzo la segunda etapa del proceso: se debe tomar agua a mayor profundidad para satisfacer la creciente demanda, la recarga no alcanza a compensar la extracción y aumenta el flujo de aguas servidas. Al mismo tiempo, se comienzan a generar vacíos subterráneos que pueden dar lugar a deslizamientos de tierra en la superficie.

La tercera fase del desarrollo comienza cuando la ciudad se extiende y se hace necesario realizar perforaciones a mayor distancia del centro urbano, lo que eleva el nivel de la zona original del acuífero, que ya no puede utilizarse directamente por el grado de contaminación acumulada.

Finalmente, los acuíferos cercanos a la ciudad no alcanzan a satisfacer la demanda y se hace necesario traer agua desde mayores distancias y sigue subiendo el nivel de la napa freática, que debe comenzar a ser desagotada.

A lo largo de este proceso pueden producirse distintos eventos. El primero y más evidente es el incremento de costos para obtener el agua a medida que se la debe buscar a mayores profundidades, o incluso traerla desde sitios alejados. Los cambios en el nivel del acuífero pueden producir deterioro en la calidad del agua, sobre todo en ciudades costeras, en las que se puede dar el ingreso de agua

de mar o en sitios en los que hay, en las proximidades, reservas de agua salobre.

El ingreso de agua salobre tiene además consecuencias severas sobre estructuras enterradas por sus características fuertemente corrosivas.

El segundo aspecto por considerar es la contaminación del acuífero urbano. Cuando los sistemas de tratamiento de líquidos cloacales e industriales no son eficientes, o cuando se producen derrames por pérdidas en juntas o rotura de ductos cloacales, se produce la difusión de estos líquidos al acuífero. La respuesta usual a este problema es abandonar los niveles superiores del acuífero y tomar agua de mayor profundidad.

Esta decisión, sin embargo, tiene consecuencias de largo plazo que deben ser consideradas. En particular, y dependiendo de las características de los acuíferos, la extracción excesiva de agua de los niveles más profundos puede generar diferencias de presión que den lugar a fenómenos de convección que lleven contaminantes de los niveles superiores a la zona de bombeo. Una alternativa altamente recomendable es establecer circuitos paralelos de bombeo que despachen agua de distinta pureza según el uso final que se le dará.

Otro problema que se puede producir cuando se toma agua de acuíferos o fuentes distantes y se produce la recuperación del nivel del acuífero original es que suban contaminantes que fueron descargados mucho tiempo atrás.

Impacto de la industria

La mayoría de las industrias no extractivas genera residuos contaminantes. Estos residuos cubren una amplia gama de sustancias que van desde los residuos orgánicos que producen molinos, mataderos, frigoríficos, fábricas de chacinados, fábricas de alimentos, etc., hasta sustancias químicas de la más diversa naturaleza (ver tabla 1).

Como puede observarse en tabla 2, los riesgos potenciales que se derivan de las actividades industriales son muy variados y, en muchos casos, de muy alto impacto. Por ello, prevenir la contaminación de acuífe-

ros por este tipo de actividad requiere la instalación, en las plantas de producción, de sistemas de tratamiento de efluentes eficientes y seguros que deben estar auditados por autoridades competentes.

La minería

Los potenciales impactos que puede generar la extracción de petróleo y de minerales sobre los acuíferos son más acotados que los de la industria. Los principales se resumen en la tabla 3.

La prevención de problemas que puedan afectar acuíferos como consecuencia de las actividades mineras requiere un diseño cuidadoso de las operaciones, desde la etapa de exploración hasta la del cierre definitivo de la mina, según el siguiente esquema:

- **Exploración:** ensayos de potencial liberación de contaminantes en el largo plazo. Asegurar un uso adecuado de las perforaciones de exploración una vez terminada la etapa ya sea por llenado y sellado o por su adaptación para controles hidrogeológicos.
- **Proyecto final:** prever la ubicación de facilidades de acceso a la mina para propiciar el cierre de posibles desvíos de agua luego del fin del proyecto.
- **Preparación del sitio:** construcción de los accesos respetando el proyecto. Ubicar las facilidades de procesamiento de minerales, diques de cola y acumulación de roca descartada en localizaciones que minimicen riesgos ambientales en eventuales emergencias.
- **Extracción:** diseñar cuidadosamente todos los elementos de modo de minimizar la posibilidad de inducción de flujos de agua desde estratos cercanos. Minimizar posibles flujos de contaminantes ácidos que cargan calca pulverizada o alternativas.
- **Gestión de desechos:** realizar previsiones para el manejo y disposición selectiva de las rocas de desecho más contaminantes.
- **Cierre de la explotación:** sellar los principales accesos a la altura del máximo nivel previsto para el acuífero. Establecer sistemas para monitorear la elevación del acuífero.

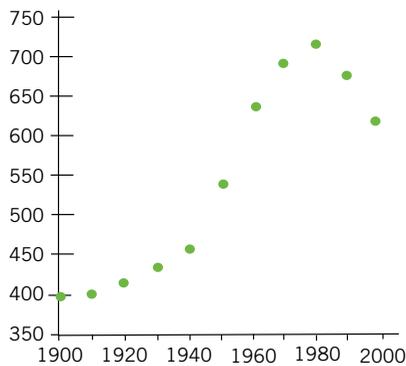


Gráfico 1. Consumo per cápita. Consumo de agua per cápita en el mundo, en m³ por año.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos del Banco Mundial.

- Restauración: verificar que los planes de restauración de huecos subterráneos y de depósitos de desechos tomen debida cuenta de los aspectos hidrológicos.
- Mantenimiento poscierre: poner en marcha un plan continuo de monitoreo y mantenimiento poscierre que incluya la previsión de posibles acciones de remediación.

Impacto de la agricultura

La expansión de las superficies cultivadas registrada durante la segunda mitad del siglo xx permitió multiplicar la oferta de alimentos. Esta expansión fue posible gracias, entre otros factores, a la generalización del uso del riego sobre grandes extensiones.

Dado que el riego está basado, en más de un 80%, en el uso de agua extraída de acuíferos, es pertinente plantear la cuestión de los efectos de esta práctica sobre estos reservorios.

La intensificación de la agricultura y del uso de agua subterránea tiene consecuencias ambientales que se manifiestan en tres aspectos:

- La salinización de suelos como consecuencia de un uso inadecuado del agua.
- La filtración a los acuíferos y la descarga a corrientes de agua de sustancias empleadas como fertilizantes.
- La filtración a los acuíferos y la descarga a corrientes de agua de distintos tipos de pesticidas.

El fenómeno de salinización se produce como consecuencia de la evaporación parcial del agua en exceso, que va concentrando en el suelo el contenido de sales. En terrenos en los que el riego se utiliza en exceso, se encuentran concentraciones de sales hasta 10 veces superiores a las del acuífero original. Este exceso de sales afecta la fertilidad del suelo y, a

medida que se prolonga en el tiempo, la forma de manejo va incrementando la salobridad del acuífero y, paralelamente, degradando el suelo, que pierde fertilidad.

Los fertilizantes se emplean como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio y su uso extensivo, sumado al riego, determina que se produzca una lixiviación importante de nitratos y,

Tipo de industria o proceso	Contaminantes potenciales principales
Adhesivos	Acrilatos, aluminio, solventes clorados, formaldehído, isocianatos, naftaleno, fenoles, ftalatos, tolueno
Alimentos y bebidas	Cloro, dióxido de cloro, nitratos, nitritos, pesticidas, aminas biogénicas, metano, dioxinas, materia orgánica general
Componentes eléctricos	Aluminio, ácidos, arsénico, berilio, cadmio, solventes clorados, cáusticos, cianuros, plomo, mercurio, níquel, germanio, selenio
Explosivos	Acetato de etilo, metanol, nitrobenzono, nitroglicerina, nitrotoluenos, PETN, tetraceno, tetryl
Fertilizantes	Amoníaco, arsénico, plomo, fosfatos, nitratos, sulfuros
Laboratorios farmacéuticos	Alcoholes, benzoatos, bismuto, colorantes, glicoles, mercurio, sulfuros, solventes clorados, nitrilos, fenoles, hidrocarburos aromáticos
Lavanderías y tintorerías	Hipocloritos, dicloroetileno, percloroetileno, tricloroetileno, cloruro de vinilo
Metalúrgicas	Arsénico, ácidos, berilio, cadmio, solventes clorados, cromo, plomo, mercurio, aceites minerales, níquel, azufre, sulfuros, cianuros
Papeleras	Acrilatos, solventes clorados, dioxinas, mercurio, fenoles, estireno, sulfuros, óxidos de azufre
Pesticidas	Arsénico, carbonatos, insecticidas clorados, cianuros, etilbenzono, plomo, naftaleno, fosforados, fenoles, ftalatos, tolueno, xileno
Pinturas y barnices	Acetatos, acrilatos, alcoholes, aluminio, cadmio, solventes clorados, cromo, cianuros, éteres, cetonas, plomo, mercurio, níquel, ftalatos, estireno, tolueno
Plásticos	Acrilonitrilo, antimonio, benceno, butadieno, cadmio, cloroformo, cromo, dicloroetileno, plomo, fenoles, ftalatos, estireno, sulfuros, cloruro de vinilo
Refinerías de petróleo	Alcanos, alquenos, benceno, etilbenzono, níquel, cromo, hidrocarburos, poliaromáticos, tioles, mercaptanos, sulfuros, tolueno, xileno
Textiles	Acetona, ácido acético, acrilatos, amoníaco, solventes clorados, cobre, formaldehído, naftaleno, níquel, ftalatos, colorantes
Tinturas	Acrilatos, amoníaco, antraquinona, arsénico, bencidina, cadmio, solventes clorados, cromo, ésteres, hexano, fenoles, níquel, ftalatos, oxálico, tolueno

Tabla 1. Principales contaminantes potenciales según el tipo de industria.

Industria o actividad	P	M. P.	As	M. O.	H. C.	O. S.	S. C.
Alimentos y bebidas	3	1	3	3	1	2	1
Textiles y curtiembres	1	2	3	3	2	3	3
Agroquímicos	2	3	1	1	2	3	1
Papel, imprenta, madera	1	2	1	2	3	3	1
Plásticos y productos químicos	1	3	3	3	3	3	3
Metalurgia básica	1	3	2	1	3	1	1
Procesamiento de metales	1	3	2	1	3	1	3
Otras industrias, incluida electrónica	1	2	1	2	3	2	3
Salud	3	1	3	3	2	2	1

Grado de importancia del tipo de contaminantes para diferentes sectores.

1: poco importante; 2: importante; 3: muy importante.

P.: patógenos; M. P.: metales pesados; As: arsénico; M. O.: materia orgánica; H. C.: hidrocarburos, aromáticos y fenoles; O. S.: orgánicos sintéticos, incluyendo biocidas; S. C.: solventes clorados.

Tabla 2. Contaminación industrial.

en ocasiones, cloruro de potasio. Los nitratos, altamente solubles, difunden hacia los acuíferos y, en muchos casos, determinan que el contenido de estos iones supere en un factor 5 o 10 el límite fijado por la OMS.

Los pesticidas, por su parte, constituyen un problema de contaminación que se manifiesta en forma más inmediata que los anteriores, dado que en este caso se trata de sustancias tóxicas, que pueden afectar seriamente la salud humana. La utilización de técnicas responsables de aplicación de estos productos debe ser una exigencia que cuente con un sistema de verificación y control.

La sinfonía del desarrollo humano

Desde el momento en que la preocupación por las limitaciones que

podría sufrir el planeta para sustentar la vida humana puso en todos los foros de discusión de las Naciones Unidas el concepto del desarrollo sustentable, se sucedieron instancias en las que predominó la preocupación por ciertos temas ambientales y se subestimaron otros. En los años setenta, el gran tema era el horizonte de las reservas petroleras: hasta cuándo se podía seguir en el marco de la energía con fuentes fósiles y cómo se abastecería el consumo incrementando en cantidad y calidad el estilo de vida de los países desarrollados.

A comienzos de 1990 se empezó a generar la conciencia sobre que frente al desenfrenado aumento de la población mundial, el cambio climático y los patrones de derroche de uso del agua, este recurso se transformaría en el gran generador de conflictos en un futuro no lejano, no sólo entre países, sino también entre regiones

o provincias de un mismo país. Se planteó, entonces, la necesidad de definir algunos temas centrales sobre los cuales tratar de intervenir para disminuir los conflictos existentes y para prevenir futuros eventos.

En el marco de las Naciones Unidas, esto fue comprendido rápidamente y se creó la Comisión Mundial del Agua para el Siglo XXI, que tiene por objetivo analizar y hacer el seguimiento de todas las cuestiones relativas al futuro del agua a nivel mundial.

La conservación y la buena gestión de los recursos hídricos, el enfrentar los efectos antrópicos que inciden en el cambio climático, la lucha contra la desertificación, la preservación de la biodiversidad y el control de la contaminación deberán apelar a soluciones variadas, algunas de altísima tecnología e inversión, otras de tecnologías simples apropiadas y de bajo costo, pero todas integradas para crear una única sinfonía, la del desarrollo humano, social y ambiental sustentable, de la que todos los habitantes del planeta son ejecutantes. ■

Carlos Miguel Marschoff es doctor en Química por la Facultad de Ingeniería de la UBA y dicta clases en la misma institución. Es director de Proyectos de Green Cross Argentina.

Actividad	Impacto potencial	Consecuencia
Lixiviado in situ	Derrame de solución	Contaminación de acuíferos o aguas superficiales
Extracción a cielo abierto o a baja profundidad	Inestabilidad en terreno	Deslizamientos
Extracción en profundidad	Aumento de transmisividad del acuífero por fracturas	Drenaje de aguas mezclado con otros acuíferos
Diques de cola	Pérdidas de efluentes	Plumas de contaminación
Acumulación de rocas	Lixiviado de metales	Contaminación de napas

Tabla 3. Contaminación por minería.

Fuente: Este artículo está editado sobre la base de un capítulo del informe "Agua: panorama general en Argentina", editado por Green Cross Argentina, 2011. Disponible en: www.greencross.org.ar

[1] Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (UNEP): "Groundwater and its susceptibility to degradation". 2003.