

Fuente: [Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente](#)

## **PRESENTACIÓN**

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), consciente de la problemática de preservar la salud pública, estructuró el Proyecto sobre Evaluación y Control de la Polución de Aguas Subterráneas. Uno de los objetivos de este programa es la elaboración de manuales sobre la preservación y control de la polución del recurso hídrico subterráneo. Este Folleto de Alerta pretende difundir, en lenguaje simple, la problemática de la degradación de la calidad de las aguas subterráneas, a fin de que se tome conciencia del problema y sean adoptadas las medidas preventivas y correctivas pertinentes. Esta segunda edición en portugués es una contribución del Departamento de Aguas y Energía Eléctrica (DAEE) del estado de São Paulo para la adopción de esas medidas de protección de las aguas subterráneas.

## **SOBRE LA AUTORA**

Rosa Beatriz Gouvêa Da Silva nació el 25 de febrero de 1952 y falleció trágicamente el 25 de junio de 1986. Geóloga y Doctora en Ciencias por el Instituto de Geociencias de la Universidad de São Paulo; Doctorada, Tercer Ciclo, en la Universidad Pierre y Marie Curie, Paris; Hidrogeóloga del Departamento de Aguas y Energía Eléctrica (DAEE), de São Paulo. Al iniciar el Programa Regional sobre Prevención y Control de la Polución de Aguas Subterráneas, se contó con la inestimable colaboración de la Dra. Rosa Beatriz Gouvêa Da Silva como integrante del Programa de Profesionales Jóvenes del CEPIS, cuyos conocimientos y dedicación en el campo de la HIDROGEOLOGÍA fueron importantes factores para el desarrollo del Programa. La calidad humana y la auténtica vocación profesional de Rosa motivaron el profundo reconocimiento de todos sus compañeros de trabajo; tuvimos la suerte de compartir de su presencia, optimismo y alegría, calidades que recordaremos en nuestro día a día.

## **EQUIPO DEL PROYECTO**

Ing<sup>o</sup> Alberto FLORES MUÑOZ  
*Director del CEPIS*

Ing<sup>o</sup> Henry SALAS  
*Asesor en Polución de Aguas / CEPIS Ing<sup>o</sup>*

Miguel VENTURA  
*Programa sobre Prevención y Control de la Polución de Aguas Subterráneas / CEPIS*

Sra. SONIA DE VICTORIO  
*Secretaria / CEPIS*

Sra. Isabel DELGADO DE RISSO  
*Mecanógrafa Bilingüe y Operadora en Procesamiento de Datos / CEPIS*

Srta. JESSICA FARFAN  
Programa Ciencias de la Comunicación/ Universidad de Lima\_

## **¿SABÍAS QUE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SON PARTE INTEGRANTE DEL CICLO HIDROLÓGICO?**

El ciclo hidrológico es la continua circulación del agua sobre nuestro planeta. Las aguas de los océanos, ríos, lagos, de la capa superficial de los suelos y de la transpiración de las plantas se evaporan por acción de los rayos solares. El vapor de agua resultante va a formar nubes que en condiciones propicias se condensan, precipitándose en la forma de lluvia, nieve o granizo. Cuando las precipitaciones caen en el suelo, una parte del agua escurre por la superficie, alimentando los ríos, lagos y océanos; otra se infiltra y una última vuelve a formar las nubes, retomando a la atmósfera por evaporación. Es un ciclo sin fin. Así como una esponja absorbe a agua, los suelos durante la infiltración hacen lo mismo, almacenando lo que llamamos de aguas subterráneas. Las aguas subterráneas también son alimentadas por ríos, lagos, canales y agua de deshielo.

## **LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SON ALMACENADAS EN LOS ACUÍFEROS**

Cuando a agua se infiltra en el suelo, avanza verticalmente por gravedad, a través de poros (vacíos) existentes entre los granos, hasta llegar al reservorio subterráneo. El reservorio subterráneo

es constituido por los espacios huecos o poros de las rocas. Éstos se encuentran conectados entre sí cual si fuese un sistema de pequeños canales, donde el agua es almacenada y circula muy lentamente. Existen rocas que son menos resistentes (o blandas) y son compuestas por materiales arcillosos, granos de arena o grava. Así como los solos, estas rocas presentan porosidad primaria, constituida por los vacíos entre los granos, como en la figura A. Las rocas más resistentes (o duras) son impermeables, pero muchas veces se encuentran fracturadas y entonces el agua puede almacenarse en los espacios de fracturas, tal cual se ve en la figura B. Existen también rocas, llamadas calcáreas, donde se forman cavernas y canales por la continua acción de disolución del agua, como muestra la figura C. Las figuras B y C representan rocas con porosidad secundaria.

La zona de suelo localizada arriba del reservorio subterráneo es la llamada zona no saturada. En ésta, los poros contienen agua y aire. Ya la capa de abajo del nivel de agua subterránea (superficie freática) tiene todos los sus poros llenos de agua y es conocida como zona saturada.

Se llama acuífero al reservorio subterráneo de lo cual es posible extraer una cantidad apreciable de agua.

## **\_TIPOS DE ACUÍFEROS**

En la naturaleza existen principalmente dos tipos de acuíferos:

a) libres (o freáticos) y b) confinados (o artesianos).

Los acuíferos libres se encuentran más próximos de la superficie y los acuíferos confinados se presentan, generalmente, a una mayor profundidad e intercalados entre capas impermeables. En este caso, el agua está bajo presión en los poros y cuando se construye un pozo, el agua sube, algunas veces hasta la superficie.

## **TIPOS DE POZOS**

Para utilizar las aguas subterráneas, el hombre dispone de fuentes o manantiales (de donde el agua brota espontáneamente) y, principalmente, de pozos que son perforados. Los tipos de pozos más comunes son: Pozos excavados: presentan grandes diámetros con profundidades generalmente inferiores a 25 metros y normalmente revestidos con cemento, baldosas o piedras. El agua

es generalmente extraída con baldes, bombas de pequeña potencia y molinetes. Pozos tubulares: presentan pequeños diámetros y profundidades que varían de decenas a cientos de metros, muchas veces revestidos con tubería intercaladas con filtros. El agua es generalmente extraída con bombas eléctricas y compresores. Son denominados de pozos artesianos cuando exploran acuíferos confinados.

## **LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 30% del agua dulce disponible en nuestro planeta. Los casquetes polares y glaciares contienen 69%. Apenas 1% forman los ríos, lagos y represas. Estos números dan a las aguas subterráneas una importancia fundamental. El aprovechamiento de las aguas subterráneas ha aumentado mucho en los últimos 20 años debido al incremento de la demanda y, también, en función de la degradación de la calidad de las aguas superficiales, como consecuencia del crecimiento poblacional y del desarrollo industrial y agropecuario. La figura a continuación muestra algunos de los numerosos ejemplos de lugares donde la utilización de las aguas subterráneas es importante para el abastecimiento público en América Latina y el Caribe.

Las principales ventajas de la utilización de las aguas subterráneas son:

- costo de construcción de pozos generalmente menor que el costo de las obras de captación de agua superficial, tales como represas, diques y estaciones de tratamiento;
- la mayoría de las veces, su calidad es adecuada al consumo humano, sin la necesidad de tratamiento (salvo en casos de contaminación natural y/o artificial);
- es una alternativa de abastecimiento muy conveniente en el caso de pequeñas y medias poblaciones urbanas o en comunidades rurales.

Por otro lado, las aguas subterráneas no son solamente importantes del punto de vista de la cantidad, sino también en el aspecto de calidad. Su deterioro por el efecto de polución puede acarrear consecuencias imprevisibles y onerosas llegando, en algunos casos, a situaciones irreversibles. A pesar de su importancia, las aguas subterráneas, están abandonadas, "Dios proveerá". A pesar de toda la importancia de las aguas subterráneas en el contexto de América Latina y el Caribe, existe

muy poca (y a veces ninguna) preocupación con su preservación. Actualmente existen ciudades abastecidas, en parte o totalmente por aguas subterráneas y que empiezan a experimentar básicamente dos tipos de problemas:

- sobre-explotación de acuíferos: la perforación de un número excesivo de pozos o pozos muy próximos unos de los otros y que funcionan continuamente está provocando un abatimiento de los niveles de agua en los acuíferos. Esto acarreará un aumento de los costos de bombeo, disminución del rendimiento de las pozos, posibilidad de recalque en los terrenos y, en casos extremos, extinción de los acuíferos.

- contaminación de las aguas subterráneas: es tal vez el problema más grave y ni siquiera por ello ha recibido la atención adecuada .

## **\_\_\_¿CÓMO OCURRE LA POLUCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS?**

La polución de las aguas subterráneas ocurre cuando los contaminantes llegan al suelo, que puede absorberlos cual si fuese una esponja; sin embargo, muchas veces, estos contaminantes llegan hasta el agua subterránea. La polución de las aguas subterráneas se puede dar por dos vías distintas: una, por el transporte de los contaminantes por las aguas de lluvia, que rápidamente se infiltran hasta alcanzar los niveles de agua subterránea; o cuando los contaminantes ya alcanzaron el acuífero, y se desplazan lateralmente. Como lo que ocurre en el subsuelo no puede ser visto, no existe preocupación con lo que está pasando. "Ojos que no ven, corazón que no siente". Los contaminantes son producto de la acción del hombre principalmente en las actividades domésticas, industriales, agrícolas y de extracción mineral.

## **\_POLUCIÓN DE ORIGEN DOMÉSTICO**

Por tratarse de materia orgánica, los residuos domésticos al contaminar las aguas, se transforman en nitratos, causantes de metahemoglobinemia (enfermedad de los bebés azules) y potencialmente cancerígenos. Los residuos pueden contener también otras sales y organismos transmisores de las denominadas enfermedades de origen hídrico (diarrea, tifus y cólera, entre otras). Los acuíferos freáticos están mucho más amenazados en lugares donde no hay red de saneamiento y estas aguas son lanzadas en fosas o letrinas de diverso tipos. Cuando

existe red de saneamiento, la preocupación es donde lanzar los residuos recolectados y si hay algún tipo de tratamiento.

Los acuíferos también pueden ser contaminados desde piletas de estabilización, ríos receptores de residuos e irrigación con aguas servidas. Del mismo modo, los terraplenes sanitarios y principalmente los vertederos, pueden ser fuentes de polución de origen doméstico.

## **POLUCIÓN DE ORIGEN INDUSTRIAL**

Muchas industrias pueden contribuir para la polución de las aguas subterráneas con metales pesados y compuestos químicos orgánicas, entre otros, que, incluso al por menor, pueden ser altamente tóxicos, causantes de cáncer y de mutaciones genéticas. En este caso, las lagos, pozos de infiltración o ríos son también el destino final preferido para los desechos industriales que muchas veces son lanzados sin ningún tipo de tratamiento previo, el cual podría disminuir sus efectos nocivos.

## **POLUCIÓN DE ORIGEN AGRÍCOLA**

Las prácticas agrícolas actuales se presentan como potencialmente contaminantes debido a las formas mecanizadas de manejo del suelo, a la aplicación intensiva y prolongada, en extensas áreas, de fertilizantes inorgánicos, así como al uso de agrotóxicos. Sumase a esto la irrigación excesiva del suelo, que contribuye con el arrastre e infiltración de nutrientes (especialmente nitratos), sales y trazas de compuestos orgánicos.

Las actividades de extracción mineral, explotación de petróleo y el destino final de la basura atómica son otros ejemplos de fuentes de polución de las aguas subterráneas.

Además de estas fuentes, los propias pozos pueden constituir focos potenciales de contaminación, si en el momento de su construcción, operación y/o mantenimiento, no son tomadas las debidas precauciones. Esto es preocupante principalmente en las grandes ciudades como, por ejemplo, Lima, São Paulo o Ciudad de México, donde el número de pozos en operación varia entre 1.500 y 7.000

## **¿CÓMO EVALUAR EL RIESGO DE POLUCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS?**

El riesgo de polución de las aguas subterráneas depende de dos factores: la vulnerabilidad intrínseca del acuífero; el tipo, cantidad y forma de lanzamiento del contaminante en el suelo. Se entiende por vulnerabilidad el conjunto de características del acuífero que determinan en cuanto podrá ser afectado por la acción de determinado contaminante. De esta forma, los aspectos que irán a desempeñar un papel fundamental son: el espesor de la zona no saturada (profundidad del nivel del agua), tipo de porosidad (primaria o secundaria), tipo de roca o suelo, velocidad de las aguas subterráneas y el rendimiento del acuífero. El tipo de contaminante será más peligroso cuanto más móvil y persistente sea en medios saturados y no saturados. Además, si la cantidad lanzada de contaminante sea grande, podrá superar la capacidad atenuadora del solo. En regiones muy lluviosas, tan solo una pequeña cantidad de contaminantes puede llegar rápidamente al acuífero por efecto del transporte de las aguas provenientes de las lluvias.

## **EL SUELO: PARTE DE UN TRATAMIENTO NATURAL**

Para que un contaminante llegue a las aguas subterráneas, tiene primero que infiltrarse y atravesar el suelo y la zona saturada. Muchas veces es un proceso muy lento y ... cuanto más tiempo, mejor. En este período ocurrirá el proceso llamado atenuación. En la zona no saturada, gracias a la presencia de agua, aire y microorganismos, ocurren reacciones que pueden modificar contaminantes, tornándolos inofensivos o menos peligrosos. Existen contaminantes que quedan retenidos en esta zona, ya que el suelo actúa como un filtro natural. Además, los suelos retardan la llegada de los contaminantes hasta las aguas subterráneas.

## **LOS SUELOS NO HACEN MILAGROS**

Los suelos presentan características y espesores variables de un lugar para otro y, por tanto, no siempre tendrán la misma eficiencia. De esta forma, cuando un determinado contaminante no puede ser degradado por la zona no saturada (sea en virtud de las características del solo y/o del contaminante, sea por el pequeño espesor del solo), acaba llegando a las aguas subterráneas. Ahí también puede ocurrir una atenuación del contaminante, sin

embargo la zona saturada es menos eficiente que la zona no saturada. En la zona saturada, el contaminante se va esparciendo poco a poco y, dependiendo de las condiciones de dilución, disminuye su concentración.

### **EN LA PRÁCTICA, UN ACUÍFERO CONTAMINADO ESTÁ CONDENADO**

Todo se complica ante la posibilidad de un acuífero al estar contaminado. Investigar el grado de polución es oneroso, lleva mucho tiempo y es difícil. Requiere la construcción de una red de pozos de observación, la colecta sistemática de muestras de agua y suelos para análisis, entre otras actividades. Si investigar no es fácil, recuperar un acuífero contaminado, ¡ni pensarlo! Las técnicas existentes hasta el momento tienen un costo elevado y generalmente son trabajosas o poco prácticas. La recuperación de este acuífero podría ocurrir de forma parcial o total, pero solo después de un intenso tratamiento a lo largo de varios años. Existen casos de tal gravedad que sería mejor abandonarlos. No estamos hablando hipotéticamente, sino de casos reales. Uno de ellos: En el año 1982, ocurrió un derramamiento accidental de productos químicos altamente peligrosos en la costa norte de Puerto Rico. El volumen derramado fue de 57m<sup>3</sup>, contaminando el acuífero. Este accidente engendró un gasto de 10 millones de dólares, invertidos en 3 años de estudios, tentativas de limpieza y búsqueda de otras fuentes de abastecimiento que pudiesen sustituir las pozos abandonadas. Estas medidas resultaron en la disminución de la polución; sin embargo, aún persiste. Por otro lado, abandonar un acuífero e ir a buscar agua en otra parte, también puede ser un procedimiento oneroso. Podemos citar un ejemplo: Supongamos que una ciudad con 50.000 habitantes es abastecida por 5 pozos tubulares (30 l/s, 200 m de profundidad cada uno, equipados con bombas); que el acuífero esté contaminado y que la alternativa más viable para resolver el problema sea abandonar las pozos y construir otros 5 del mismo tipo, a 1 km de distancia.

### **LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SON VALIOSAS, ES TAREA DE TODOS PROTEGERLAS**

Una rápida evaluación de costos, para este caso, resultaría en gastos del orden de:

Es caro, ¿no?

## **PROTEGE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Como vemos, el agua subterránea, como recurso natural renovable, puede degradarse y convertirse en un recurso no utilizable debido a la polución.

Un primer paso para prevenir esta situación es que todos debemos tomar conciencia de la magnitud y gravedad del problema. Pero solamente tomar conciencia no es suficiente. Debemos actuar y ser precavidos.

**En las zonas urbanas**, donde las aguas subterráneas son una fuente importante de abastecimiento - actual o potencial - para la población, es necesario que se establezca una “división por zonas de la vulnerabilidad a la polución”, de las aguas subterráneas, desde las características naturales de los acuíferos. De esta forma, podrían ser indicadas como zonas de alta vulnerabilidad, entre otras, las siguientes situaciones:

- acuíferos muy permeables (areniscas o rocas con permeabilidad secundaria desarrollada) y con niveles de agua poco profundas;
- áreas de recarga de acuíferos confinados.

Algunas medidas necesarias serían:

- Estricto control y vigilancia permanente, cuando no sea posible prohibir la instalación de industrias con gran volumen de efluentes y/o de efluentes peligrosos a la salud;
- En el caso en que ya existan industrias instaladas en la área y con almacenamiento de residuos peligrosos en su predio, realizar un inventario del tipo y volumen de los efluentes y establecer requisitos severos para la planta de tratamiento con un acompañamiento continuo de su eficacia;
- Limitar al máximo la instalación y operación de terraplenes sanitarios. Cuando no existen alternativas, su funcionamiento debe estar sujeto a un rígido control. Los costos se justifican pese la disminución del riesgo de polución del acuífero;
- Instalar una red de cloacas eficiente;
- Ejercer fiscalización efectiva y constante.

**En las zonas rurales**, en la agricultura, se debe implantar mejorías en las prácticas agrícolas, a fin de controlar los tipos de fertilizantes y pesticidas aplicados y las cantidades máximas

permitidas, bien como orientar sobre las formas y tipos de cultivos y los volúmenes de agua a ser aplicados en la irrigación.

**En las áreas de explotación minera**, será necesario controlar el lanzamiento directo de desechos, principalmente aquellos provenientes del lavado del mineral, evitando que lleguen a los cursos de agua.

La población misma, por medio de sus organizaciones, puede y debe indicar las posibles fuentes de polución bien como los efectos que estarían incidiendo en la salud pública, exigiendo así de las autoridades la atención necesaria y medidas reales para solucionar los problemas.

Por otro lado, las autoridades deben hacer suyas estas preocupaciones, asumiendo las siguientes acciones:

- A la luz del uso del agua subterránea, analizar la legislación vigente con respecto a la protección de los acuíferos y adecuarla a las necesidades del municipio, estado, región o país;
- Ejercer vigilancia en el cumplimiento de los dispositivos legales referentes a la protección de los acuíferos; contar con organismos y recursos humanos y financieros con quienes se pueda enfrentar el problema;
- Establecer una política y programas regionales de prevención y control de la polución y buscar soluciones para los problemas ya existentes. Además, será necesario desarrollar campañas de divulgación y capacitación con el objetivo de evitar estos problemas en otras áreas.