



USTED ESTÁ AQUÍ: INICIO / DESTACAMOS



Restaurando los Acuíferos

¿Qué tecnologías se emplean para la remediación de aguas subterráneas contaminadas en Chile? Aportamos un panorama respecto a esta actividad de saneamiento ambiental, destacando ejemplos y desafíos.

[Twitter](#) [Compartir](#) [Compartir](#)

De las **aguas subterráneas** poco y nada se sabe. Y es muy probable que esa sea una de las causas por las cuales no se valora su importancia, que es gigantesca: según Unesco, en torno al 99% del agua dulce en estado líquido del planeta se encuentra en las napas subterráneas.

Otro dato de relevancia indica que, a 2022, las aguas subterráneas aportaban la mitad del volumen del vital elemento para uso doméstico de la población mundial y alrededor del 25% del utilizado para el riego, abarcando el 38% de las tierras regadas del planeta.

"No obstante su importancia y potencial, este recurso no se comprende lo suficiente y se subestima, se contamina, se gestiona mal y se sobreexplota", afirma un reporte de Naciones Unidas.

Distintas Técnicas

¿Cuándo realizar la **remediación de las aguas subterráneas contaminadas**? Para el Dr. **Cristóbal Girardi**, Líder de Monitoreo y Remediación Ambiental de **Fundación Chile**, los proyectos de este tipo se definen en función del riesgo actual o futuro que pueda presentar un sitio contaminado. Y existen distintos tipos de tecnologías que se aplican de acuerdo con la preocupación asociada al impacto ambiental que afecta al recurso y los objetivos de la remediación.

Oscar Franchi, investigador postdoctoral de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la **Universidad Adolfo Ibáñez**, sostiene que un trabajo de **remediación de aguas subterráneas** suele ser necesario "cuando se ha confirmado la presencia de contaminantes en un acuífero que está siendo utilizado o podría usarse como fuente de agua potable, o cuando los contaminantes están amenazando ecosistemas acuáticos sensibles".

Girardi expone que en nuestro país se han utilizado distintas técnicas y escalas para realizar tal labor. "Sin embargo, no son numerosas las experiencias, destacando el uso de la **excavación y del bombeo y tratamiento de aguas subterráneas**", plantea.

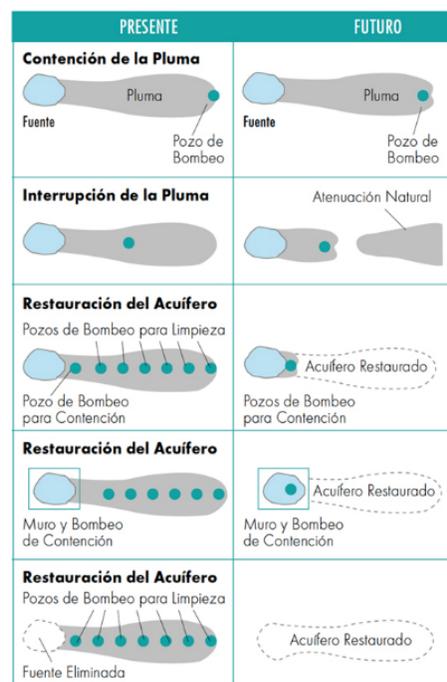
La excavación se puede utilizar cuando el suelo es la fuente contaminante del **acuífero**, los niveles de contaminación son considerables y el nivel freático es relativamente somero (poco profundo). "Es un método efectivo, pero costoso. Es aplicable a la **remediación de acuíferos contaminados** con metales e hidrocarburos,

por ejemplo, en Chile, por falta de regulación, es un método poco sustentable, ya que el suelo excavado puede enviarse a disposición final en un sitio para residuos peligrosos sin un tratamiento previo", afirma.

Para el bombeo y tratamiento, en tanto, existen distintas tecnologías. Detalla: "En el caso de contaminación por hidrocarburos, por ejemplo, se ha utilizado la extracción de fase libre de hidrocarburos mediante bombas de tipo skimmer o bombas de vacío, para el posterior **tratamiento de la fase libre de hidrocarburos (FLNA)** y el agua contaminada".

Girardi agrega que este tratamiento se ha realizado a través de **venteo y filtros de carbón activado** y, en algunos casos, estos fluidos residuales extraídos del acuífero también han sido enviados a disposición final o a refinación. "Esta estrategia es una de las más ocupadas a nivel mundial por su costo-eficiencia y numerosas aplicaciones. Posee la ventaja de poder utilizarse para altas concentraciones y distintos tipos de contaminantes, y que el agua, en general, es recuperada y hasta ha sido reinyectada al **acuífero**", acota.

Estrategias de Bombeo y Tratamiento



Del Suelo al Acuífero

Otro especialista en el tema, **Carlos Calderón**, gerente de I+D/Remediación Ambiental de **Biotechnos**, deja en claro que, por lo general, los procesos de contaminación de aguas subterráneas derivan de problemas de contaminación de suelos, en donde la lixiviación de los contaminantes contenidos en la matriz sólida alcanza napas subterráneas.

"Si un acuífero es impactado, a menudo es necesario considerar la **extracción de aguas subterráneas**. Con eso se logran 2 objetivos: minimizar el impacto y reducir la concentración del contaminante. El agua extraída debe ser tratada y evaluar su posterior reinyección o liberación cumpliendo las diferentes normativas. La generación de redes de pozos de **extracción/inyección** es la estrategia más utilizada para los propósitos antes descritos. En el diseño de esta red es importante considerar factores como el estrés del acuífero, formación de conos de depresión, concentración del contaminante, entre otros aspectos hidrogeológicos", precisa.

Subraya también la importancia de considerar la remediación del suelo impactado, "ya que éste puede funcionar como fuente de recarga del contaminante en el acuífero y, muchas veces, en suelos con contenidos altos de arcilla la liberación al medio acuoso se puede volver lenta y crónica en el tiempo, debido a la fuerte retención de contaminantes por las partículas finas del suelo".

Agrega que los **tratamientos del agua subterránea bombeada** a la superficie son variados, como los **procesos de adsorción con carbón activo, air-stripping** (comúnmente usado en contaminantes volátiles), y **tratamientos biológicos** (lodos activados), principalmente.

Comenta también que el **tratamiento de acuíferos** "puede realizarse **in situ** (sin bombeo de agua a superficie), inyectando aire u oxígeno (air sparging) cuando hay compuestos muy volátiles; mejorando la biodegradación mediante la inyección de aire intermitente (biosparging) en presencia de compuestos semi-volátiles; y vía oxidación química in situ (ISCO), inyectando oxidantes fuertes que degradan los contaminantes en el acuífero mediante la clásica reacción de Fenton".

Otras Opciones

Óscar Franchi concuerda en que entre las tecnologías más comúnmente utilizadas en Chile para la **remediación de aguas subterráneas están el bombeo y tratamiento**. Y añade la **inyección de reactivos**



químicos o biológicos en el acuífero para descomponer los contaminantes in situ, así como las **barreras reactivas permeables**, "donde se coloca un material reactivo en el camino del flujo de agua subterránea para tratar los contaminantes a medida que el agua los atraviesa", precisa.

Comenta que cada una de estas técnicas tiene sus ventajas y desventajas. "Por ejemplo, el bombeo y tratamiento puede ser muy efectivo, pero también costoso al consumir mucha energía; la inyección de reactivos puede ser menos costosa y más sostenible, pero su eficacia puede estar limitada por la distribución de los contaminantes en el acuífero y las condiciones geológicas; y las barreras reactivas permeables tienden a ser una opción de bajo mantenimiento, pero su instalación suele ser costosa y requiere una buena comprensión del flujo de agua subterránea".

Girardi revela que entre las alternativas **menos utilizadas** en nuestro país para la **remediación de acuíferos** están la **bioestimulación** y **bioaumentación**. Ambas consideran la estimulación de la microflora nativa capaz de degradar los contaminantes de interés mediante la generación de un ambiente más propicio para la actividad microbiana (aeróbico o anaeróbico), o la adición de microorganismos nativos o exóticos que han sido cultivados en laboratorio para aumentar el potencial de degradación o transformación del contaminante.

"Son alternativas efectivas, económicamente más atractivas y sostenibles, sin embargo, no son aplicables en general a niveles de contaminación muy altos", asegura el experto.

Ejemplos de Remediación

De acuerdo al especialista de **Fundación Chile**, uno de los proyectos más interesantes de **remediación** en este ámbito fue el de las **fosas de hidrocarburos en Magallanes**, "aunque en este caso el foco fueron los suelos, la fuente de **contaminación del acuífero**. Aquí destacan una multiplicidad de tecnologías que se combinaron para alcanzar la remediación, predominando la **biorremediación**".

Otra experiencia a resaltar, a su juicio, es la **remediación de un acuífero contaminado** con una fase libre de hidrocarburos en **Quintero**, "en la que después de una ardua labor de caracterización del sitio se propone e implementa un plan de extracción de la **FLNA** (fase libre de hidrocarburos), lo que permitió extraer más de 120 m3 de **FLNA** en 6 años. Aquí, además, se incluyó el seguimiento de indicadores de atenuación natural".

También releva la **propuesta de remediación del acuífero** en el terreno **Las Salinas** de Concón, que es icónica en Chile, "por el gran esfuerzo de caracterización realizado y por la prueba de distintas tecnologías de remediación que, finalmente, derivaron en la definición de una estrategia que combina distintas tecnologías, como la excavación del suelo, la biorremediación en biopilas del suelo contaminado y la bioestimulación, así como eventualmente la bioaumentación para la remediación del acuífero", especifica.

A nivel latinoamericano, Franchi menciona el trabajo realizado por la refinería de Barrancabermeja, operada por **Ecopetrol**, la más grande de Colombia y una de las más importantes de América Latina. "Durante décadas de operación se produjo una contaminación significativa por hidrocarburos en los acuíferos locales, por lo que la empresa implementó un proyecto de remediación que implicó el uso de técnicas tanto de bombeo y tratamiento como de bioestimulación. Este último tratamiento implicó la inyección de nutrientes a la zona contaminada para promover el crecimiento de microorganismos que pudieran descomponer los hidrocarburos", relata.

Mejor Regulación

Para que exista un mayor desarrollo en esta área, **Girardi** expresa la necesidad de "tener una mirada de largo plazo y una regulación que apunte a recuperar los suelos y acuíferos contaminados, que incluya en la ecuación de desarrollo no sólo variables económicas, sino que también ambientales y de bienestar de la población y los ecosistemas".

Agrega que pese a que el Ministerio del Medio Ambiente ha avanzado en el último tiempo en la definición de un sistema de gestión para sitios contaminados, nuestra legislación está muy rezagada y "**no tenemos un marco regulatorio específico para su remediación**. En concreto, no contamos con una norma de calidad de suelos ni tampoco para las aguas subterráneas que establezcan valores límite de concentración para distintos usos. Y tampoco está operativa una ley de daño ambiental, lo que entorpece la aplicación del principio 'el que contamina paga'. Además, el Estado no dispone de los recursos económicos ni de mecanismos que permitan financiar la remediación de sitios contaminados que están abandonados o no tienen un dueño identificado. También necesitamos guías que nos ayuden a diseñar e implementar proyectos de remediación, así como más personal especializado en el área tanto a nivel de proponentes como de evaluadores de este tipo de proyectos".

Manifiesta, asimismo, la necesidad que en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (**SEIA**) haya **condiciones de tramitación más expeditas** y con menos requerimientos para aquellos proyectos que buscan mejorar la condición actual de nuestros acuíferos. Y que éstos se diseñen y planifiquen en un marco colaborativo, con participación activa de los distintos actores interesados.

Franchi, por su parte, considera esencial "promover la **investigación y el desarrollo de tecnologías específicas para las condiciones hidrogeológicas y la naturaleza de los contaminantes presentes en cada sitio**. Además, se deben abordar los desafíos asociados con la caracterización adecuada de la contaminación, la selección de la tecnología más apropiada y la evaluación a largo plazo de la efectividad de las soluciones implementadas".

Por otro lado, a juicio de Calderón, "se necesita una mayor cantidad de profesionales perfeccionados en el

área de contaminantes para la modelación de plumas y con conocimientos de campo para determinar los parámetros fisicoquímicos de los acuíferos". Enseguida menciona otro problema a resolver: "Las tecnologías de tratamiento de aguas muchas veces no están disponibles fácilmente en el país y los tiempos de importación de equipos y piezas específicas son largos pese a la premura con que se necesitan".

DATO:

20

Años trabajando en el área de remediación de sitios contaminados suma Fundación Chile. Por ejemplo, ha realizado más de 100 evaluaciones de riesgo ambiental y 28 proyectos de remediación. También ha elaborado estándares y herramientas de referencia nacional para el monitoreo, la evaluación y remediación de suelos contaminados.

Artículo publicado en [InduAmbiente n° 183](#) (julio-agosto 2023), páginas 100 a 103.



INDUAMBIENTE

Av Los Leones 382 Oficina 102
Providencia - Santiago - Chile
+56 2 2927 2000
info@induambiente.cl
©InduAmbiente 2023

