

IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL USO INADECUADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN MÉXICO (NA XI)

Joel Carrillo Rivera¹
Rafael Huizar-Alvarez²
Antonio Cardona³
Griselida Varela González²
Eduardo Granel-Castro⁴
Gerardo Zenteno²

Introducción

El agua subterránea es un elemento con comportamiento dinámico que es la base fundamental del desarrollo del país ya que más del 99% del agua dulce asequeable en el territorio está en el subsuelo; más de 70 millones de mexicanos, un 70% de la industria y más del 20% de la agricultura, dependen de esta fuente. Desde el inicio, la extracción del agua subterránea en México se ha caracterizado por su falta de manejo, ya que sólo se puede manejar lo que se conoce cómo funciona. En este sentido muchos de los efectos ambientales negativos producidos por el uso del agua subterránea se han transferido al usuario, quien es señalado por la sociedad como el culpable, olvidando que existe una autoridad legal responsable de la administración del agua en el país. La extracción inadecuada del agua subterránea ha ocasionado, al menos: *i)* cambio en las condiciones de recarga, *ii)* impacto extracuenca superficial produciendo reducción de la alimentación de agua dulce a lagunas costeras y cuerpos de agua continental, *iii)* la construcción y operación ineficiente de pozos que produce un abatimiento excesivo del nivel freático con incremento innecesario del uso de energía en la extracción por bombeo, *iv)* cambio de la calidad del agua por contaminación e inducción -por extracción- de agua con calidad no deseable, *v)* inundación por importación de agua de otra cuenca, *vi)* incremento de erosión al suelo, *vii)* consolidación del suelo, *viii)* desaparición de vegetación nativa. Es interesante anotar que este tipo de impactos relacionados con el mal manejo del agua subterránea han sido comúnmente denominados como actos de "sobrexplotación" sin diferenciarlos, sin establecer una escala de efecto, sin definir su funcionamiento dinámico particular. Los impactos aquí propuestos se han caracterizado con base en información limitada publicada y asequeable donde resaltan trabajos sobre procesos de consolidación y calidad del agua (<http://www.aquasmx.igecograf.unam.mx/>). También es notoria la escasa cobertura nacional, lo que pone en evidencia una carencia de programas de observación y evaluación de resultados sobre el comportamiento del agua subterránea y su relación con diferentes componentes del ambiente.

Al tratar de definir la relación que guarda el agua subterránea en el ambiente es necesario invocar la definición de este último de acuerdo con la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* la cual lo define como "el conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinado", esto implica que el agua subterránea es parte indivisible del ambiente.

Fundamentos sobre los sistemas de flujo de agua subterránea

El flujo subterráneo se desarrolla desde la superficie del terreno al infiltrarse el agua de lluvia hasta gran profundidad, su movimiento es gobernado en buena parte por la fuerza de gravedad, y se mueve en el medio geológico a una velocidad que va desde centímetros hasta metros por año. Si en una sección de la superficie terrestre se detiene el flujo de agua subterránea por un instante, se podrá estimar su movimiento en el plano vertical, lo que resulta en la definición de zonas de recarga, tránsito, y descarga (Figura 1). Jerárquicamente se puede considerar tres sistemas principales de flujo subterráneo que se establecen con la topografía y el marco geológico presentes: local, intermedio y regional. Un flujo local se genera y descarga en el mismo valle. En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio. Los sistemas regionales se desarrollan a más profundidad y van de la parte más alta a la zona de descarga más baja de la cuenca. El desconocer como funciona el flujo subterráneo y los equivocados criterios para realizar el balance hídrico han originado múltiples casos de impacto ambiental severo.

Impactos ambientales

El desarrollo sustentable de cualquier región debe mantener el equilibrio de los ecosistemas que la rodean, en un sentido amplio, de su ambiente; es evidente que en México el conocimiento del funcionamiento del agua subterránea como eje motor de desarrollo ha sido soslayado, lo cual ha evitado dar a sus habitantes el derecho inalienable de una calidad ambiental mejor, ya que la calidad ambiental depende directamente del agua presente. Los problemas ambientales identificados en este trabajo evidencian el desconocimiento de cómo funciona el agua subterránea así como su uso inadecuado, lo cual aquí se ha caracterizado con dos ligas. Una que produce impactos ambientales que se pueden argüir como invisibles ya que no se visualizan por la población como resultado causa-efecto, y otra que puede denominarse como impactos

ambientales visibles, los cuales son mayormente manifiestos y reconocidos por la población. Ambos son resultado de una deficiente administración, falta de previsión técnica sobre la respuesta de la extracción del agua subterránea, y de no reconocer cómo se relaciona con otros componentes del ambiente. De seguir con esta forma de trato al agua subterránea se tendrán impactos más serios y de mayor extensión a los esbozados en el mapa (NA XI 1 A). Los impactos observados muestran que se requiere se realice la administración del agua en forma económicamente viable, socialmente equitativa, ambientalmente sustentable, políticamente legítima, legalmente correcta, y científicamente acertada.

Impactos ambientales invisibles

Alteración de la recarga: la actividad humana transforma el uso del suelo y en consecuencia puede disminuir el volumen de agua para infiltración y finalmente para la descarga la que repercute en la falta de alimentación de agua subterránea a lagos (Cuitzeo, Chapala), pantanos (costas de Oaxaca), humedales (Xochimilco), ríos (Aguanaval, San Pedro, Lerma) y franja costera (costa norte de Yucatán). En estos sitios, la vegetación y otras componentes bióticas de los ecosistemas se han visto afectadas negativamente por la falta de aporte de agua subterránea.

Impacto extra-cuenca superficial: se refiere al agua subterránea que fluye desde una cuenca superficial hasta otra que puede localizarse a gran distancia, hay que conocer los procesos y el camino recorrido por el flujo para evitar y controlar efectos no deseados a una cuenca vecina (por ejemplo, cuencas del Lerma, México, Querétaro). El impacto se genera al realizar acciones en una cuenca las cuales afectan al agua subterránea de otra cuenca, ya que erróneamente se considera que se encuentran hidráulicamente separadas (por ejemplo, la primera puede ser zona de recarga y la segunda zona de descarga del mismo flujo). Este es un efecto común manifiesto, pero no del todo estudiado, en lagunas costeras y cuerpos de agua continental.

Operación ineficiente de pozos: este efecto está ligado con una inadecuada perforación, diseño, construcción y régimen de extracción. Se considera como un impacto invisible debido a que la población en su conjunto no reconoce la importancia de contar con un pozo eficiente. La ineficiencia se manifiesta como un abatimiento adicional e innecesario del nivel del agua subterránea lo que se traduce en una reducción en la cantidad de agua producida por unidad energética; adicionalmente se requiere de un gasto financiero innecesario para la reposición prematura de la infraestructura relacionada (pozo, bomba, conducción). Este problema se detecta en sitios a los que se ha dado por llamar "acuífero sobreexplotado", sobresalen los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Durango y la Ciudad de México.

Cambio de la calidad del agua potable: en numerosas poblaciones de México el abastecimiento de agua proviene de una fuente subterránea cuya mineralización natural con exceso de ciertos elementos ha ido en aumento; en otros casos se tiene un efecto por contaminación. En ambas situaciones el cambio en la calidad del agua que consume la población está relacionado con la forma cómo se administra la extracción de agua, es decir, tiempo de bombeo, caudal de extracción, y diseño constructivo del pozo. La calidad no deseable origina enfermedades que, en algunos casos, llegan a causar la muerte e impide que millones más gocen de una vida saludable menoscabando los esfuerzos en favor de un desarrollo sustentable.

La infiltración de lixiviados provenientes de sitios de disposición final (basureros) ubicados sin tomar en cuenta criterio hidrogeológico alguno es preocupante. Debido a los grandes caudales de agua subterránea usados en México, la calidad del agua potable se encuentra en mayor riesgo de deterioro por la calidad no deseable del agua que asciende hacia el nivel de extracción de los pozos. Datos obtenidos de dependencias de gobierno, centros de investigación (UNAM, UASLP, UADY, UAM), y generados por los autores en diferentes partes del territorio mexicano, indican que la calidad FQ y bacteriológica del agua subterránea presenta una situación preocupante. De acuerdo con los parámetros consignados en la norma de agua potable, NOM-0127-SSA-1-1996, representan un riesgo para la salud de las personas en varias regiones de México el arsénico (As), cadmio (Cd), cloruro (Cl), cromo (Cr), fluoruro (F), hierro (Fe), manganeso (Mn), sodio (Na⁺), nitrato (NO₃⁻), plomo (Pb), sulfato (SO₄²⁻) y compuestos orgánicos, hidrocarburos aromáticos y solventes, entre otros.

El presente mapa muestra la presencia, contenido y distribución de diferentes iones y/o sustancias químicas en el agua subterránea, y las afectaciones a ésta por las actividades económicas de la población de acuerdo con el análisis de estudios publicados. La presencia de uno o varios iones en el agua que consume la población en cantidad superior al considerado en la NOM-0127, puede causar trastornos a la salud, como enfermedades neurotóxicas (Mn, As, Cr), lesiones a la piel (As), deterioro al sistema óseo y dientes (F), hipertensión arterial (Na, cuyo exceso relativo impacta la agricultura) y otros que son de tipo cancerígeno. También preocupa el contenido de ciertos elementos indicadores de contaminación microbiana (Cl⁻, NO₃⁻) en agua de pozo, que sugieren la presencia de bacterias; sin embargo, por diversas razones muchos pozos en estas condiciones se incorporan a la red domiciliaria (por ejemplo: Apan, Tecocomulco). Es clara la insuficiencia de determinar únicamente coliformes fecales, es necesario incursionar en el campo de los virus, que son un peligro notable para la salud de la población.

El mapa (NA XI 1 A) muestra varias regiones de México donde el contenido de diferentes iones presentes en el agua subterránea condiciona su potabilidad en función de la presencia de diferentes elementos químicos en cantidad que supera en mucho el criterio de la NOM-0127 que degradan su calidad por la presencia de iones como As, F, Fe, Mn, Pb, Na, Cl, SO₄, y compuestos orgánicos. También se incluyen datos relacionados con efectos ambientales que se derivan del uso inadecuado (irracional) del agua subterránea e influyen en su calidad. Sin embargo, aunque la calidad del agua para consumo humano se

debe definir con base en la determinación de al menos 60 elementos químicos y un amplio espectro microbiobacteriológico, de acuerdo con la normatividad mexicana, la autoridad responsable usualmente sólo considera el contenido de sólidos totales disueltos (STD) y la presencia de coliformes fecales como principal criterio para establecer lo apto de la calidad del agua para consumo doméstico. Así, por ejemplo, por el contenido de STD en el agua, casi todo México tiene agua de calidad aceptable (<1,000 mg/l, STD) excepto por las zonas costeras de Sinaloa, Sonora, oeste de Baja California sur, el Estado de Campeche, norte de Tamaulipas y las cuencas endorreicas del centro norte del país; pero se omite el contenido de otros parámetros para establecer la potabilidad del agua. También la administración del agua ha incorporado el mito de que el agua es potable si está clorada, sin considerar su contenido en iones y compuestos presentes.

Resalta de forma general la presencia de F en la mayoría de las entidades del centro, oeste y noroeste del país. Datos de trabajos asequeables consultados permiten clasificar que existe prácticamente F en el agua potable del centro-norte del país excepto en los estados colindantes con el Golfo de México. Este hecho coincide con las unidades litológicas que afloran en el territorio nacional. En efecto, el sur del país a partir del Distrito Federal, no presenta información respecto al F; la aparente carencia de F en el agua de esa parte de México puede deberse a la falta de datos sobre el contenido completo de elementos químicos que se encuentran en el agua. Al parecer, se ignora el funcionamiento del agua subterránea donde su extracción intensiva puede inducir un flujo que circula por una unidad geológica profunda, por ejemplo rica en F, que aporte agua con concentraciones de ese elemento por arriba del límite permisible por la norma.

Si se considera que el mayor consumo de agua en México es para riego y se reconoce que las técnicas de riego usadas permiten una filtración al subsuelo del orden de 800 l/s, es de anotar que esta agua lixivia el suelo y transporta los agroquímicos usados en él (fungicidas, pesticidas, herbicidas, fertilizantes) los cuales penetran al ciclo del usuario en sus diversas fuentes de ingesta del agua. Una limitante con que se enfrentó este trabajo respecto a los agroquímicos presentes en el agua fue la falta de datos. Actualmente, el conocimiento que se tiene sobre la presencia de contaminantes en el país, su fuente y sitios contaminados, presenta un panorama incompleto. Respecto a contaminación por hidrocarburos sólo se conocen datos puntuales que se relacionan particularmente con los distribuidores de PEMEX (gasolineras, almacenes de aceite) o refinerías como sucede en Salamanca, Coatzacoalcos, Pajaritos, y la camocha ex-18 de Marzo (Atzacapotzalco, DF). Los compuestos orgánicos persistentes (COPs) y los metales tóxicos (METOX) son especialmente preocupantes por su toxicidad y ubicuidad de compuestos órgano-clorados como DDT y PCB que son sumamente tóxicos y de larga vida, por lo que pueden entrar en la cadena alimentaria presentando un riesgo a la salud humana. A esto, se une la falta de análisis de presencia del TMBE (compuesto usado como detonante en la gasolina –en lugar del plomo– que la hace soluble en agua) que no ha sido incorporada en las normas correspondientes. En relación a desechos farmacéuticos en todas sus variedades, así como los procedentes de hospitales resultado del uso de productos radiactivos, no existen datos sobre su determinación y análisis en agua subterránea.

Un 50% de los estados de la República cuenta con estudios relativamente puntuales referentes al conocimiento de cómo funciona el agua subterránea, esto permite comprender la situación actual de la calidad FQ del agua subterránea en la parte centro-norte del país. En general, se ha documentado la respuesta a la extracción por medio de pozos, la cual bajo condiciones hidrogeológicas particulares induce un cambio en la composición FQ del agua extraída. La mayoría de las veces, la degradación de la calidad depende del tiempo y el caudal de extracción; esto permite postular como factible la posibilidad de definir esas condiciones particulares y proponer controles a la calidad del agua subterránea que se extrae.

Impactos ambientales visibles

Inundación: desde la perspectiva del agua subterránea esto es producto de la importación de agua en exceso a un territorio dado lo que puede romper el desequilibrio hídrico natural y causar daño a ecosistemas existentes al cubrir con agua partes topográficamente bajas (en casos citadinos puede incluir obras civiles como estacionamientos subterráneos, sótanos). Localmente, se ha producido un cambio de actividad productiva que redunda en un impacto social importante como sucede en el Mezquital, donde después de un siglo de recibir la importación de agua residual de la Ciudad de México, la cual ha sido usada para riego, ha producido un ascenso en el nivel del agua subterránea de más de 70 m, produciendo una serie de manantiales y sitios anegados.

Incremento de la erosión: no es inusual que a cambios en la recarga se le adicione la extracción inadecuada de agua subterránea o ambas, o sólo la última, lo que produce un abatimiento excesivo del nivel del agua subterránea que resulta en la remoción de la cubierta vegetal, esto en especial sucede con la vegetación freatofita (Tecocomulco Hgo, Xoxitla Pue). La consecuente eliminación de cubierta vegetal repercute en un incremento a la erosión por lluvia y viento, procesos que afectan regiones extensas de la República Mexicana.

¹ Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.

Consolidación (aparente) del suelo: es la respuesta ante la pérdida de agua de una formación geológica lo que reduce su carga hidráulica y a su vez aumenta la presión entre los granos, esto último se manifiesta como hundimiento del suelo y fracturas asociadas. El término usado aquí de consolidación aparente se aplica porque los cálculos efectuados en planicies como la de Ciudad de México no consideran la consolidación del acuífero subyacente, la inducción de agua caliente, la construcción de obras de ingeniería civil, así como el efecto de cuando el flujo original hacia arriba (descarga) es invertido, cada uno de estos conceptos incrementa la presión intergranular lo que produce compactación de los granos. Estas respuestas a la extracción de agua subterránea son más importantes en zonas de descarga de flujos intermedio y regional, zonas cuyo funcionamiento no ha sido usualmente incorporado en planes de ordenamiento territorial. En consecuencia, se han producido problemas importantes ligados al hundimiento del suelo que son de carácter irreversible (Celaya, Toluca, Salamanca, Aguascalientes, Querétaro), aunque en casos pueden ser sujetos a control (Cuenca de México). Esto resulta en daños serios a vías de comunicación en el campo así como a la infraestructura de ciudades, donde usualmente se realizan medidas superficiales de control que parecen ser adecuadas debido a la relativa lenta respuesta del suelo a la consolidación, pero tales acciones deberán ser constantemente repetidas. De continuar ausente el estudio sistémico del proceso de consolidación (hoy no se incorpora el funcionamiento del agua subterránea), se impedirá la implantación de soluciones de control viables y más económicas. Usualmente, la preocupación es sobre cómo hacer las reparaciones necesarias y una medida extrema utilizada es desplazar a otro lugar la extracción de agua subterránea en donde a menudo se genera el mismo problema.

Desaparición de vegetación nativa: es resultado de la reducción de la cantidad de agua asequible en el suelo. En condiciones naturales, la vegetación nativa se encuentra en equilibrio con la humedad existente en el medio. La disminución del nivel del agua está ligada con la reducción de nutrientes que suben a la planta por sus raíces. Un abatimiento excesivo y permanente del nivel freático local resulta en un deterioro en la salud de la vegetación la cual puede terminar por desaparecer. El histórico Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*) localizado cerca de la Ciudad de Oaxaca, se encontró en grave peligro de desaparecer cuando el nivel del agua subterránea en la vecindad se abatió considerablemente. El Árbol fue salvado debido a la construcción de un sistema de riego; pero la vegetación circundante más allá del sitio de influencia del sistema de riego, desapareció. La pérdida de cubierta forestal estimada en México, es del 1% anual debido a esta causa. Alguna vegetación como los sauces, que es el caso del Árbol del Tule, puede

tomar varios miles de años para crecer por lo que se necesita que exista una fuente de agua continua, tal como la descarga de un sistema regional; su dependencia con el agua subterránea es evidente.

En las regiones áridas y semiáridas de México, un oasis varía en tamaño. Cuando existen descargas de sistemas de flujo local, las cuales se evidencian como manantiales del tipo de los identificados en las partes altas de la subcuenca de la Ciudad de México o se tiene la presencia de sistemas regionales como el manantial que existió en Ojo Caliente, Aguascalientes, cambios en el régimen de agua subterránea puede reducir el flujo de agua a las zonas de descarga y modificar las componentes bióticas de los ecosistemas locales como son; eliminación de lagos, secado de manantiales y desaparición de humedales. Más aún, los impactos en los sistemas de flujo también se reflejan en componentes abióticas.

Es conocido que el consumo de agua en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana desde principios del siglo XX, ha originado cambios graduales en el régimen de flujo superficial y subterráneo en la cuenca hidrográfica en donde se localiza. Hasta hace menos de 100 años era una cuenca provista de un sistema de lagos alimentados por manantiales, con pozos artesanos, y vegetación particular, ahora los lagos se han desecado y el nivel del agua subterránea ha declinado alrededor de 70 m, y continúa descendiendo a un promedio de 1.3 m/año con innumerables efectos a la vegetación nativa. Prácticamente todos los manantiales relacionados con zonas de descarga regional e intermedia se han secado, los manantiales de origen local que aún fluyen se han captado, sin considerar impactos invisibles o visibles producidos, para ofertar agua adicional a poblados periféricos asociados con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

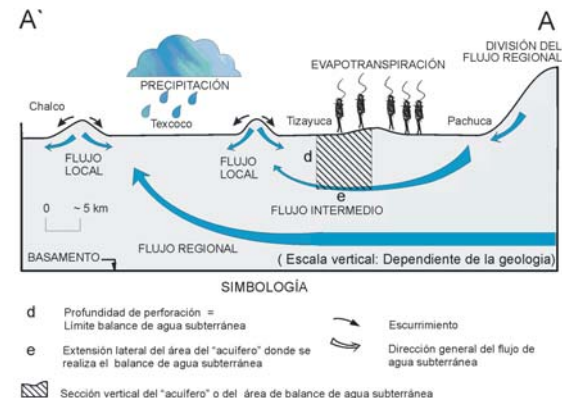


Figura 1, Definición de los sistemas de flujo subterráneo (adaptada de Toth, 1962); la parte achurada representa el área comúnmente usada para el balance hídrico, a menudo es indebidamente llamada acuífero. (d) simboliza la profundidad a la que usualmente se encuentran los pozos, (e) es el límite lateral del área de evaluación. El basamento es el límite real del flujo subterráneo a profundidad.

Referencias bibliográficas:

www.aquasmx.igeograf.unam.mx