

El debate sobre el agua subterránea: entre los acuíferos y los sistemas gravitacionales de flujo. Consideraciones para el semiárido

GRANDES PROYECTOS PRODUCTIVOS ASENTADOS EN ZONAS SEMIDESÉRTICAS

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) calcula que 39% del agua para usos nacionales proviene del subsuelo y es aprovechada a través de pozos y norias (Conagua, 2018a: 33). Este tipo de aprovechamiento se manifiesta claramente en los semiáridos donde, como hemos señalado, la lluvia tiende a un balance natural negativo entre la cantidad de agua que se evapotranspira y la que se precipita, a lo que se agrega también la tendencia a la sequía, por lo que el agua superficial utilizada en las tierras secas es complementada, necesariamente, con el agua subterránea existente, la cual se constituye en un importante reservorio. Es común que las actividades productivas y urbanas en los semidesiertos dependan mucho de la extracción del agua del subsuelo; sin embargo, esto plantea un dilema y debates derivados de contradicciones en torno a las preguntas: ¿cuánta agua hay en el subsuelo? ¿Cuál es su límite de extracción? ¿Cómo se determina su disponibilidad y explotación? ¿Desde qué paradigma se han entendido y administrado los sistemas de agua subterránea que nos han colocado en una situación crítica?

Hasta la fecha, la Conagua no mantiene un sistema de datos público a través de un monitoreo técnico confiable que permita determinar cuánta agua subterránea hay en el país; además de que la norma sobre disponibilidad del agua subterránea en México, la NOM-011 (Conagua, 2015), tiene un déficit de explicación sobre la forma en que se evalúa su balance. En contraste, existen estimaciones proporcionadas por investigadores nacionales expertos en aguas subterráneas que sostienen que 97% del agua dulce

del territorio mexicano es de procedencia subterránea (Carrillo–Rivera, Pañuela–Arévalo, Huizar–Álvarez, Cardona–Benavides, Ortega–Guerrero, Vallejo–Barba & Hatch–Kuri, 2016; Kachadourian, Carrillo & Vázquez, 2015: 172); condición que, en términos generales, se manifiesta también en los territorios semiáridos.

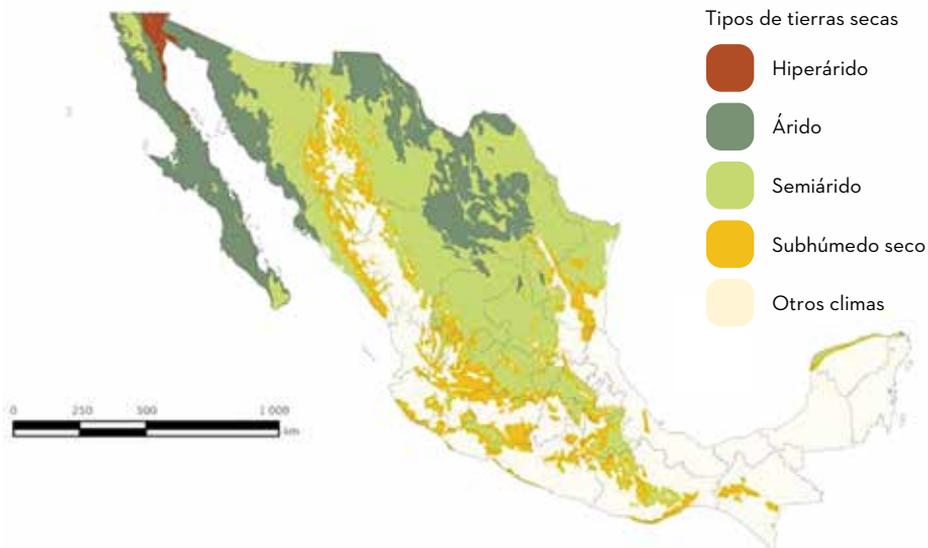
Según este último cálculo, se confirmaría que el agua subterránea se constituye como el gran reservorio de agua de México y ayudaría a explicar el motivo por el cual han podido sostenerse actividades industriales, como la ganadería y la agricultura intensiva, en los semidesiertos por tantos años; así como otras actividades productivas de grandes industrias regionales, nacionales y transnacionales que se realizan en las tierras secas (por ejemplo, las plantas automotrices o las cerveceras), todo ello a pesar del cálculo oficial que estima la falta de disponibilidad y la sobreexplotación de los acuíferos en muchas de las regiones en las que se asientan estos negocios.

Lo anterior plantea un debate abierto sobre las condiciones de escasez del agua subterránea, ya que existe una contradicción administrativa que no ha sido aclarada por el sector gubernamental, particularmente por la Conagua: mientras que los datos de la Conagua refieren que gran parte de las zonas semiáridas de México se encuentran sin disponibilidad de agua subterránea (véase el mapa de la figura 2.1 y compárese con el de la figura 2.2), y a la vez registran una gran cantidad de acuíferos sobreexplotados (compárese con el mapa de la figura 2.3), las actividades productivas con uso intensivo de aguas subterráneas continúan llevándose a cabo y no cesa el otorgamiento de permisos para la instalación de nuevos megaproyectos industriales agrícolas y agropecuarios en tierras secas de México que suponen escasez:

Basta señalar que, en los lugares en los que el agua escasea se ha dado la principal inversión extranjera en megaproyectos a nivel nacional, lo que sugiere una falta de congruencia y de respeto en el sector oficial por el pueblo mexicano y los intereses de los inversionistas, ya que al menos uno de ellos resulta engañado (Carrillo–Rivera et. al, 2016: 153).

Aunque no todos son megaproyectos, se puede mencionar que la Conagua posibilita el desarrollo de proyectos industriales que a primera vista

FIGURA 2.1 TIERRAS SECAS EN MÉXICO



Fuente: elaboración con base en Semarnat (2015: 181).

FIGURA 2.2 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS DE MÉXICO, 2018



Fuente: elaboración con base en Conagua (2018a).

FIGURA 2.3 CONDICIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN MÉXICO, 2018



Fuente: elaboración con base en Conagua (2018a).

parecieran incongruentes, debido a que son instalados en áreas con escasez de agua en la medida que los acuíferos supuestamente han sido sobreexplotados.

Un ejemplo que se refiere a nuestra área de estudio es el siguiente: en abril de 2019 la industria Coca-Cola inauguró oficialmente las instalaciones de la planta de Jugos del Valle-Santa Clara en el municipio de Lagos de Moreno (región semiárida), cuya producción de bebidas podría alcanzar hasta 4.5 millones de litros anuales de leche blanca, leches saborizadas y néctares.¹

Esta contradicción da cuenta de que la situación que guarda el agua subterránea, su comportamiento y su disponibilidad, en especial para los territorios semiáridos, no está suficientemente determinada y, como hemos señalado, pertenecen todavía a un campo de debate con características técnicas, administrativas y también políticas. Para entender cómo

¹ La información se puede consultar en la página: <https://www.coca-colamexico.com.mx/historias/planta-jugos-del-valle-santa-clara-la-mas-grande-cuenca-lechera-mexico>

se comporta el agua en el semiárido mexicano, creemos importante introducir en esta sección consideraciones al respecto, pues la discusión sobre el funcionamiento de las aguas subterráneas forma parte esencial de la reflexión en torno a una mejor gestión del agua en el semidesierto. A continuación, propondremos solamente las características generales de este debate abierto.

DOS VISIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Sobre el tema del agua subterránea hay por lo menos dos enfoques en discusión: el modelo predominante utilizado por la Conagua, basado en la idea de que el agua subterránea se delimita por acuíferos que favorecen las características administrativas del territorio mexicano en la superficie, y el propuesto por un grupo de expertos mexicanos e internacionales que cuestionan la idea de los acuíferos y proponen que el agua subterránea se organiza a través de los llamados “sistemas de flujos gravitacionales”.

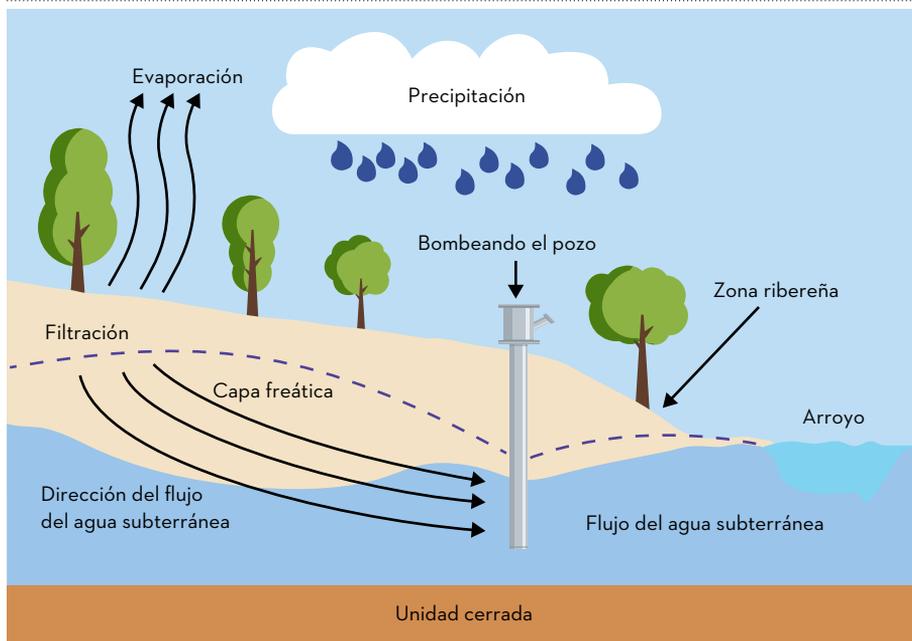
Según la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en su artículo tercero, fracción segunda, un acuífero es:

Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (LAN, 1992).

A lo que se agrega que “aguas del subsuelo” son aquellas aguas nacionales “existentes debajo de la superficie terrestre” (LAN, 1992). Además, ya en la numeralia del agua en México, elaborada por la Conagua y denominada “Numeragua”, se determina: “la conservación del agua subterránea depende de que la recarga sea mayor que la extracción. Cuando es mayor la extracción que la recarga, se considera acuífero sobreexplotado” (Conagua, 2018c: 33).

La noción clave a destacar en esta definición oficial es que los acuíferos poseen límites subterráneos, ya que el agua “se almacena” en el subsuelo

FIGURA 2.4 FLUJOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN UN ACUÍFERO



Fuente: elaboración con base en Senda Rural (2018).

y “se guarda” en “formaciones geológicas denominadas acuíferos” (Conagua, 2018c: 33), por lo cual los acuíferos se consideran unidades cerradas: una especie de vasijas geológicas subterráneas con límites laterales y verticales² que permiten retener agua en el recipiente de formación geológica; aunque se acepta que dentro de estas unidades cerradas existen flujos internos de movimiento de agua (como se muestra en la figura 2.4). En ese sentido, la otra idea que se destaca es que en los acuíferos se realizan procesos de recarga, básicamente dependientes del agua de lluvia, pero que se infiltra solo dentro de sus límites. La Conagua considera una sobreexplotación cuando la extracción excede la recarga.

2 Esto es, daría la idea de que un acuífero se puede definir como un volumen de agua, pero en los hechos los acuíferos son trazados como un área en la superficie. Es decir, nunca se habla de la profundidad del acuífero más allá de la superficie, de ahí también gran parte del desconocimiento sobre cuánta agua tiene un acuífero.

La gran utilidad de la idea de acuífero es su función de almacenamiento, ya que esto permite la existencia de una unidad técnica, administrativa y política suficientemente fija para calcular la disponibilidad y determinar la sobrexplotación. Los acuíferos así definidos son capaces de relacionarse e incluso empatar con las delimitaciones de los territorios administrativos urbanos, municipales y estatales, y permiten mantener un control de las concesiones y la declaración de vedas, que son los grandes instrumentos políticos en donde se manifiesta el poder decisorio de la Conagua para designar los permisos de explotación o aprovechamiento a unos u otros usuarios. Según documenta esta comisión, en México existen 653 acuíferos, de los cuales 105 están sobrexplotados (véase de nuevo la figura 2.3) (Conagua, 2018c: 33).

La crítica que ofrecen los expertos en sistemas de flujos gravitacionales del agua subterránea es que, básicamente, los acuíferos son divisiones ficticias administrativas, pues la geología no se organiza en vasijas o unidades cerradas, sino que la dinámica del agua en el subsuelo es abierta, continua y se encuentra transversalizada por flujos (locales, intermedios y regionales, como explicaremos a continuación) que abarcan distintas distancias y que poseen diferencias de movimiento entre su zona de recarga (con agua de temporales de lluvia) y su zona de descarga (afloramiento por gravedad que se manifiesta en brotes de agua hacia la superficie, las cuales pueden llenar los lechos y cauces de los ríos desde el subsuelo y también surgir en forma de arroyos o manantiales).

La teoría de los sistemas de flujos gravitacionales subterráneos fue desarrollada por el hidrogeólogo de origen húngaro József Tóth (2016) en los años sesenta del siglo XX, quien en la actualidad trabaja en el Departamento de Ciencias de la Tierra y Atmosféricas de la Universidad de Alberta, Canadá. En torno a sus estudios se ha generado un grupo internacional y nacional de expertos en agua subterránea, muchos de ellos reunidos en la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH, por sus siglas en inglés) y particularmente en la Comisión Regional de Flujo de Agua Subterránea (RGFC) de la IAH, donde también colabora el propio Tóth.³

3 Para más información, consulte el sitio web de la Regional Groundwater Flow Commission: <https://regionalgwflow.iah.org/>

En contraste con el enfoque de acuíferos, el de sistemas de flujos gravitacionales propone cuando menos tres tipos de flujos subterráneos transversales continuos en el subsuelo, lo que rompe con la idea de vasijas de almacenamiento: 1) los flujos locales, con un fluir rápido entre meses, años y décadas, desde la zona de recarga al afloramiento de la descarga; 2) los flujos intermedios, que fluyen en décadas o siglos desde la zona de recarga hasta la zona de afloramiento de la descarga, por lo cual ambas zonas están geográficamente muy distantes entre sí; y 3) los flujos regionales, cuyo fluir tarda milenios entre las dos zonas y las distancias de punto de recarga a punto de descarga son aún mayores. La figura 2.5 muestra la dinámica de estos flujos.

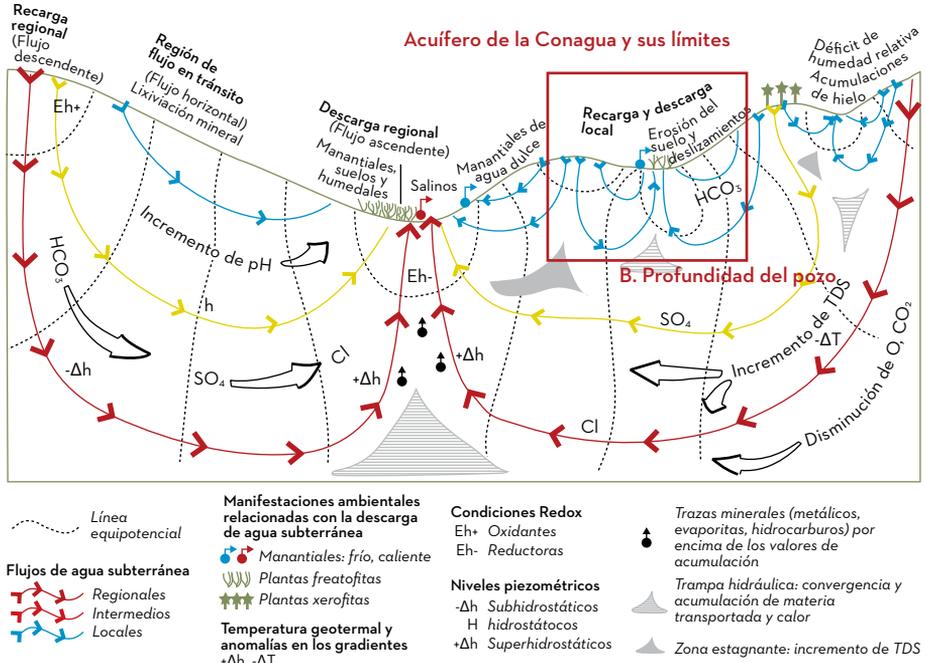
Para expertos mexicanos críticos de la perspectiva oficial de la Conagua,⁴ el enfoque de acuíferos permite tener un sistema de unidades administrativas que favorece el manejo político discrecional del agua subterránea por parte de la Conagua y no posee base en la realidad de la geología completa (en la figura 2.5, véase de nuevo en el recuadro que ilustra un acuífero de la Conagua y sus límites). Además, argumentan que, con el fin de mantener la lógica puramente administrativa, la Conagua ha permitido vacíos técnicos importantes que aumentan su poder político discrecional:

La Conagua sólo ha asignado los supuestos límites laterales de los acuíferos y [...] se desconocen sus límites verticales, que son señalados en la definición jurídica de acuífero. En el Diario Oficial de la Federación (DOF) los únicos límites que se señalan son coordenadas geográficas de vértices en la superficie del territorio, formando simples polígonos (Kachadourian et al., 2015: 179).

En ese sentido, hay que señalar que la definición de sobreexplotación carece de bases técnicas y jurídicas, ya que su definición es inexistente en las

4 Las siguientes consideraciones fueron extraídas de la revisión de bibliografía nacional al respecto; así como de entrevistas con dos expertos nacionales en sistemas de flujos gravitacionales de agua subterránea, en diferentes fechas: Joel Carrillo, entrevistado por el equipo de esta investigación (sesión virtual, 15 de abril de 2020) y Marcos Adrián Ortega, entrevistado por el equipo de esta investigación (sesiones virtuales, 29 de abril y 8 de mayo de 2020). No obstante, la interpretación de la bibliografía, de las entrevistas y sus posibles errores, las asumimos como nuestras.

FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUS CONDICIONES DE CONTROL



Nota: En la figura se identifican las condiciones de control relativas a sus zonas de recarga (flechas hacia abajo), tránsito (movimiento horizontal) y descarga (flechas hacia arriba).

Fuente: elaboración con base en Kachadourian et al. (2015: 180), adaptación del diagrama de Tóth (1970).

leyes mexicanas (Kachadourian et al., 2015); situación que se puede verificar al momento de revisar la LAN vigente, la cual en su numeral tercero (sobre los conceptos) no hace ninguna referencia respecto al concepto de sobreexplotación. Además de que:

[...] en México y en muchas otras partes del mundo se sabe: I) que los efectos negativos de una extracción dada son ajenos a que la recarga sea menor que la extracción; II) que en muchos casos el establecer como conocido el valor de la recarga (IE, recarga media anual) no es resultado de la aplicación clara del método científico y de una concepción satisfactoria del sistema de donde provienen los datos analizados, III) usualmente se evalúa una parte del acuífero en cuestión, y no en todas

las unidades geológicas que lo conforman, y IV) es común se desconozca el valor real de la extracción (Carrillo-Rivera et. al., 2016: 166).

Si bien para los expertos en sistemas de flujos gravitacionales el subsuelo mexicano tiene una gran capacidad para reservar agua —como se decía anteriormente, hay una estimación de que 97% del agua dulce del país es de origen subterráneo—, su manejo implica conocimientos científicos y técnicos, así como una organización administrativa y un manejo político menos sustentado en el control, la regulación y la cobranza, y fundado en una perspectiva mucho más compleja y sustentable de la que se tiene en la actualidad por parte del sector oficial; lo que significa transitar de un paradigma administrativo conservador a un paradigma del funcionamiento del ciclo socionatural que busca entender el dinamismo del agua de forma integrada.

Como se puede observar en la figura 2.5, según la perspectiva de sistemas de flujos gravitacionales, los acuíferos propuestos por la Conagua no son una herramienta que represente la dinámica de los distintos tipos de flujos de agua subterránea que pueden existir en un punto de extracción y explotación. Al suponer una dinámica interna cerrada y seccionada, implicaría que el agua que se extrae de un pozo depende únicamente de las características del acuífero en cuestión: si este se agota, los acuíferos de al lado pueden mantener su disponibilidad.

La idea de los flujos continuos da otra perspectiva, ya que, dependiendo de la profundidad de un pozo, este se podría encontrar con aguas subterráneas de recarga, tránsito y descarga rápidas, provenientes de la infiltración de temporales de lluvias recientes (de los últimos meses y años), que se agotaría rápidamente al ser extraída sin un control adecuado de la cantidad de agua que existe en los estratos del subsuelo más cercanos a la superficie.

Pero también dependiendo de la profundidad de un pozo, este se podría encontrar con flujos de aguas centenarias y milenarias —de movimiento más lento y recargadas también por temporales de lluvia centenarios y milenarios—, recargadas desde grandes distancias que atraviesan transversalmente el supuesto acuífero y su punto de explotación. Algunas pruebas de que esta dinámica es real, dadas por los expertos en sistemas de flujos gravitacionales, es la diferencia entre las temperaturas del agua en

pozos cercanos entre sí: aguas que se extraen con temperaturas frías provienen de flujos rápidos, mientras que aguas con temperaturas tibias o termales pueden provenir de flujos lentos con edades muy antiguas.

LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Aquí se introduce también el debate sobre la calidad del agua subterránea. Para la Conagua, la calidad del agua del subsuelo depende únicamente del polígono del acuífero; del tipo de rocas existentes en el corte de sección subterránea, las cuales aportan de manera natural, por ejemplo, metales pesados o sustancias nocivas para la salud humana y animal (como flúor o arsénico); y de los contaminantes que se infiltran desde la superficie del polígono, por ejemplo, los agroquímicos utilizados en la agricultura intensiva.

No obstante, para los sistemas de flujo, la química del agua subterránea es algo mucho más complejo: las aguas rápidas o lentas tienen diferentes calidades que son adquiridas por su trayectoria y capacidad de interacción entre las rocas, por las que pasan los flujos, y por la infiltración de contaminantes superficiales vertidos por actividades antrópicas o humanas que suceden a distintas distancias, más allá del acuífero administrativo, y que logran penetrar en una variedad de profundidades que llegan verticalmente a los flujos de agua del subsuelo.

Por otro lado, de manera natural, las aguas subterráneas pueden contener compuestos de flúor, arsénico y otras sales y metales en niveles que representen un riesgo para la salud humana, animal y vegetal. Particularmente, los acuíferos granulares, característicos de las zonas áridas y semiáridas de México, tienen un problema por la presencia de arsénico en el agua subterránea y su exposición. Los flujos regionales e intermedios tienen más probabilidades de tener minerales peligrosos para la salud, ya que están más tiempo en contacto con diferentes tipos de roca y estas pueden disolverse en el agua. Lo mismo pasa con el agua termal, debido a su alta temperatura suele tener más minerales peligrosos disueltos.

EL MANEJO DE LOS POZOS

El manejo de los pozos es también distinto dependiendo del modelo elegido. Para la Conagua, en un pozo se extrae agua almacenada en la vasija

geológica, donde el almacenamiento se vuelve más importante que el movimiento interno del agua, por lo cual puede agotarse, pero los acuíferos colindantes podrían representar otros almacenamientos alternativos, de tal manera que entre concesionarios de acuíferos es posible establecer un mercado, según quien tenga disponibilidad de agua y quiera venderla al vecino con escasez.

Para el modelo de flujos, el manejo de pozos es más delicado geológica y ecológicamente: la profundidad de un pozo, o de un conjunto de pozos aledaños, al encontrarse con un flujo subterráneo local puede agotarse con rapidez, si el flujo de extracción es mayor que su ritmo de recarga; lo que significa que los temporales de lluvia recientes no alcanzan a llenar el área de saturación local y, con ello, puede darse la situación de que se termine de manera definitiva el agua del flujo local rápidamente, en razón de que no le dan el espacio y tiempo suficiente para su respectiva recarga. Esta situación lleva a que la profundidad del pozo se aumenta hasta encontrar flujos intermedios y regionales, extrayendo aguas recargadas por temporales de lluvia más antiguos y que, por lo tanto, su recarga es y será aún más difícil. Además, al atravesar por la profundidad de manera vertical, el pozo interrumpe y rompe el flujo local que posiblemente ya no se repondrá nunca más; lo mismo puede suceder cuando el pozo atraviesa flujos más profundos.

Estas consideraciones generales sobre los sistemas de flujos gravitacionales revelan una dinámica de integración geológica que implica una forma de gestión del agua subterránea técnica, administrativa y política muy distinta a la que mantiene la Conagua para el cuidado del agua del subsuelo, en especial en los territorios semiáridos, donde la escasez, la disponibilidad, el aprovechamiento, la explotación y la sobreexplotación que se determinan por acuíferos son la clave oficial de manejo estandarizado para los semidesiertos, así como para todo el país.

LOS SISTEMAS DE FLUJOS GRAVITACIONALES EN LOS TERRITORIOS SEMIÁRIDOS

En el caso de los semiáridos, el enfoque de los flujos continuos subterráneos propone cuestiones que representan un manejo más cuidadoso del agua del subsuelo de la que se tiene en la actualidad:

- Para gestionar correctamente el agua subterránea en un semidesierto se tendría que estudiar a profundidad, y en primer lugar, la topografía, la calidad del agua que se extrae a diferentes profundidades, así como el referente geológico de los distintos umbrales subterráneos del subsuelo, hasta llegar a la roca madre —la más profunda—, para así determinar los flujos locales, intermedios y regionales, con sus zonas de carga, tránsito y descarga que se encuentran en una zona seca, incluyendo el conocimiento del área de saturación, que es el nivel donde comienza a acumularse y fluir el agua en el subsuelo, que es una de las zonas más delicadas pues de ella depende mucho el aporte fundamental que, por presión hacia la superficie, el agua subterránea le otorga a los cuerpos de agua superficiales, como los ríos y los lagos que existen en los desiertos, muchas veces a pesar de que el agua de lluvia sea escasa o que haya sequías.
- También se debe entender la situación que guarda la infiltración del agua al subsuelo, lo cual implica conocer bien los tipos de suelo y su degradación (su erosión, por ejemplo), pues de su permeabilidad y calidad depende, además de la evapotranspiración, la recarga y el afloramiento desde los flujos subterráneos, como ya se mencionó anteriormente, los cuales requieren de la porosidad y las fracturas de las rocas en los distintos estratos del subsuelo.
- Es fundamental el conocimiento de los flujos locales rápidos que se relacionan directamente con los temporales de lluvia recientes. Tomando en cuenta que en los semidesiertos se evapotranspira de forma natural más agua de la que se precipita, la relación entre agua de lluvia y agua subterránea es esencial para no agotar por sobreextracción los flujos locales y generar crisis de escasez, al excavar pozos cada vez a mayores profundidades que, al desconocer la dinámica de flujos, pueden dañarlos irreparablemente.
- Se debe establecer la relación entre la calidad del agua que se filtra desde la atmósfera, el suelo y los distintos cuerpos superficiales, su relación con las actividades productivas de los semidesiertos y combinarlos con las diferentes calidades del agua que se extrae en las tierras secas; lo cual se determina a través de su edad geológica y su paso por las rocas, los posibles contaminantes naturales que estas pueden contener y que se combinan con los contaminantes infiltrados desde la superficie. Es decir, tanto los humanos como los animales que consumen

agua subterránea pueden estar expuestos a distintos contaminantes cuyo manejo depende del conocimiento de su presencia, del estudio y de la buena administración de las aguas del subsuelo.

- El aumento de las temperaturas en los semidesiertos provocado por el cambio climático, afecta y afectará de inmediato —y en primer lugar— a los flujos locales, tanto por escasez de lluvia como por precipitaciones abundantes descontroladas. En ese sentido, la intensa radiación solar causa que la evapotranspiración sea cada vez mayor y que la humedad del suelo también se agote por evaporación, lo que puede provocar que el clima de un semidesierto se vuelva mucho más árido. Esto presionará a que los pozos alcancen mayores profundidades, lo cual afectará o destruirá aún más los flujos locales y hará que las actividades urbanas e industriales dependan de la extracción de aguas subterráneas centenarias o milenarias, lo cual implica conocimientos mayores que los que en la actualidad dispone el sector gubernamental.

Como ya ha quedado expuesto, los territorios áridos y semiáridos tienen características climáticas muy particulares. En ese sentido, debe considerarse un marco jurídico-administrativo-técnico que integre estas particularidades. Dicho de otra forma, se debe fomentar el diseño de políticas públicas a partir del clima local, la elaboración de manuales de operación y lineamientos que integren el paradigma de flujos gravitacionales y las condiciones semiáridas del agua superficial con el fin de lograr el uso óptimo, sustentable y eficiente del agua en las referidas zonas semidesérticas.

EL DEBATE ENTRE ACUÍFEROS Y SISTEMAS DE FLUJOS GRAVITACIONALES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS TRANSFORMACIONES A LA LEY MEXICANA

Si bien existen estudios sólidos sobre los sistemas de flujos gravitacionales en territorios concretos del mundo y particularmente de México (uno de los más exitosos ha sido el desarrollado en la Cuenca de la Independencia, ubicada en el estado de Guanajuato), la resistencia del sector oficial a esta transformación —nada menos que paradigmática—, así como la aceptación generalizada del modelo de acuíferos de la Conagua por parte de investigadores, expertos y científicos del agua en el país, ha evitado que estos

estudios se extiendan, ya que los expertos en flujos han expuesto que no se trata de complicaciones financieras, pues estos estudios se han llevado a cabo incluso con menos recursos de los que utiliza el sector gubernamental para determinar la actividad de los acuíferos.

Aun así, la perspectiva de flujos está avanzando científica y políticamente en México, como lo demuestran iniciativas existentes para formulación de una nueva ley general de aguas que sustituya a la actual LAN (López-Ramírez, Moctezuma-Barragán, García-Barrios, Tovar-Martínez y Landa-Ramos, 2021), según lo señala el artículo cuarto, párrafo sexto de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos; así como la propuesta específica de una ley del agua subterránea.

En la tabla 2.1 exponemos un extracto de tres propuestas de ley en las que se incluye la perspectiva de sistemas de flujos gravitacionales subterráneos, para complementar o sustituir la lógica oficial de acuíferos. El lector podrá hacer un comparativo y ver la importancia que en México está tomando el concepto de sistemas gravitacionales de flujo de aguas subterráneas.

Estas consideraciones sobre el agua subterránea las hemos incorporado con el propósito de dar al lector la posibilidad de comprender e integrar mejor este nuevo criterio acerca de lo que significa el manejo del agua del subsuelo en los territorios semiáridos.

Finalmente, debemos aclarar que este debate abierto no niega la evidencia de que en nuestra área de estudio, centrada en los municipios de San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno, los niveles estáticos del agua subterránea están bajando a un ritmo acelerado, lo cual indica un desequilibrio en la relación existente entre el agua que se infiltra y la que se extrae (sobrexplotación desde el punto de vista de la Conagua; sobreextracción, mal manejo de las áreas de recarga y posible ruptura de flujos desde el punto de vista de la teoría de flujos gravitacionales). Al faltar estudios sobre sistemas de flujos gravitacionales en nuestra zona de interés, la información con la que contamos para desarrollar el análisis de este desequilibrio entre infiltración y extracción en los municipios que nos competen, han sido los datos oficiales que la Conagua ha hecho públicos. Consideramos necesario que para entender de manera más precisa lo que sucede en esta región, se deben realizar futuros estudios basados en los sistemas gravitacionales de flujo de agua subterránea.

TABLA 2.1 INICIATIVAS PARA LA NUEVA LEY GENERAL DE AGUAS DE MÉXICO CON ENFOQUE DE SISTEMAS DE FLUJOS GRAVITACIONALES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Propuesta de iniciativa ciudadana “Agua para Todos”*	Propuesta de la Comisión de Recursos Hidráulicos, Agua Potable y Saneamiento de la Cámara de Diputados**	Propuesta de expertos en sistemas de flujos gravitacionales***
<p>Artículo 3. Definición de acuíferos: “El sistema de flujos de aguas subterráneas en íntima relación con las aguas superficiales, cuyo aprovechamiento sustentable está limitado al uso de flujos locales y, de manera puntual, de flujos intermedios para evitar afectar el equilibrio de todo el sistema”.</p> <p>Definición de flujos locales de aguas subterráneas: “Las aguas infiltradas en semanas o hasta en unos cuantos años a profundidades de máximo 30 metros, que constituyen las únicas aguas subterráneas renovables a escala humana. Se caracterizan por ser frías y por contener pocos elementos químicos disueltos; así como por sus recorridos cortos, de 1 a 4 kilómetros, entre el punto de recarga hasta el punto de descarga en manantiales, ríos, lagos o el mar”.</p> <p>Definición de flujos intermedios de aguas subterráneas: “Las aguas que tardan décadas o hasta cientos de años en infiltrarse, caracterizadas por recorrer entre 3 y 12 kilómetros entre su punto de infiltración y de descarga; por estar a profundidades de 30 a 200 metros; así como por su temperatura tibia y por tender a ser de calidad buena para el consumo humano”.</p>	<p>Artículo 7. Definición de aguas subterráneas: “Agua que ocupa el espacio poroso o fracturado de los sedimentos y rocas en el subsuelo, producto de la infiltración natural o inducida del agua pluvial y de las aguas superficiales. El agua subterránea es parte del ciclo hidrológico cuyos flujos atraviesan los límites de las cuencas y de las entidades federativas. Su movimiento a través de los acuíferos conforma tres sistemas de flujo principales: local, intermedio y regional, los cuales sustentan ecosistemas ribereños, lacustres, de humedales, suelos salinos y manantiales, que interactúan con los otros componentes superficiales del ciclo”.</p> <p>Definición de cuenca hidrográfica: “Cavidad natural en la que se acumula agua de lluvia. Esta circula hacia una corriente principal. Es la unidad de gestión del agua superficial de conformidad con lo que señala esta Ley. Sus dimensiones y delimitación deberán considerar el Sistema de flujos de agua subterránea”.</p>	<p>Artículo 3. Definición de acuíferos: “Es la unidad de gestión del agua subterránea cuyas dimensiones verticales y laterales deberán corresponder con el Sistema de Flujos Tothiano del agua subterránea y el patrón de los Sistemas de Flujo correspondiente. Deberá ser previamente técnica y científicamente documentado y delimitado para proceder a establecer programas de gestión del agua subterránea”.</p> <p>Definición del patrón de los sistemas de flujo: “Se origina por diferencias del potencial de flujo, que se identifican como líneas de flujo que se mantienen adyacentes a través del medio geológico referidas a su parte saturada; líneas que son modificadas por la porosidad, coeficiente de almacenamiento, conductividad hidráulica, heterogeneidades hidráulicas, que se manifiestan con propiedades físicas y químicas particulares del agua; dicho patrón se delimita desde la superficie del suelo hasta la roca basamento y se organiza por sí mismo en grupos de jerarquías en el cual se reconocen tres escalas de dimensión para cada sistema donde el flujo regional contiene a flujos intermedios y locales incorporados; flujos que se caracterizan por sus áreas de recarga, tránsito y descarga particulares manifiestas en condiciones iniciales con suelo y vegetación acordes con la jerarquía y el modelo geomorfológico existente”.</p>

* Puede consultarse en: <https://aguaparatos.org.mx/wp-content/uploads/Iniciativa-Ciudadana-Ley-General-de-Aguas-4-feb-2020-VF.pdf>

** Documento de circulación interna de la CRHAPys, del que nuestro equipo de trabajo posee copia.

*** Puede consultarse en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/102/97/301-1?inline=1>

TABLA 2.1 (CONTINUACIÓN)

Propuesta de iniciativa ciudadana “Agua para Todos”*	Propuesta de la Comisión de Recursos Hidráulicos, Agua Potable y Saneamiento de la Cámara de Diputados**	Propuesta de expertos en sistemas de flujos gravitacionales***
<p>Definición de flujos regionales de aguas subterráneas: “Las aguas subterráneas cuyo recorrido desde su punto de recarga hasta su punto de descarga abarca de 10 a más de 100 kilómetros, tarda miles o decenas de miles de años y atraviesa las fronteras superficiales de las cuencas: Estos flujos se encuentran a profundidades de más de 200 metros y su límite inferior es la roca basamento encontrada a profundidades de hasta varios kilómetros. Su calidad tiende a no ser potable y su extracción y uso dañan al funcionamiento de los sistemas de flujos locales o intermedios de las cuencas”.</p>	<p>Definición de sistemas de flujo de agua subterránea: “Refiere a los patrones de dos o más sistemas de flujo regional que convergen en un área de descarga con sistemas flujo de menor jerarquía incorporados sobre estos. Cada sistema fluye con una velocidad, composición físico-química y edad variables, a través de un conjunto de unidades estratigráficas que en el subsuelo constituyen un cuerpo geométrico definido y delimitado hidrogeológicamente, tanto vertical como lateralmente. Cada flujo en su recorrido no se mezcla y viaja de acuerdo con el medio y estructura geológica. Son considerados como flujos tóthianos, es decir, a partir de la metodología establecida por Tóth para definir numéricamente las condiciones iniciales, teniendo en cuenta la anisotropía y heterogeneidad de las formaciones geológicas. Para la aplicación efectiva de la Ley, Reglamentos, normas y demás disposiciones que involucren al agua subterránea, serán el referente de su monitoreo, funcionamiento, evaluación y predicción, ya que son componente del ciclo hidrológico de los ecosistemas y son uno de los mecanismos reguladores del clima”.</p>	<p>Definición de sistemas de flujos de agua subterránea: “Se define como los patrones de dos o más sistemas de flujo regional que convergen en un área de descarga con sistemas flujo de menor jerarquía incorporados sobre estos. Cada sistema fluye con una velocidad, composición físico-química y edad variables, a través de un conjunto de unidades estratigráficas que en el subsuelo constituyen un cuerpo geométrico definido y delimitado hidrogeológicamente, tanto vertical como lateralmente. Cada flujo en su recorrido no se mezcla y viaja de acuerdo con el medio y estructura geológica. En la literatura especializada reciente, son considerados como flujos tóthianos, es decir, a partir de la metodología establecida por Tóth para definir numéricamente las condiciones iniciales, teniendo en cuenta la anisotropía y heterogeneidad de las formaciones geológicas. Para la aplicación efectiva de la Ley, Reglamentos, normas y demás disposiciones que involucren al agua subterránea, serán el referente de su monitoreo, funcionamiento, evaluación y predicción, ya que son componente del ciclo hidrológico, de los ecosistemas y son uno de los mecanismos reguladores del clima”.</p>

Fuente: elaboración propia con información de las propuestas de ley referidas.