

NÚM. 1
Bimestre
septiembre-
octubre
2021
México

CIENCIAS y HUMANIDADES

artículos · reseñas · infografías · noticias · arte



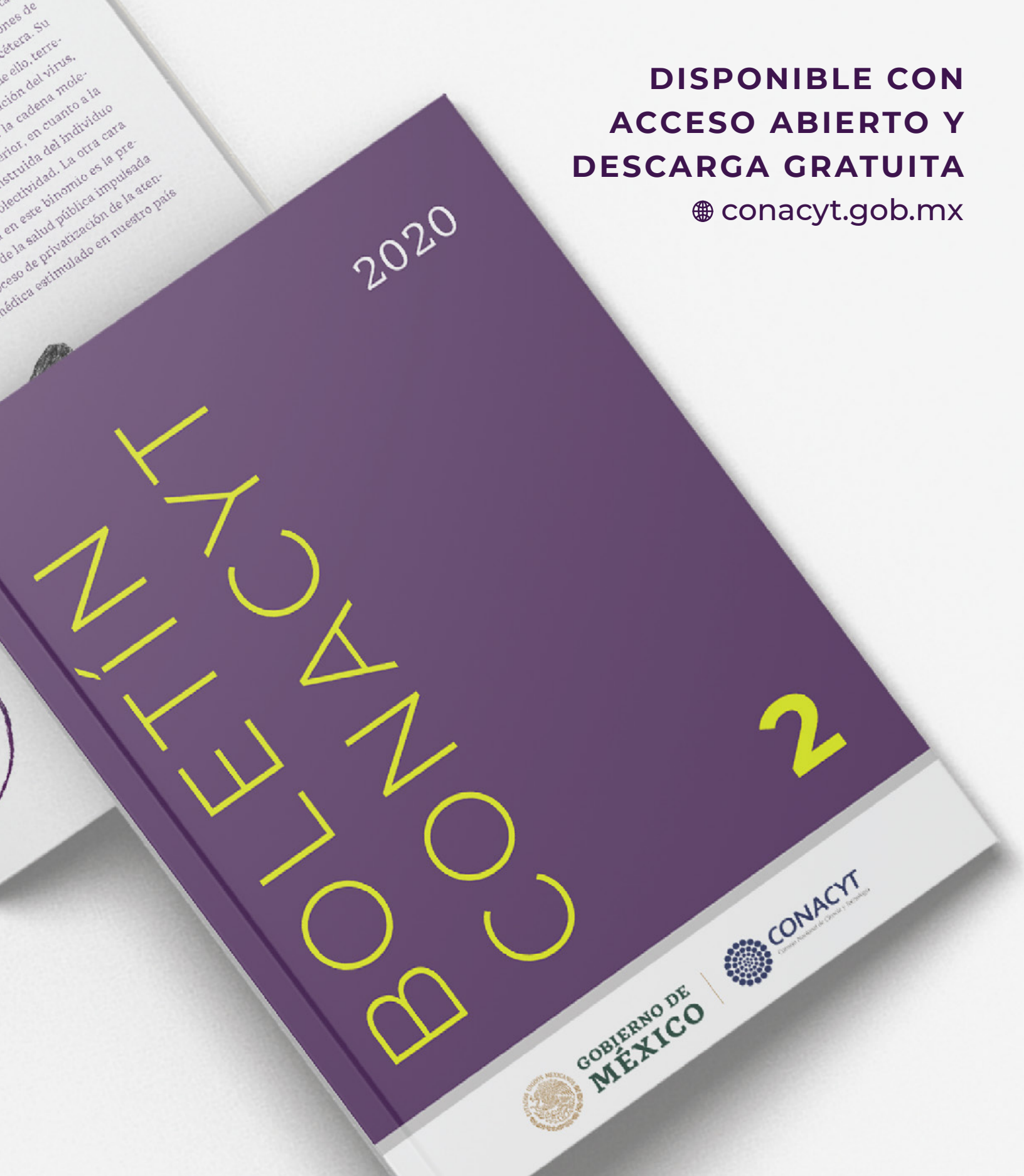
GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

**DISPONIBLE CON
ACCESO ABIERTO Y
DESCARGA GRATUITA**

 conacyt.gob.mx



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

DIRECTORA

María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora General del Consejo Nacional
de Ciencia y Tecnología

COMITÉ EDITORIAL

Mtra. María José Rhi Sausi Garavito

Dirección Adjunta de Desarrollo Científico

Dra. Delia Aideé Orozco Hernández

Directora Adjunta de Desarrollo
Tecnológico, Vinculación e Innovación

Dr. José Alejandro Díaz Méndez

Unidad de Articulación Sectorial y Regional

Dra. Marcela Cristina Pouliot Madero

Unidad de Planeación, Comunicación
y Cooperación Internacional

Mtro. Raymundo Espinoza Hernández

Unidad de Asuntos Jurídicos

Mtro. Noé Ortíz Lépez

Unidad de Administración y Finanzas

Mtro. Alejandro Espinosa Calderón

Secretaría Ejecutiva de la Comisión
Intersecretarial de Bioseguridad de los
Organismos Genéticamente Modificados

Lcda. María del Carmen García Meneses

Coordinación de Repositorios,
Investigación y Prospectiva

DISEÑO

Equipo Conacyt

PORTADA Y CONTRAPORTADA

Santiago Robles

ILUSTRACIONES DE ARTÍCULOS

Armando Fonseca



Ciencias y Humanidades, año 1, número 1,
septiembre-octubre 2021, es una publicación bimestral
editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Av. Insurgentes Sur 1582, col. Crédito Constructor,
alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México, c. p. 03940.

Teléfono: 55 5322 7700. www.conacyt.gob.mx

Editor responsable: Jorge Ortega Cárdenas.

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo en trámite,
ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto

Nacional de Derecho de Autor. Licitud de Título

y Contenido en trámite, otorgado por la Comisión

Calificadora de Publicaciones y Revistas

Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

ÍNDICE

Presentación | 4

MARÍA ELENA ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES

ARTÍCULOS

La gestión del agua en México y el Pronaces Agua | 7

MARIO EDGAR LÓPEZ RAMÍREZ

Los estados del agua | 10

ALFREDO AGUILAR ELGUÉZABAL

Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea:
un paradigma | 13

MARCOS ADRIÁN ORTEGA GUERRERO

La contaminación del agua subterránea | 17

ERIC MORALES CASIQUE

Agua y manejo sustentable de socioecosistemas | 20

LANDY CAROLINA OROZCO URIBE

Restauración agroecológica para captar y aprovechar
agua de lluvia en el semiárido | 23

RAMÓN AGUILAR-GARCÍA

Tláloc y Chalchiuhtlicue: dioses del agua | 27

ISSA ALBERTO CORONA MIRANDA

Una experiencia de desarrollo comunitario en la Cuenca de la Independencia | 30

GRACIELA DE LA LUZ MARTÍNEZ DELGADO

El río maya | 34

YOSU RODRÍGUEZ ALDABE Y JUAN ROBERTO BÁEZ MONTOYA

La aberración del agua embotellada | 36

ALEJANDRO CALVILLO

La vida y la Ley General de Aguas | 40

RAÚL GARCÍA BARRIOS Y OCTAVIO ROSAS LANDA

INFOGRAFÍAS

El acuífero de la península de Yucatán | 43

ROSA MARÍA LEAL BAUTISTA Y GILBERTO ACOSTA GONZÁLEZ

Las aguas subterráneas transfronterizas mexicanas | 44

GONZALO HATCH KURI

NOTICIAS

Jardines etnobiológicos: donde se cultiva la riqueza biocultural | 46

Los retos de la restauración del lago de Texcoco | 48

Actividades del Pronaces Agua | 50

COMITÉ EJECUTIVO DEL PRONACES AGUA

CIENCIAS Y ARTE

CAH | 52

COLECTIVO PANÓSMICO

Reseña de película: *Yermo* | 55

JUAN AURELIO FERNÁNDEZ MEZA

PRESENTACIÓN

MARÍA ELENA ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES

Directora General del Consejo Nacional
de Ciencia y Tecnología



CIENCIAS Y HUMANIDADES ES UNA NUEVA REVISTA DE DIFUSIÓN de la ciencia, mediante la cual el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología se propone dar a conocer a la población mexicana los avances en ciencias, humanidades, tecnologías e innovación en nuestro país. Se trata de acercar el conocimiento especializado y de frontera a un público amplio, atendiendo la falta de vinculación entre diversas formas y tendencias de la investigación científica y social. En esta medida, la presente publicación responde a la necesidad de abrir un espacio de diálogo y análisis crítico para el bien común, que permita poner en comunicación a investigadores, luchadores sociales y ambientales, miembros de organizaciones no gubernamentales y artistas -entre sí y con la sociedad- de manera que se abran vías fecundas para la reflexión colectiva.

En la actualidad, convivimos prácticamente en todos los ámbitos de nuestra vida con la ciencia. Aspectos tan diversos como la comunicación, el cuidado de la salud, la economía y el funcionamiento integral de nuestros hogares son impensables sin las aplicaciones técnicas del conocimiento científico. A pesar de lo anterior, una

gran parte de la sociedad se percibe distante o ajena a la ciencia. Esto es resultado de factores diversos, como la enorme complejidad y especialización que las distintas disciplinas han alcanzado o la especificidad de los lenguajes científicos, que no hacen sencilla su apropiación para la mayoría de las personas. Sin embargo, también se debe a que existe una serie de prácticas y tendencias perniciosas que abre una brecha, a menudo inexistente, entre el conocimiento científico y la realidad cotidiana de los mexicanos.

Una de estas tendencias es la falta de comunicación entre la ciencia y los saberes humanísticos que, en la actualidad, aparecen como esferas aisladas o desvinculadas entre sí. Por muy diferentes que puedan ser estos dos ámbitos en su meta y fundamento, en sus mecanismos de investigación y en la forma de sus reflexiones, coinciden en el hecho de que ofrecen elementos para conocer mejor el mundo que nos rodea y para describir las formas en que los seres humanos se relacionan entre ellos y con su territorio. Si la tarea del pensamiento es aventurarse a dar testimonio de la relación del ser humano con su mundo, las humanidades y las ciencias podrían entenderse como dos modos de mirar distintos que, al ser siempre


inacabados, pueden vincularse de manera fructífera. Por ello, un diálogo multidisciplinar permitirá explorar lo que falta por explicar, al tiempo que abrirá nuevos terrenos para el pensamiento y para las acciones humanas que hagan posible el cultivo de la justicia social.

Otra de las tendencias dañinas ampliamente extendidas es la de separar de manera radical a los saberes académicos de los saberes vernáculos y establecer entre ellos una jerarquía valorativa en función de criterios trasnochados. Desde una perspectiva histórica, se hace evidente que ambas esferas se conforman a partir de intercambios entre distintas tradiciones de pensamiento, herramientas y conceptos. Por ello, es fundamental abrir canales de diálogo entre los dos ámbitos de manera que mutuamente se potencien.

En vista de lo anterior, la revista contará, en cada número, con un tema central que se abordará en forma de artículos escritos por investigadores. El carácter monográfico de cada número de *Ciencias y Humanidades* hace posible profundizar en temas importantes del quehacer científico y tecnológico, así como en sus implicaciones sociales, ambientales y culturales. Estos textos ofrecerán distintas perspectivas que permitan profundizar en el

conocimiento del tema elegido y perfilar soluciones a los problemas específicos relacionados con él. A esta sección le seguirá un apartado dedicado a difundir los avances de algunos de los proyectos en curso apoyados por el Conacyt. Posteriormente, presentaremos un espacio dedicado al arte, donde se incluirán obras plásticas o literarias, al igual que ensayos o reseñas que arrojen luz, desde otro lugar, a alguna de las problemáticas tratadas en el número.

En esta primera entrega, cuyo tema central es el agua, se invitó a investigadores, artistas y luchadores sociales a escribir artículos sobre las problemáticas que enfrentamos a escala local y global. Los artículos exponen algunos de los ejes centrales y los avances del Programa Nacional Estratégico Agua (Pronaces Agua) y abordan temas como la gestión del agua en México, los estados del agua, los Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea, los factores ligados a la contaminación y las alternativas para el manejo sustentable de los socioecosistemas. También se incluye el recuento de una experiencia de participación social en defensa del agua en la Cuenca de la Independencia, Guanajuato; un texto sobre el llamado río Maya; una exposición sobre los antiguos dioses prehispánicos del agua; además de un diagrama del acuífero de Yucatán, y un mapa que muestra la localización de las aguas subterráneas transfronterizas. Éste, así como sucesivos números, se enriquece con dos secciones más: «Noticias» y «Ciencias y arte».

La ciencia debe dejar de verse como la ocupación exclusiva de una élite que domina conocimientos inaccesibles para el común de las personas. Y aunque, sin duda, hay ámbitos de alta especialización a los que acceden sólo unos pocos, debemos lograr que la ciencia sea vista por la sociedad como una parte integral de las respuestas a muchos de los problemas e interrogantes que enfrentamos en la vida diaria. En consecuencia, la revista *Ciencias y Humanidades* busca propiciar la curiosidad y el desarrollo científico riguroso para poder encontrar enfoques y aplicaciones pertinentes frente a los grandes retos que se nos presentan. De esta forma, se propone como un espacio para reflexionar sobre las historias que ligan a los humanos con el resto de las especies y los elementos del planeta, como un medio para incentivar la imaginación y, con ello, la capacidad de transformar el mundo en el que vivimos. 

La gestión del agua en México y el Pronaces Agua

MARIO EDGAR LÓPEZ RAMÍREZ

Doctor en Ciencia Política. Investigador del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Universidad Jesuita de Guadalajara. Coordinador del Pronaces Agua del Conacyt.

PARA COMPRENDER DESDE UNA VISIÓN AMPLIA LA GESTIÓN DEL agua en México, es necesario tomar en cuenta que depende directamente de la articulación de tres ámbitos: el de la gestión pública, el de la gestión privada y el de la gestión social. A su vez, cada uno está formado por grupos con intereses y agendas distintas, por lo que la gestión global depende, en última instancia, del balance de fuerzas entre ellos y de los consensos que conformen el núcleo de preocupaciones compartidas.

Una sistematización interdisciplinaria de información acerca de la gestión del agua en el país, realizada entre 2019 y 2020, analizó la forma en que se articulan las principales políticas públicas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), las propuestas y acciones de los sectores privados, las demandas de organizaciones no gubernamentales y los intereses de los afectados ambientales, los movimientos sociales y las comunidades.



Los resultados permiten estimar que la gestión del agua se encuentra actualmente organizada y jerarquizada de manera que el ámbito principal es el de la gestión pública, el segundo en prioridad es el de la gestión privada y el último es el de la gestión social.

Gracias a los análisis desarrollados por este grupo de especialistas, involucrados en el Programa Nacional Estratégico Agua (Pronaces Agua), se pudo establecer que la principal prioridad en el ámbito de la gestión pública es el abastecimiento urbano, agrícola e industrial; le siguen, en orden descendente, el diseño de tarifas para el cobro, la protección del derecho humano al agua y al saneamiento, el desarrollo de infraestructura hidrosanitaria y, en quinto lugar, el abastecimiento de las fuentes de agua y el equilibrio de ecosistemas. En el ámbito de la gestión privada, la prioridad es la expansión continua de las fronteras de inversión en el sector hídrico y el acaparamiento de las concesiones para usos agrícolas e industriales del agua mediante negocios público-privados, lo que normalmente trae consigo la apropiación de este recurso y el despojo de territorios. Por último, el ámbito de gestión social tiene como prioridad el diálogo y el debate entre afectados ambientales


y expertos e investigadores aliados, y, a su vez, el planteamiento de dudas razonables sobre las políticas públicas relacionadas con la administración de los recursos hídricos. La meta principal de este último ámbito es garantizar la supervivencia de modos de vida y de organización social no plenamente subordinados a la lógica del mercado; pero, al ser el tercero en importancia, su influencia es limitada.

El principal problema al que nos enfrentamos es que el «núcleo», o espacio de consenso de los intereses antes señalados, está fuertemente determinado por una lógica mercantil cuya única prioridad es el cuidado del agua superficial en cuencas. Esto conlleva un mal manejo de los recursos hídricos, pues no se consideran los impactos ambientales y sociales del cambio climático. Debido a que actualmente se presta poca atención a la dinámica del agua subterránea y al agua de lluvia, es decir, al ciclo del agua en su conjunto, se pierden de vista los problemas de raíz que comprometen la disponibilidad de dicho recurso.

Para solucionar los problemas presentes y desarrollar un mejor modelo de gestión del agua en México, es necesario, como primer paso, reorganizar las prioridades de la gestión pública. Ésta debe

preocuparse, en primer lugar, del cuidado de las fuentes de agua superficiales, subterráneas y de régimen de lluvia, pues con ello se podrá asegurar el abastecimiento urbano, agrícola e industrial de manera sustentable, y no de forma irresponsable como se ha hecho hasta ahora. Esta reformulación permitirá también hacer planes integrales de manejo del agua para lidiar con el cambio climático. De esta manera, al alterar las prioridades del ámbito de mayor influencia, este líquido dejará de ser un producto destinado a satisfacer demandas mercantiles y pasará a ser un medio para preservar toda forma de vida, humana y no humana. Como segundo paso en esta transformación, es necesario invertir el orden de prioridad de los dos ámbitos restantes, es decir, colocar el ámbito de gestión social en el segundo lugar de importancia y el de gestión privada en tercer lugar.

Así, las políticas nacionales de gestión pública estarán dirigidas, en primer término, al cuidado de las fuentes (cuerpos de agua superficiales, sistemas gravitacionales del agua subterránea, ciclos regionales de precipitación y caudales ecosistémicos) y, en segundo, a la protección del derecho humano al agua. Además, con la inversión de posiciones entre la gestión privada y la gestión social, será más fácil la labor de plantear dudas razonables sobre las políticas públicas desarrolladas y se podrá fomentar la participación ciudadana. De esta manera, la gestión privada participará únicamente en áreas complementarias a la gestión pública y social, respetando los derechos de los seres humanos y de las comunidades.

El Pronaces Agua del Conacyt busca responder a esta nueva forma de gestión del agua en México. Por ello, considera necesario transformar los modelos actuales de investigación, con el objetivo de que la actividad científica colabore con el desarrollo de soluciones concretas a los grandes problemas nacionales en torno al agua. Así, mediante una incidencia consistente y a través de la colaboración estrecha con las comunidades y los actores populares, el Pronaces Agua busca que el cuidado de las fuentes de agua se fortalezca como prioridad de Estado. 

... ESTE LÍQUIDO DEJARÁ DE
SER UN PRODUCTO
DESTINADO A SATISFACER
DEMANDAS MERCANTILES
Y PASARÁ A SER UN MEDIO
PARA PRESERVAR TODA
FORMA DE VIDA, HUMANA
Y NO HUMANA...

Los estados del agua

ALFREDO AGUILAR ELGUÉZABAL

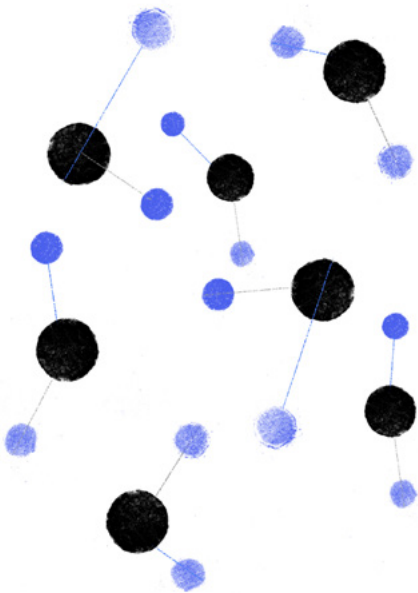
Doctor en Ingeniería Química. Investigador del Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Centro Público de Investigación del Conacyt.

La molécula del agua y sus fases

CUANDO OBSERVAMOS UNA GOTA DE AGUA, NUESTROS OJOS SÓLO perciben un líquido transparente y no alcanzan a ver que está compuesto de moléculas, todas iguales, que se mueven caóticamente. Cada molécula de agua está formada por tres átomos: un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno unidos a él.

El agua está presente en todo el universo. Diversos cuerpos celestes la tienen como principal componente: cometas de hielo que viajan por el espacio; lunas, como Titán, que tienen más agua que la Tierra; y, claro, planetas como el nuestro, donde el agua fluye armoniosamente en las tres formas en que la conocemos: sólida, líquida y gaseosa. La cantidad de agua en cada estado está determinada por la energía que recibe del Sol y nosotros tenemos la fortuna de estar a una distancia perfecta. De estar más lejos, el agua estaría permanentemente congelada y, de estar más cerca, el agua estaría continuamente en fase de vapor y, peor aún, saldría de la atmósfera para perderse en el espacio.

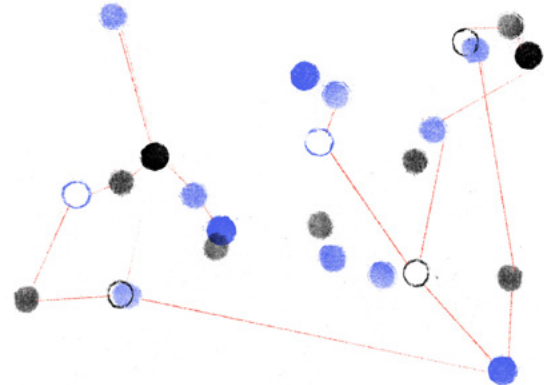
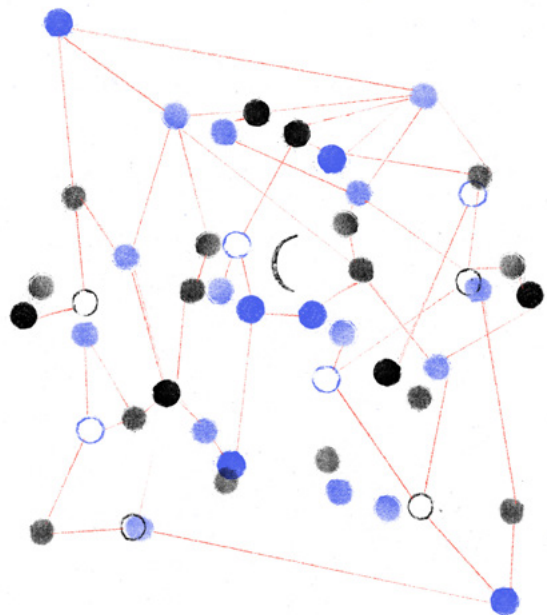
Los estados del agua dependen de la energía de las moléculas H_2O y de la fuerza que las mantiene unidas entre sí. Para imaginar esta fuerza, pensemos que la molécula es como un imán y que los hidrógenos tienen una carga positiva y el oxígeno una negativa. La carga positiva del hidrógeno es atraída por la carga negativa del oxígeno de la molécula más cercana. A esta atracción se le llama puente de hidrógeno.



▲ Figura 1. Molécula de agua. Las esferas azules representan los átomos de hidrógeno, con sus cargas positivas, y las esferas negras, a los átomos de oxígeno, con sus cargas negativas.

Agua en fase de vapor

A nivel del mar, cuando se calienta el agua hasta llegar a 100 °C, la energía es suficiente para que las moléculas se liberen de la atracción de los puentes de hidrógeno. En este punto, las moléculas están tan separadas que se encuentran en la fase de gas o vapor y ocupan todo el volumen del recipiente en el que están. En los mares y lagos, la evaporación sucede a temperatura ambiente porque las moléculas de la superficie ganan suficiente energía para salirse de la fase líquida: la energía aportada por los rayos de sol, por el aire que está en contacto con el agua y por el agua que se encuentra bajo la superficie. Así, el agua de la superficie se evapora y asciende a la atmósfera, donde otra vez vuelve a la fase líquida, pero ahora en gotas tan pequeñas que pueden mantenerse suspendidas en el aire. Incluso, se enfría más hasta formar pequeños cristales de hielo. Estas partículas forman las nubes. Dependiendo de las condiciones atmosféricas, las partículas líquidas y sólidas pueden caer en forma de lluvia, nieve o granizo.



Agua en fase líquida

Que el agua sea líquida entre los 0 y los 100 °C ha permitido a la naturaleza, a través de millones de años, experimentar para crear diferentes formas de vida. Para todas ellas este líquido vital desempeña un papel fundamental. Nuestro mundo tiene la mayor cantidad y diversidad de formas de vida allí donde el agua líquida está presente, pues ésta permite a los organismos vivos transportar nutrientes, generar energía, expulsar sus desechos, regular su temperatura, etc. En realidad, las funciones del agua para los seres vivos son interminables. Gran parte de sus habilidades se debe a la distribución de las dos cargas positivas (hidrógeno) y la negativa (oxígeno) que tiene cada molécula.

Agua en fase sólida

El asombro por las propiedades extraordinarias del agua resalta en el estado sólido, es decir, cuando se encuentra en forma de hielo. Mientras que las sustancias convencionales se contraen al pasar al estado sólido, es decir, se hacen más compactas porque sus átomos se empaquetan mejor, el agua contradice a la naturaleza. Ésta se organiza en estado sólido de tal forma que los cristales que produce un grupo de moléculas ocupan más es-



▲ De forma majestuosa se pueden apreciar los tres estados del agua: las nubes que se formaron a partir de agua en estado gaseoso, el hielo de las montañas, que al pasar del estado sólido al líquido, dará cuerpo al lago, que en su fase líquida permitirá múltiples formas de vida. Xinantécatl, Nevado de Toluca, Estado de México, México. Fotografía de Alicia Mendoza Maldonado, 2017.

pacio que el que ocuparía el mismo grupo en forma líquida. Como resultado, el hielo flota en el agua líquida. Sin este pequeño detalle, el fondo de los ríos y lagos estaría congelado, por lo que los peces y otros seres vivos morirían sin remedio. La capa de hielo que cubre ríos y lagos en invierno actúa como aislante, permitiendo que la temperatura del agua bajo el hielo sea de unos 4°C. Esto hace posible que los diversos residentes puedan seguir viviendo en su hábitat. Aún más, si el hielo no estuviera en la superficie, quizá el agua no alcanzaría a descongelarse en el verano.

¿Un nuevo estado del agua?

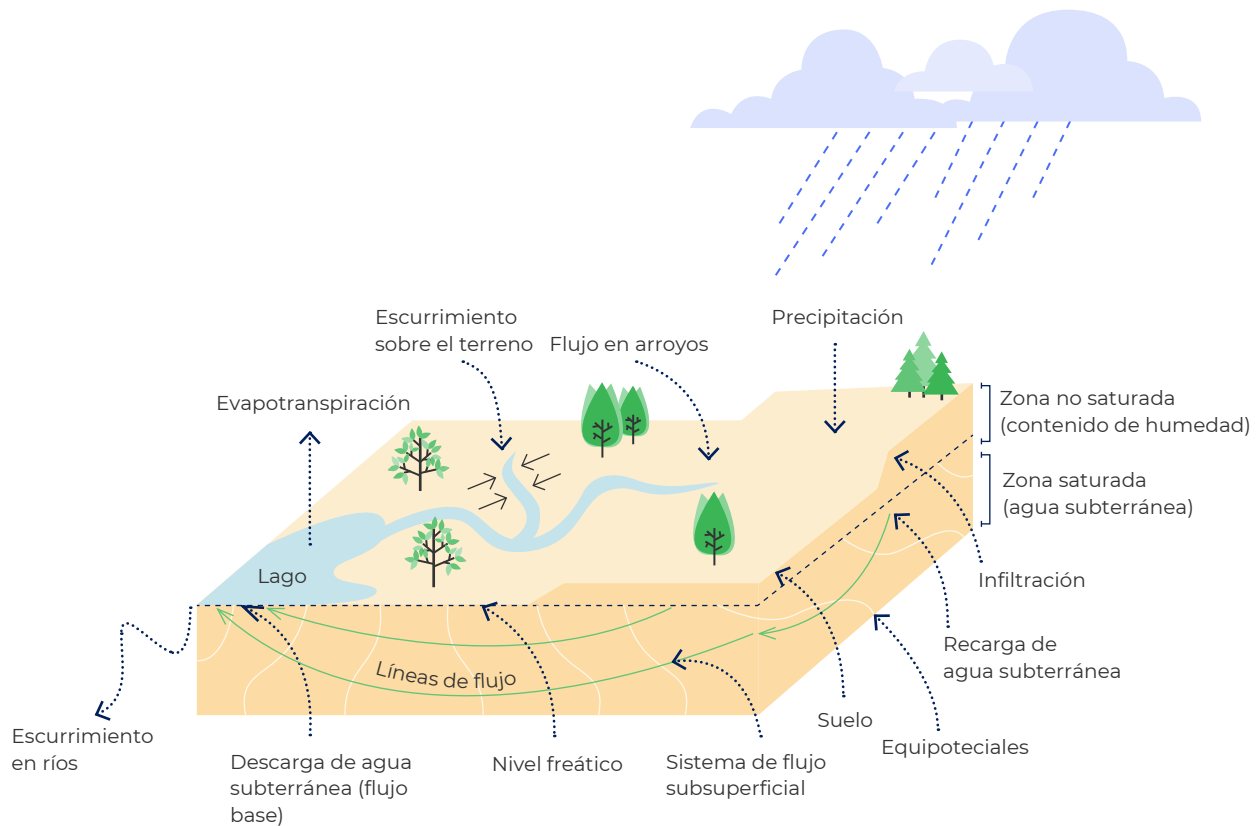
Recientes investigaciones científicas han descubierto otro estado del agua que se genera a temperaturas y presiones muy elevadas. A este estado se le conoce como hielo superiónico y se produce cuando, en un cristal, los átomos de hidrógeno dejan de estar unidos a los de oxígeno y forman una fase líquida que puede fluir entre la rígida estructura formada por los primeros. Este estado del agua es entonces dual, porque es a la vez sólido y líquido. La movilidad del hidrógeno permite que este hielo superiónico sea un buen conductor de electricidad. Este descubrimiento no sólo confirma que la molécula del agua es fascinante, sino también demuestra que todavía nos queda mucho por aprender sobre ella. 🕒

Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea: un paradigma

MARCOS ADRIÁN ORTEGA GUERRERO

Doctor en Ciencias. Investigador del Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México.

LA GESTIÓN DEL AGUA EN MÉXICO HA SIDO ERRÓNEA DURANTE las últimas décadas porque se ha basado en conceptos técnicos y científicos falsos, lo que ha creado numerosos conflictos por el agua en distintas regiones del país y ha provocado daños severos al ambiente y a la salud de las personas. Rectificar esta situación implica retos científicos, técnicos, educativos y jurídicos que es necesario enfrentar de manera urgente. El primer paso para elaborar un nuevo sistema de gestión de este preciado elemento es adoptar un modelo científico adecuado que permita entender el ciclo del agua en su conjunto. Por eso, proponemos que es indispensable utilizar el paradigma de los Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea Tothiano-Freezeanos (SGFAS-TF) como base para la elaboración de regulaciones que permitan una gestión sustentable del agua.



▲ Figura 2. Ciclo hidrológico. Diferentes elementos del ciclo del agua. Modificado de Freeze y Cherry (1979).

En México, el 97% del agua es subterránea y tan sólo el 3% es superficial (ríos, lagos, presas, etc.). De la primera proviene la mayor parte del agua destinada al consumo humano: aunque en realidad, de la totalidad del agua extraída del subsuelo, entre el 80 y el 85% está destinada a actividades de riego. A pesar de que la salud y la alimentación de la población mexicana dependen principalmente de las fuentes subterráneas, se ha dedicado poca atención a entender su funcionamiento sistémico.

Los diferentes componentes del ciclo hidrológico como un sistema se ilustran en la figura 2. Todos estos elementos fueron integrados en un solo modelo (SGFAS-TF) por J. Tóth y A. Freeze, en la década de 1960, con el objetivo de entender el flujo del agua subterránea en su conexión con el agua superficial, el clima, la topografía, el suelo, la vegetación y los ecosistemas. Debido a la enorme capacidad explicativa de su metodología integradora, este tipo de aproximación se sigue empleando y perfeccionando por los científicos alrededor del mundo. Sin embargo, en México hubo una enorme resistencia a incorporarlo como base de la legislación y los regla-

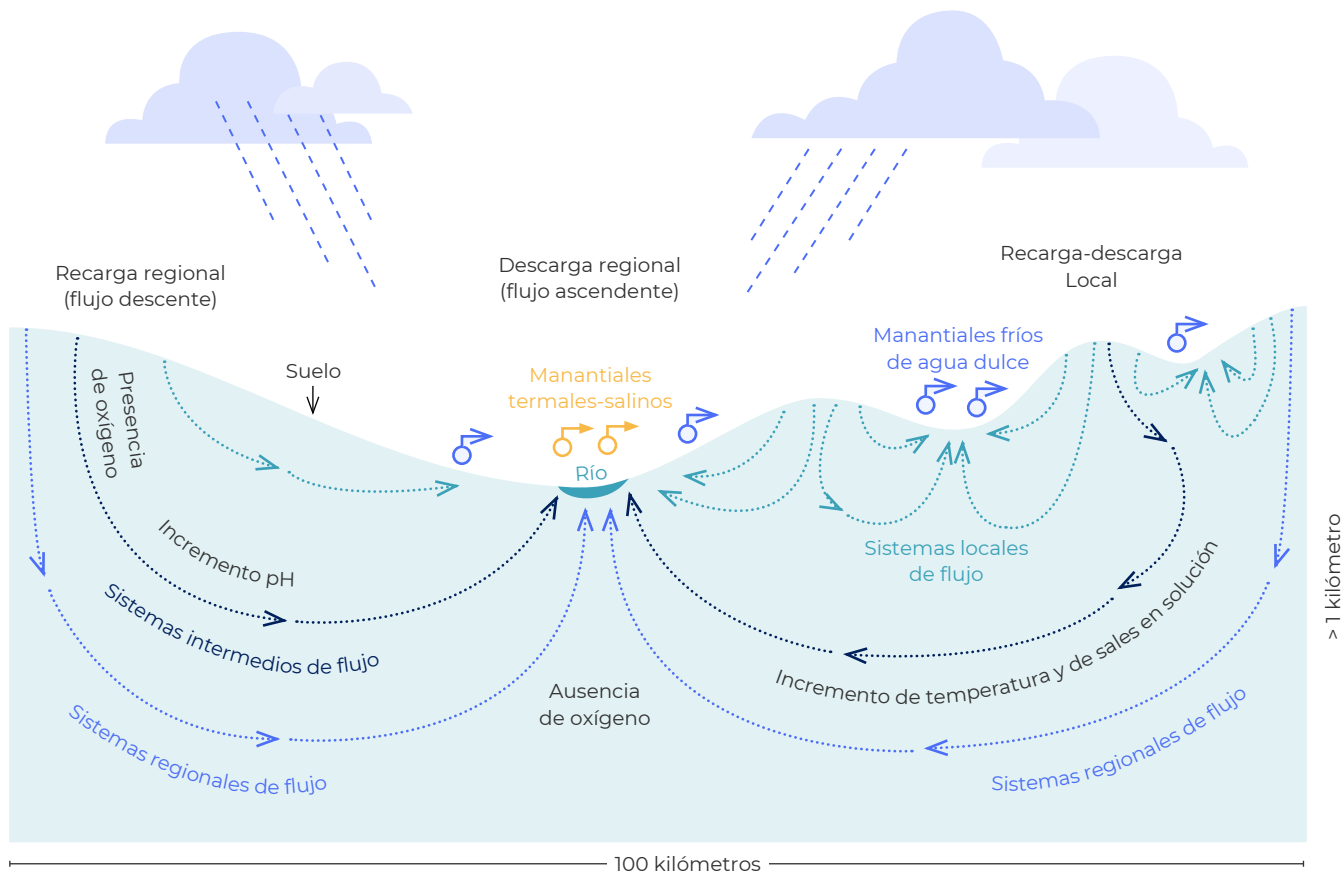
mentos, porque esto representaría una amenaza a grandes intereses económicos y políticos. Se espera que esta situación cambie con la Cuarta Transformación.

Ilustraremos el tipo de metodología integradora al que nos referimos mediante la explicación de SGFAS Tothianos (fig. 3). Los elementos que constituyen dicho sistema son: el clima, el relieve topográfico, el suelo, los ríos, arroyos, lagos y ecosistemas, el agua subterránea –el medio geológico en el que se mueve (generalmente conocido como acuífero), el potencial hidráulico, los patrones de flujo–, la evolución química, la interacción dinámica entre todos ellos y la actividad humana que modifica estos sistemas.

El clima está determinado por el patrón a largo plazo de temperaturas y precipitaciones medias y extremas (estadística del tiempo atmosférico), la humedad, la presión atmosférica, el viento y otras variables meteorológicas locales o regionales.

El relieve se refiere a la topografía del terreno, que se mide en función de su elevación sobre el nivel medio del mar.

▼ Figura 3. Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea Tothianos. Modificado de Tóth (2016).



Los suelos dependen de la evolución geológica de una región, por lo que son extremadamente complejos y variables. Determinan el desarrollo de los ecosistemas, el crecimiento de las plantas y el tipo de escurrimiento superficial del agua, por lo que son fundamentales en el desarrollo de la vida terrestre.


El agua subterránea es la que ocupa el espacio poroso o fracturado de los sedimentos y rocas en el subsuelo, que es el resultado de la evolución geológica a lo largo de miles de millones de años. Como puede apreciarse en la figura 2, existen dos zonas en el subsuelo. La zona «no saturada», «vadosa» o «parcialmente saturada» es aquélla donde los poros de los materiales granulares (gravas, arenas, limos) o las fracturas albergan tanto agua como aire; a diferencia de la zona saturada, donde todo el espacio disponible es ocupado por agua. El nivel freático separa ambas zonas.

En el subsuelo, el flujo del agua depende de la carga hidráulica, a diferencia de lo que ocurre en la superficie, donde el movimiento depende de la altura del terreno (pues el agua siempre viaja de mayor a menor elevación). La carga hidráulica obedece al potencial del fluido, es decir, a la energía mecánica por unidad de masa, y siempre va de zonas de mayor hacia zonas de menor potencial hidráulico.

Los patrones de flujo de agua subterránea son generados por las diferencias del nivel freático, en sistemas locales, intermedios y regionales, modificados por las heterogeneidades del subsuelo. La topografía tiene un efecto ubicuo en estos patrones, provocando su movimiento a mayores profundidades. Los sistemas locales tienen tiempos de residencia de meses a unos cuantos años; los intermedios de cientos de años y los regionales, hasta de miles de años.

La evolución química se refiere a la incorporación de diversos elementos químicos al agua subterránea por la disolución de minerales del subsuelo a lo largo del patrón de flujo. Algunos componentes permiten estimar las zonas de recarga y tiempo de residencia del agua.

La reconstrucción de la interacción entre todos los elementos antes mencionados en su relación con la actividad humana es lo que permite entender el ciclo del agua de forma adecuada.

Por lo anterior, este modelo permite reproducir y comprender tanto el funcionamiento natural de los SGFAS como las alteraciones causadas por la intervención humana. Así, este sistema resulta de enorme utilidad para mapear las consecuencias a corto y largo plazo de las acciones humanas sobre el ciclo del agua. Su incorporación como base para la investigación y la legislación permitirá corregir los errores de manejo de este elemento y, con ello, lograr una gestión sustentable del agua en México. 

Referencias

- Freeze, R. A., y Cherry, J. A. (1979). *Groundwater: United States of America*. Prentice Hall.
- Tóth, J. (2016). The Evolutionary Concepts and Practical Utilization of the Tóthian Theory of Regional Groundwater Flow. *International Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1(111). <http://doi.org/10.15344/2456-351X/2016/111>

La contaminación del agua subterránea

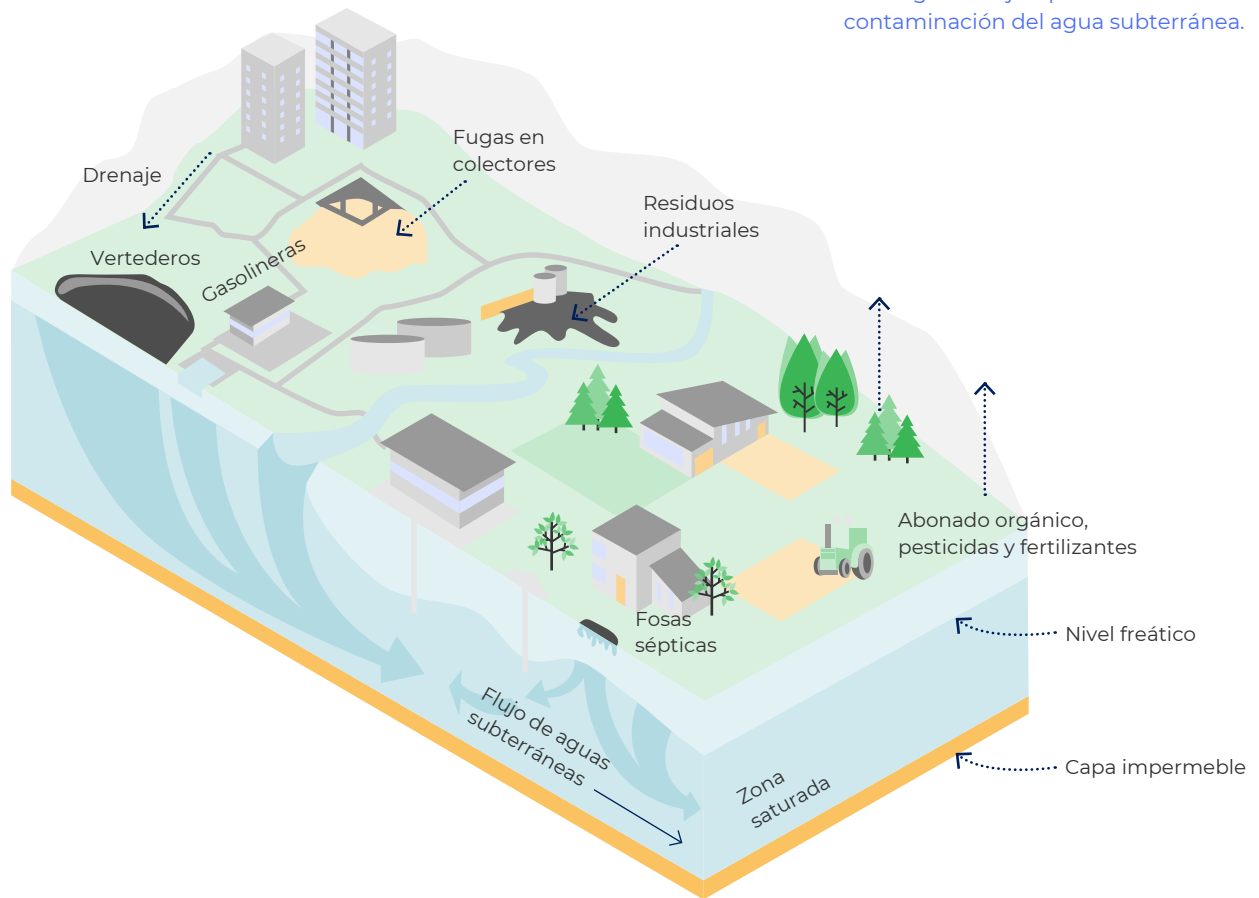
ERIC MORALES CASIQUE

Doctor en Hidrología. Investigador del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

FUGAS Y DERRAMES DE
SUSTANCIAS UTILIZADAS O
PRODUCIDAS POR EL HOMBRE
SE INFILTRAN Y LLEGAN AL
AGUA SUBTERRÁNEA,
LA CONTAMINAN Y OCASIONAN
QUE NO SEA APTA PARA
USO HUMANO.

EL AGUA SUBTERRÁNEA CIRCULA A TRAVÉS DE los poros del suelo, de sedimentos y de grietas y fracturas en rocas del subsuelo. A medida que fluye, transporta sustancias disueltas, lo que tiene implicaciones positivas para los procesos geológicos de larga duración relacionados con la precipitación y disolución de minerales a lo largo de miles y millones de años, al tiempo que le permite transportar nutrientes y energía entre diferentes porciones de una cuenca hidrológica. Sin embargo, esto también tiene consecuencias negativas, derivadas principalmente de la actividad humana, pues el agua se contamina fácilmente y arrastra elementos nocivos al subsuelo. Fugas y derrames de sustancias, utilizadas o producidas por el ser humano (gasolinas, fertilizantes, aguas negras, desechos industriales, entre otras), se infiltran y llegan al agua subterránea, la contaminan y ocasionan que no sea apta para uso humano.

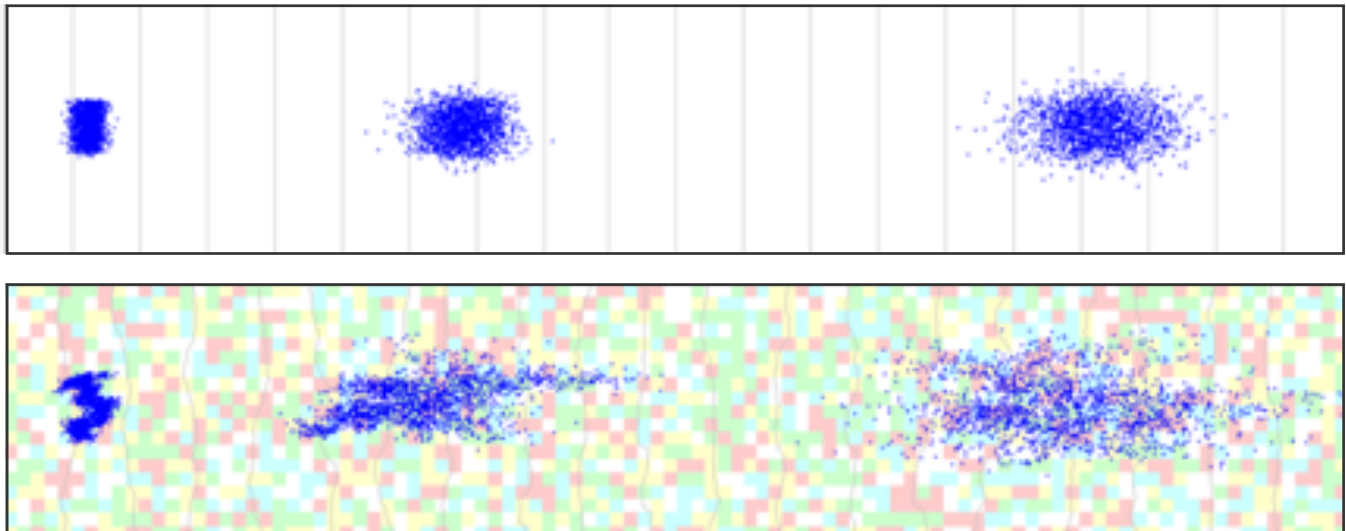
▼ Figura 4. Ejemplos de fuentes de contaminación del agua subterránea.



Una vez en el subsuelo, estas sustancias son transportadas hacia zonas de descarga natural (ríos, humedales, manantiales y el mar), así como a pozos de los cuales se extrae el agua para consumo humano, riego y usos industriales.

Detectar la contaminación del agua subterránea es un gran reto porque la única forma de hacer un diagnóstico preciso es perforar pozos para coleccionar muestras de agua. Por eso, en la mayor parte de los casos, los problemas no se detectan sino hasta que el agua subterránea ha transportado los contaminantes a un manantial, un río o un pozo que abastece de agua a alguna población. Incluso en estos casos, es frecuente que los contaminantes pasen desapercibidos y la población se vea afectada.

A esto se agrega que limpiar el agua contaminada dentro del subsuelo es un proceso extremadamente complejo que, cuando es posible, requiere de inversiones fuertes y puede tomar desde años hasta décadas. Adicionalmente, antes de realizar la limpieza, es necesario encontrar la fuente de contaminación, investigar qué porciones del subsuelo se encuentran afectadas y analizar los procesos que influyen en el transporte del contaminante (tales como sorción, degradación e intercambio iónico). La complejidad natural del medio geológico es un factor adicional que complica el estudio del flujo de contaminantes, pues estos son transportados a velocidades variables y se mueven más rápido en zonas permeables. Sin embargo, describir con certeza la variabilidad es-



▲ Figura 5. Transporte de contaminantes en el agua subterránea: en un medio geológico idealizado uniforme (superior) y en un medio geológico más realista con propiedades variables (inferior). El flujo de agua subterránea va de izquierda a derecha. Se representa la distribución del contaminante en tres tiempos diferentes.

pacial natural de las formaciones geológicas no es factible, puesto que requeriría de recursos económicos ilimitados. En consecuencia, los especialistas están obligados a elaborar descripciones aproximadas del sistema hidrogeológico con base en un número muy limitado de datos de campo y sus modelos deben evaluar la incertidumbre derivada de la descripción incompleta del sistema.

Debido a que la limpieza del agua subterránea es un proceso extremadamente difícil y costoso, en ocasiones se opta por confiar en los procesos y transformaciones naturales que ocurren en el subsuelo y que degradan algunos contaminantes (por ejemplo, los hidrocarburos). Esta estrategia se conoce como *atenuación natural* y, aunque puede ser útil cuando está acompañada de un monitoreo y seguimiento riguroso de la degradación del contaminante, no soluciona todos los problemas.

Por todas las razones antes señaladas, la estrategia de prevención es la más adecuada para lidiar con el problema de la contaminación del agua subterránea. Es necesario que se impongan límites a las actividades humanas que puedan resultar nocivas dentro de áreas de captación de las fuentes de abastecimiento. A su vez, deben instalarse sistemas de monitoreo del agua subterránea en la periferia de fuentes potenciales de contaminación como rellenos sanitarios, sitios de disposición de desechos, presas de jales o gasolineras, por mencionar algunas. La colaboración de toda la población es necesaria para reducir los riesgos de la contaminación del agua subterránea. Ⓞ

Agua y manejo sustentable de socioecosistemas

LANDY CAROLINA OROZCO URIBE

Doctorante del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Campus Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México.

PARA GENERAR ESTRATEGIAS DE MANEJO SUSTENTABLE DE ESTE RECURSO, ES NECESARIO HACER VISIBLE EL PAPEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL CICLO HIDROLÓGICO...

LOS SERES HUMANOS, COMO TODOS LOS SERES vivos de nuestro planeta, necesitamos agua para vivir. La circulación del agua, a través del ciclo hidrológico, mantiene muchos de los procesos naturales que llevan al establecimiento y desarrollo

no sólo de los ecosistemas, sino también de las civilizaciones humanas y las actividades económicas que las sustentan. Así, dado que el mundo natural y el humano están siempre íntimamente ligados, hablamos de «socioecosistemas».

Conocer cómo y por dónde circula el agua es la base para lograr su manejo sustentable. Los problemas de agua que la humanidad enfrenta en la actualidad están asociados, en gran medida, al desconocimiento de que el 99% del agua dulce líquida de nuestro planeta es subterránea (Poeter *et al.*, 2020). Por ello, para generar estrategias de manejo sustentable de este recurso, es necesario destacar el papel del agua subterránea en el ciclo hidrológico y entender las formas en que ésta se relaciona con las actividades humanas en la superficie de la tierra.



▲ Fotografía de Landy Carolina Orozco Uribe, San Miguel de Allende, Guanajuato.


Pero, entonces, ¿cómo llega el agua al subsuelo en primer lugar? Responder esta pregunta nos lleva a estudiar la dinámica que este elemento sigue para sortear todos los obstáculos existentes y llegar a los acuíferos. En esta larga carrera hacia el subsuelo, el agua debe pasar por techos de casas y edificios, sortear pavimentos, deslizarse por distintas capas de vegetación, atravesar las distintas capas del suelo, evitar ser absorbida por las raíces de las plantas y, en suma, recorrer un largo camino. Esto es lo que se conoce, en pocas palabras, como proceso de recarga.

Queda claro que el manejo de los ecosistemas en la superficie afectará de manera importante el proceso de infiltración. Actividades como la construcción de edificios y vías de comunicación, la eliminación de vegetación o el sobrepastoreo no sólo afectan el paisaje visible sino que disminuyen la porosidad de los suelos o incluso «impermeabilizan» la superficie, lo cual evita que el agua encuentre vías de circulación hacia el subsuelo.

A su vez, la polución de suelos causada por el uso excesivo de agroquímicos o por los derrames de contaminantes también tendrá consecuencias importantes en la calidad del agua subterránea. Una vez que ésta finalmente ha alcanzado el punto donde todos los poros o fracturas de la roca están totalmente ocupados por agua (lo que puede implicar desde unos cuantos metros hasta cientos de ellos desde la superficie), entonces podemos decir que se ha alcanzado el acuífero o «medio saturado», recargándolo.

Sin embargo, el agua no se queda estática, sino que continúa su flujo por distintos caminos hasta encontrar una salida en forma de manantiales, ríos permanentes, lagos, manglares o cualquier otro humedal que presente agua todo el año (sobre todo en ecosistemas áridos o con una marcada estacionalidad) y, con ello, se reincorpora a la dinámica superficial del ciclo hidrológico. En este fluir, el agua subterránea también encuentra salidas artificiales a través de pozos que son

excavados para emplearse en distintas actividades humanas, de las cuales la más demandante, es la agricultura. Esto no sólo afecta su flujo natural sino que, a falta de conocimiento suficiente y regulaciones pertinentes, comporta una larga serie de riesgos. Actualmente, el principal problema relacionado con la extracción de agua subterránea es que el volumen extraído suele ser superior al de recarga, lo cual tiene como consecuencia la desecación de los ecosistemas de salida (o de descarga) antes mencionados y, por lo tanto, la pérdida de especies animales y vegetales. Aún más, la mala gestión y la extracción excesiva de agua provoca que las actividades económicas asociadas a su existencia se vean afectadas y que el acceso al agua de las poblaciones humanas en dichas localidades se vea comprometido.

Vemos entonces que también de manera subterránea existen «corredores» que conectan socioecosistemas distintos a través de los sistemas gravitacionales de flujo de agua subterránea (Tóth, 1962). El movimiento del agua en dichos corredores se da en periodos de tiempo que pueden ser de unos cuantos meses, años, o incluso abarcar tiempos geológicos (miles de años). Las extensiones territoriales involucradas pueden ser relativamente pequeñas o muy amplias. Al ser el flujo del agua subterránea un proceso tan complejo, las decisiones de manejo y las acciones que se lleven a cabo en las zonas de recarga no se verán reflejadas en las zonas intermedias y de descarga de manera inmediata o en el corto plazo. De ahí la necesidad de estudiar cada uno de los procesos asociados a la recarga, al flujo y a la descarga del agua subterránea, y de difundir esta información para poder generar modelos de intervención en cada contexto territorial particular, tomando en consideración a los legítimos propietarios o poseedores de la tierra y sus necesidades a lo largo de todo el sistema de flujo. 

Referencias

- Poeter, E., Fan, Y., Cherry, J. A., Wood, W., y Mackay, D. (2020). *Groundwater in Our Water Cycle*. The Groundwater Project.
- Tóth, J. (1962). A Theory of Groundwater Motion in Small Drainage Basins in Central Alberta, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 67(11). <https://doi.org/10.1029/jz067i011p04375>

Restauración agroecológica para captar y aprovechar agua de lluvia en el semiárido

RAMÓN AGUILAR-GARCÍA

Investigador del Campo Experimental Norte de
Guanajuato, Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

... ES NECESARIO ENCONTRAR
ALTERNATIVAS PARA
CONTROLAR LA EROSIÓN Y
MANTENER EL FUNCIONAMIENTO
CORRECTO DEL PROCESO DE
FILTRACIÓN DE AGUA.

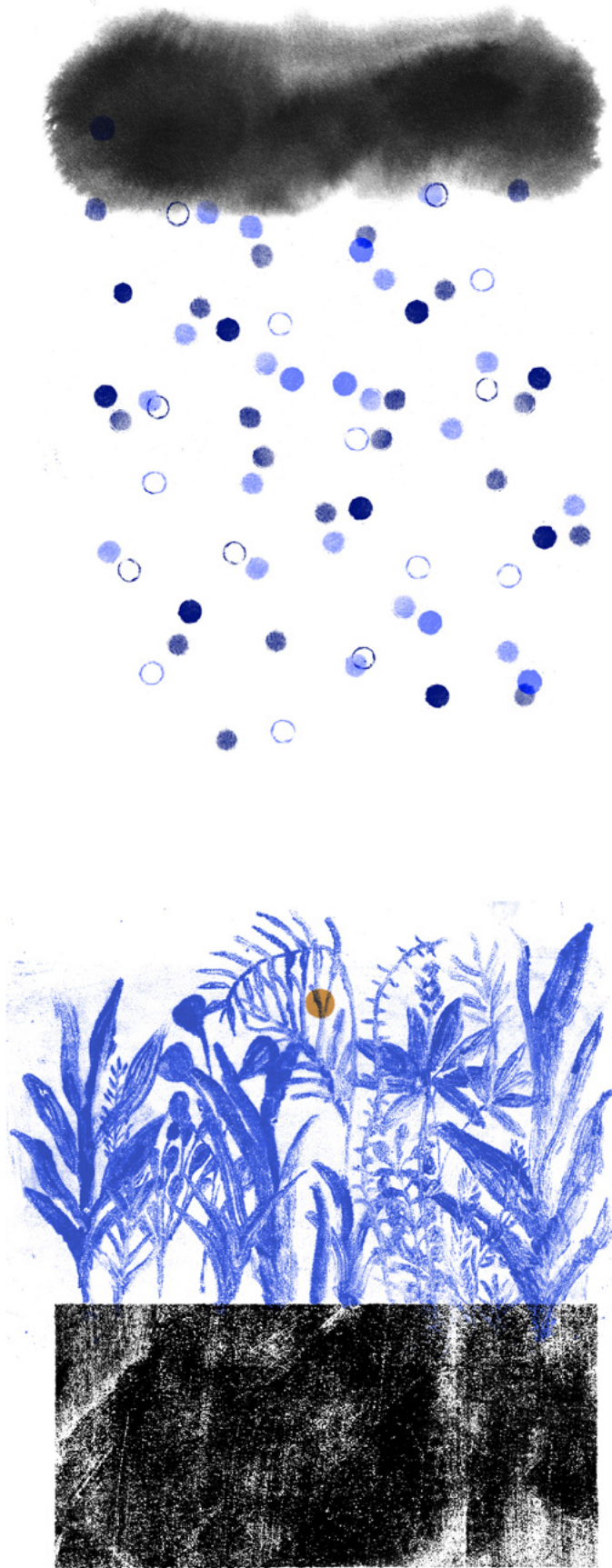
LOS SUELOS SON UNO DE LOS FACTORES DETERMINANTES en el ciclo del agua, pues constituyen la primera capa que ésta debe atravesar en el proceso de infiltración que lleva a la recarga subterránea. A pesar de tomar cientos o miles de años en formarse, y ser extremadamente complejos y variables, los suelos se dañan fácilmente con el incremento progresivo de la erosión, la compactación, la labranza y la contaminación. Debido a que el desarrollo de la vida terrestre –tanto animal como vegetal– depende en gran medida de las condiciones en las que se encuentre, es necesario desarrollar alternativas para controlar la erosión y mantener el funcionamiento correcto del proceso de infiltración del agua.

En el Campo Experimental Norte de Guanajuato (Cengua) se han desarrollado diversas estrategias para controlar la erosión que han permitido, tras más de 40 años de trabajo, revertir la degradación de los suelos. Entre estas técnicas de restauración destaca la secuencia de rotura vertical del suelo, diseñada para sistemas agropecuarios. El primer paso para este proceso de restauración es diagnosticar la magnitud del daño mediante pruebas en campo que toman en cuenta la variabilidad en la capacidad de infiltración que cada tipo de suelo presenta.

Después, debe realizarse la rotura vertical; es decir, fracturar el terreno para incrementar la capacidad de filtración del agua de lluvia, incluso ahí donde la estructura del terreno está dañada. Las fracturas no deben voltear ni exponer el suelo a la radiación solar y, cuando son hechas por equipos motorizados ligeros, deben tener de 20 a 40 cm de profundidad y de 40 a 60 cm de separación. Dicha rotura puede también realizarse con equipos pesados, en cuyo caso puede llegar a tener hasta 90 cm de profundidad y debe mantener unos 200 cm de espacio entre líneas. Para que esta técnica tenga eficacia debe aplicarse entre tres y once años consecutivos –dependiendo del estado «de salud» del suelo– y, posteriormente, de manera más espaciada. Aunado a esto, debe realizarse un monitoreo riguroso de los cambios físicos en el suelo para medir el impacto de la intervención. Si este proceso es exitoso y la capacidad de infiltración de agua de lluvia crece, el suelo también incrementará sus niveles de humedad y, con ello, será posible realizar la siembra en seco de diferentes tipos de gramíneas y leguminosas antes de la época de lluvia.



▲ Siembra en seco de gramíneas. Rotura vertical ligera en terreno de aptitud agrícola de temporal. Campo Experimental Norte de Guanajuato, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Fotografía de Marcos Adrián Ortega Guerrero, 2017.




Esta metodología de restauración tiene muchos beneficios. Por un lado, permite enfrentar los efectos negativos del cambio climático, ya que las propiedades del suelo generado garantizan la infiltración de las lluvias de la región (hasta un 90%) y aseguran la presencia de agua en el subsuelo durante fenómenos de sequía. Además, esta estrategia favorece el secuestro de carbono, es decir, la remoción de gases de efecto invernadero de la atmósfera.

Por otro lado, la rotura vertical favorece las condiciones para la producción de pasto y, con ello, la disponibilidad de forraje para obtener productos pecuarios como carne. En condiciones naturales, la producción de dicha planta está determinada por la cantidad de agua de lluvia, el espesor del suelo, los nutrientes y la composición botánica. El espesor del suelo es fundamental para que los pastos se desarrollen, pues de él depende la capacidad de captación de agua de lluvia, el tipo de nutrientes disponibles en el suelo y el espacio disponible para las raíces.

Gracias a que se ha practicado rotura vertical en función de la precipitación, en el Cengua se ha logrado una vasta producción de pasto en suelo con 90 cm de espesor; situación que contrasta con las zonas agrícolas dependientes del manejo tradicional, donde la infiltración del agua de lluvia no es mayor al 5 o 10%. Cuando hay más de 90 cm de espesor de suelo, es factible que del ciclo anterior queden entre 150 a 175 mm de agua,

... ESTE TIPO DE ESTRATEGIAS
PERMITE REDUCIR
PROGRESIVAMENTE LA
EXTRACCIÓN EXCESIVA DE
AGUA SUBTERRÁNEA Y,
CON ELLO, FAVORECE
EL EQUILIBRIO DE LOS
ECOSISTEMAS.

con lo cual se puede afrontar un temporal extremadamente seco con menos de 250 mm y, aun así, obtener alimento para ganado. En cambio, si la precipitación anual es superior al promedio, es decir, arriba de 450 mm, la producción de pastura será mayor y el agua de lluvia excedente ingresará a las capas más profundas del terreno sin causar erosión.

Así, la mejora en la captación de agua de lluvia a través de la técnica de ruptura vertical hace posible mejorar las condiciones de la producción agropecuaria en ambientes semiáridos. De esta forma no sólo se reduce la erosión hídrica y eólica sino que pueden atenuarse las condiciones ambientalmente desfavorables que propician la migración a Estados Unidos. Además, este tipo de estrategias permite reducir progresivamente la extracción excesiva de agua subterránea y, en consecuencia, favorece el equilibrio de los ecosistemas. Por ello, es necesario cambiar las políticas de apoyo al campo en México y generar programas que promuevan el uso de técnicas adecuadas de conservación de suelos. 

Referencias

- Aguilar-García, R., y Ortega-Guerrero, M. A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2).
- Freeze, R. A., y Cherry, J. A. (1979). *Groundwater: United States of America*. Prentice Hall.
- Hunt, A., y Ewing, R. (2009). *Percolation Theory for Flow in Porous Media*. Springer-Verlag.
- Landers, J. N. (2007) *Sistemas tropicales de agricultura-ganadería en la agricultura de conservación. La experiencia en Brasil*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Tláloc y Chalchiuhtlicue: dioses del agua

ISSA ALBERTO CORONA MIRANDA

Doctorando en el Programa de Posgrado en Filosofía
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

... SE CREÍA QUE, GRACIAS
A LA ACCIÓN DEL AGUA EN
ESTE CONTEXTO RITUAL, ERA
POSIBLE RENACER.

EL AGUA SIMBOLIZABA PARA LOS ANTIGUOS mexicanos el fundamento de la vida. No sólo fue un elemento esencial para el desarrollo de las sociedades precolombinas sino que, al ser conside-

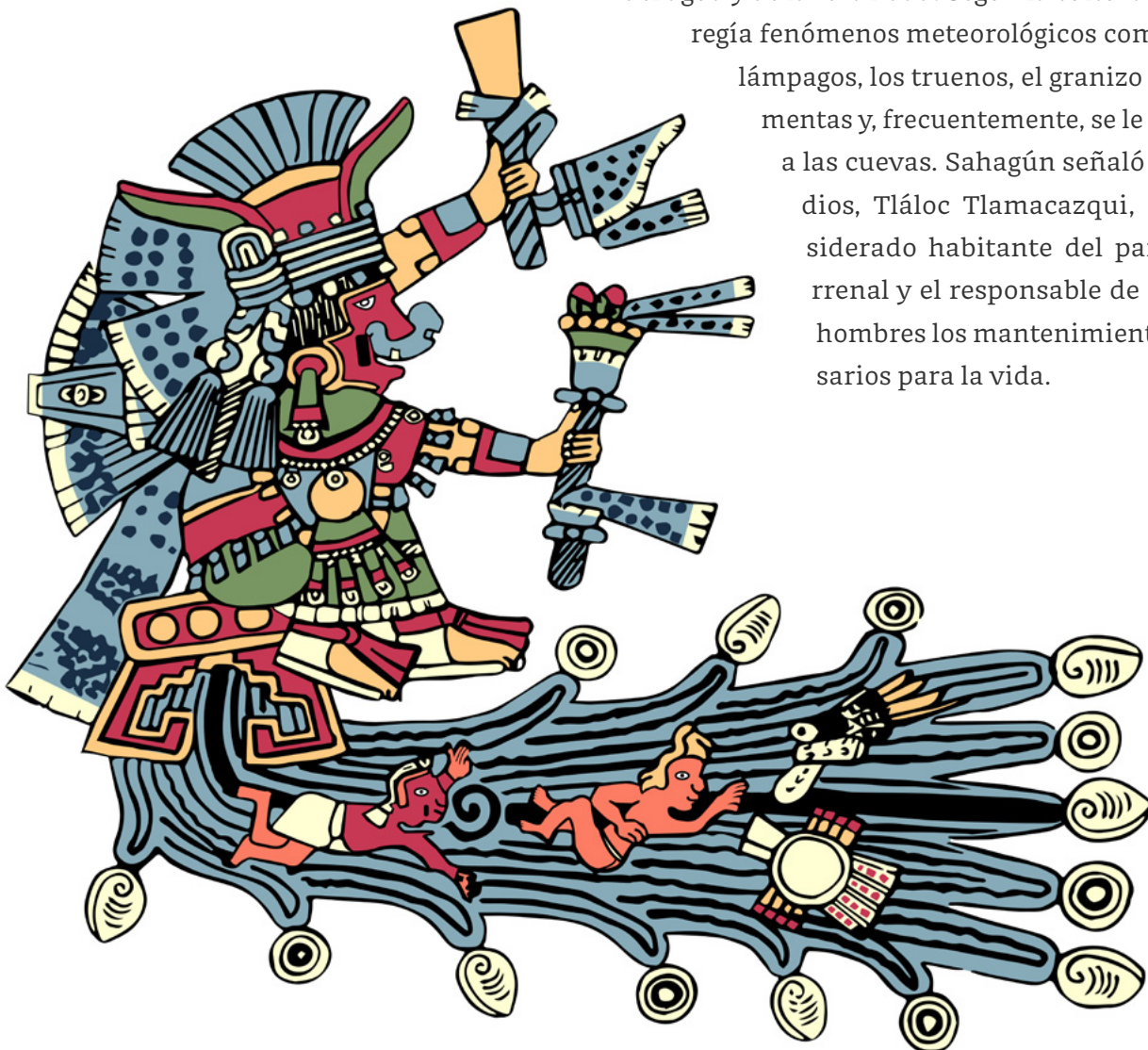
rado la base de la supervivencia humana, ocupó un lugar central en sus ceremonias y ritos. Este líquido vital era considerado curativo. Por ello, los baños de vapor con piedras calientes y plantas medicinales, llamados *temazcalli*, «casa de vapor», eran espacios destinados a la purificación del cuerpo de cada individuo. Se creía que, gracias a la acción del agua en este contexto ritual, era posible renacer.

En el siglo XVI, Fray Bernardino de Sahagún y Fray Diego Durán reunieron información sobre la cosmovisión náhuatl gracias a la voz de sus informantes indígenas. En los textos que escribieron, titulados *Historia general de las cosas de la Nueva España* (1569) e *Historia de las Indias de la Nueva España e islas de tierra firme* (1581), respectivamente, trataron de explicar el significado del agua y de los dioses y diosas acuáticos en relación con las fiestas rituales del calendario.

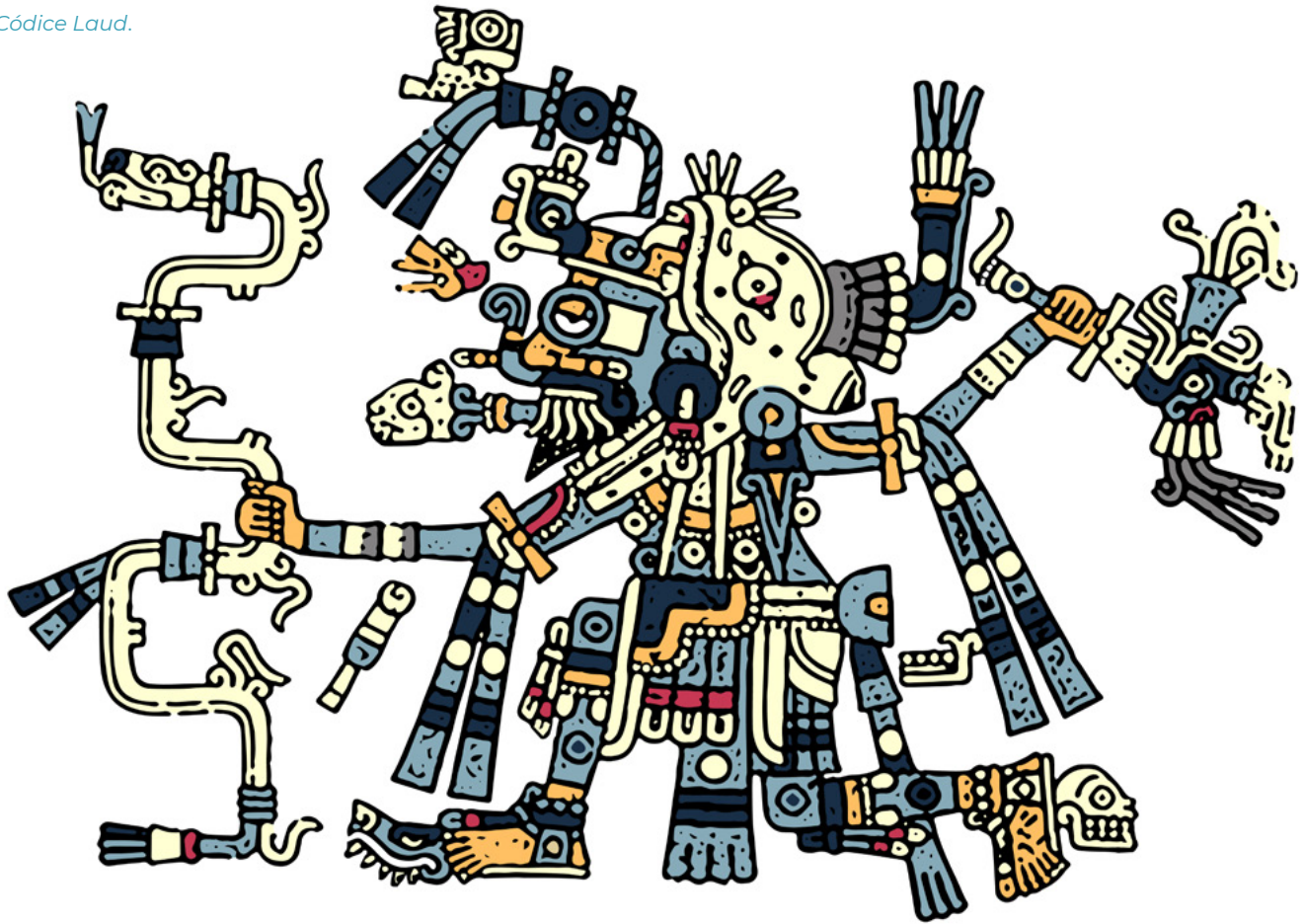
Chalchiuhtlicue, «la de la falda de jade», era la diosa del agua, de los lagos, los ríos, los mares y los manantiales. Era también la esposa del dios Tláloc, hermana de los tlaloques y, usualmente, se le representaba como una mujer. Además, se relacionaba con otras diosas del panteón mexica, como Chicomecóatl, por su capacidad de fecundar la tierra en los ritos agrícolas. Gracias al libro de Sahagún, sabemos que en esta deidad se depositaba el poder de generar tempestades y torbellinos en los cuerpos de agua para hundir navíos y ahogar hombres a su voluntad. Sabemos también que Chalchiuhtlicue tenía un lugar privilegiado entre las deidades mexicas al ser patrona de los bautismos y protectora de los navegantes.

▼ Representación de Chalchiuhtlicue tomada del *Códice borbónico*.

Tláloc, «dios de la lluvia», era la deidad de los cerros, del agua y de la fertilidad. Según la cultura náhuatl, regía fenómenos meteorológicos como los relámpagos, los truenos, el granizo o las tormentas y, frecuentemente, se le asociaba a las cuevas. Sahagún señaló que este dios, Tláloc Tlamacazqui, era considerado habitante del paraíso terrenal y el responsable de dar a los hombres los mantenimientos necesarios para la vida.



▼ Representación de Tláloc tomada de la lámina 2 del Códice Laud.



De la lluvia dependía la germinación de las semillas y, con ello, la abundancia de alimento para la supervivencia de los humanos. Así, Tláloc era una figura ambivalente. Realizar los rituales pertinentes para mantener su favor era fundamental para evitar la sequía o las inundaciones en las tierras de cultivo y en las ciudades.

Como podemos ver, el culto a ambos dioses acuáticos (Tláloc y Chalchihuilicue) era sumamente importante en la cosmovisión de los pueblos nahuas porque de él dependía la suerte de todas las actividades agrícolas. Actualmente, siguen existiendo rituales relacionados con estas figuras en muchos pueblos indígenas, pues de este líquido depende que la vida siga floreciendo. 🌀

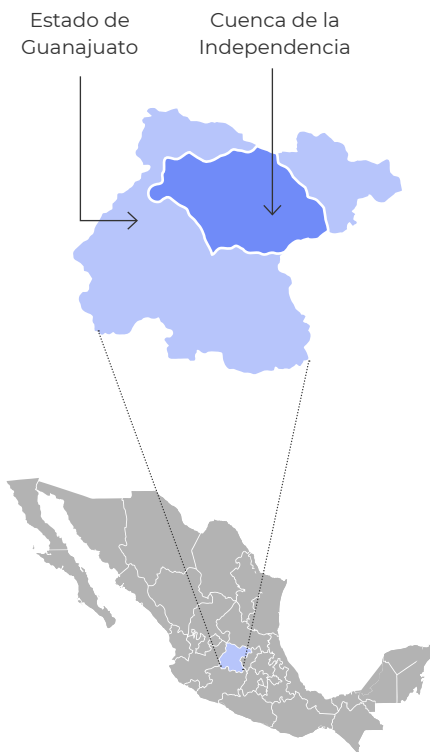
Referencias

- Martínez Ruiz, J. L., y Murillo Licea, D. (eds.). (2016). *Agua en la cosmovisión de los pueblos indígenas de México*. Comisión Nacional del Agua.
- Del Paso y Troncoso, F. (Comentarios). (1981). *Códice borbónico*. Siglo XXI Editores.
- Duran, D. (2002). *Historia de las Indias de la Nueva España e islas de tierra firme*. Conaculta.
- Sahagún, B. (1986). *Historia general de las cosas de la Nueva España*. Porrúa.
- Seler, E. (Comentarios). (1963). *Códice Borgia*. Fondo de Cultura Económica.

Una experiencia de desarrollo comunitario en la Cuenca de la Independencia

GRACIELA DE LA LUZ MARTÍNEZ DELGADO

Campesina y apicultora oriunda de una comunidad del municipio de Dolores Hidalgo, Cuna de la Independencia Nacional, Guanajuato. Representante del Cedesa.



▲ Figura 6. Localización geográfica de la Cuenca de la Independencia, Guanajuato.

EL CENTRO DE DESARROLLO AGROPECUARIO A. C. (CEDESA), RUBRICA LA IMPORTANCIA DE LA ORGANIZACIÓN COMUNITARIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LIDIAR CON LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y LOS CONFLICTOS AMBIENTALES. EL CENTRO HA TRABAJADO CON REPRESENTANTES DE MÁS DE 100 COMUNIDADES RURALES EN LOS MUNICIPIOS DE DOLORES HIDALGO, SAN DIEGO DE LA UNIÓN, SAN LUIS DE LA PAZ, SAN MIGUEL DE ALLENDE Y SAN FELIPE, QUE FORMAN PARTE DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA (CI) EN GUANAJUATO.

La historia comienza en la década de 1960. Entonces, para abastecer a las comunidades de la región, se usaba el agua de pozos someros, norias, ríos, arroyos, manantiales, estanques y presas. Sin embargo, debido a que en estos mismos lugares bebían agua también los animales, era común que la población presentara enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Esta situación llevó a que, en 1979, decidiéramos realizar un diagnóstico participativo con 20 comunidades aledañas para entender mejor los problemas comunes ligados al agua. Con esta actividad se abrió un primer diálogo acerca de la importancia de tomar agua limpia y se llegó al acuerdo de realizar gestiones para asegurar su abastecimiento en la región. A partir de entonces, se comenzaron a organizar regularmente asambleas comunitarias y, con ello, se habilitó un espacio de análisis y toma de decisiones que nos permitió reunir fondos para alcanzar nuestras metas.

Con las estrategias de participación y movilización desarrolladas en las asambleas a lo largo de 12 años (1980-1992), se logró instalar pozos de agua potable para 60 comunidades de 3 municipios de la CI. Además, gracias a la organización local y regional, nació la Unión de Comunidades Campesinas del Norte de Guanajuato (Uccang). En esta primera etapa de organización, se hizo evidente la necesidad del fortalecimiento de la autonomía de las comunidades, por lo que comenzó una dura fase de negociación con las autoridades. Aunque el camino fue difícil por las acciones represivas –que incluso llevaron a algunos participantes del movimiento a la cárcel–, después de muchas gestiones y movilizaciones se logró que los ayuntamientos respetaran la autonomía comunitaria en la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de agua.

▼ Presa en la Cuenca de la Independencia. Fotografía cortesía de Cedesa, 2008.





▲ Encuentro de representantes de las comunidades en la década de 1980. Fotografía cortesía de Cedesa.

Sin embargo, los problemas no acabaron aquí. Con la administración comunitaria de los pozos nos dimos cuenta de que algo no andaba bien con el agua subterránea: cada vez había que agregar más tubería a la bomba para tener acceso a este recurso. Esto coincidió con que, a través del Concejo para el Desarrollo del Norte de Guanajuato (Codenorte), nos enteramos de que el Centro de Geociencias de la UNAM estaba realizando estudios sobre el agua subterránea en la CI y nos pusimos en contacto con algunos de sus investigadores, lo cual, a la larga, ha tenido resultados de largo alcance. Los estudios científicos vieron la luz en 2002 y confirmaron nuestras sospechas, pues mostraron que el nivel freático se había dañado por la mala gestión y la extracción excesiva de agua subterránea, dedicada a satisfacer las necesidades de la agroindustria.


Este encuentro con los investigadores del Centro de Geociencias permitió sumar esfuerzos a la lucha y llevó a la realización del Primer Diplomado Práctico en Aguas Subterráneas (2008-2009), dedicado a difundir conocimiento científico acerca de los problemas del agua subterránea en la región. El diplomado nos empoderó a todos, pues nos permitió entender mejor las causas y la grave-

dad del problema de contaminación del agua con elementos tóxicos (flúor, arsénico y otros), lo que conlleva severas consecuencias sobre el ambiente y la salud de las personas. En estas actividades participaron más de 100 representantes de comunidades de la CI que se volvieron a su vez responsables de elaborar un proyecto y comunicar lo aprendido al resto de sus colectivos.

Este proceso nos ayudó a formar una identidad territorial con la CI como centro, y de ahí surgió la Coalición en Defensa de la Cuenca de la Independencia (Codecin), que integra a ocho organizaciones de base. El acompañamiento que hicieron los investigadores fue muy enriquecedor, pues nos permitió valorar la importancia del conocimiento científico y hacer actividades de difusión entre los miembros de las distintas comunidades. Por ello, en 2017 la Codecin y el Centro de Geociencias organizamos el segundo diplomado, donde reafirmamos lo aprendido, profundizamos en la comprensión de textos científicos centrados en la región y desarrollamos nuevos conocimientos de toxicología y leyes.

A lo largo de los años hemos seguido trabajando. Como parte de la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales (ANAA), en 2013 participamos en el Tribunal Permanente de los Pueblos, y organizamos la preaudiencia «Devastación del Recurso Hídrico Nacional». En 2019 participamos en el «Toxitour» con las regiones denominadas «infiernos ambientales», que buscaba llamar la atención de la Semarnat y encontrar soluciones a nuestras problemáticas socioambientales. Además, reali-

zamos un proceso de cosecha y ahorro de agua de lluvia (apoyado desde el 2008 por el Club Rotario del Medio Día de San Miguel de Allende) que llevó a la construcción de cisternas de ferrocemento y sanitarios ecológicos secos para más de 1500 familias. Por último, la relación y cohesión entre la ciencia y la organización social a lo largo de más de 10 años nos ha permitido participar en el Pronaces Agua del Conacyt. En todo este proceso se hizo evidente el importante papel que las mujeres desempeñan como líderes de procesos de transformación regional y los enormes beneficios de contar con el apoyo de científicos para diagnosticar y solucionar los problemas ambientales. La lucha en defensa de la vida sólo puede hacerse mediante la construcción de un sujeto social colectivo, tejiendo una red de grupos y comunidades que luchen por un mismo objetivo.

Desde que comenzaron las asambleas, el tema del agua limpia ha sido esencial para la dignidad, libre determinación y autonomía en las comunidades de la CI. Actualmente, seguimos con acciones de difusión, movilización y visibilización de la problemática del agua y la minería a cielo abierto (que representa un tema adicional de contaminación ambiental y daño a la salud). En todos estos años, el acompañamiento de investigadores y asesores que tienen una gran sensibilidad y calidad humana, en un ambiente de respeto mutuo, ha fortalecido nuestro proceso de vida. 

El río maya

YOSU RODRÍGUEZ ALDABE

Ingeniero Mecánico Electricista. Investigador del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), Centro Público de Investigación del Conacyt.

JUAN ROBERTO BÁEZ MONTOYA


Estudiante de la Maestría en Agronegocios y Mercados Sostenibles, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Colaborador en CentroGeo, Centro Público de Investigación del Conacyt.

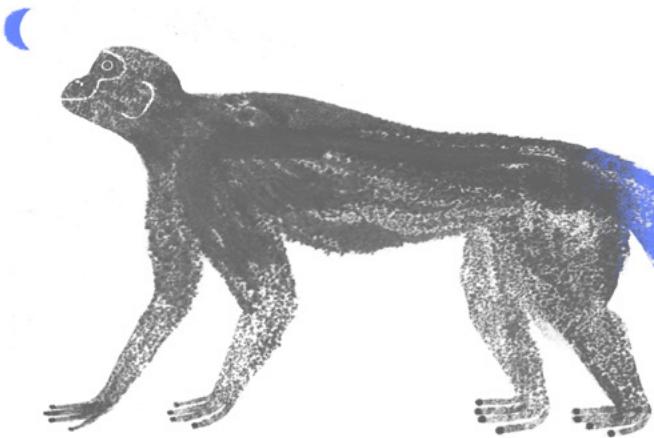
LOS DIVERSOS
ASENTAMIENTOS HUMANOS
LOCALIZADOS EN LA RIBERA
DEL RÍO ESTUVIERON
COMUNICADOS POLÍTICA Y
ECONÓMICAMENTE GRACIAS
A QUE ESTE CUERPO DE AGUA
PERMITÍA INTERACCIONES DE
TODO TIPO.

DISTINTAS CIVILIZACIONES SE HAN ESTABLECIDO, prosperado y decaído alrededor de cuerpos de agua. Tal es el caso de la cultura maya que, en el Periodo Clásico (200-900 d. C.), contaba con un sistema de ciudades conectado a través del río Usumacinta (cuyo nombre significa «lugar abundante en pequeños monos»). Los diversos asentamientos humanos localizados en la ribera del río estuvieron comunicados política y económicamente gracias a que este cuerpo de agua permitía interacciones de todo tipo. Las ciudades ribereñas más destacadas, a saber, Yaxchilán, Pomoná, Altar de Sacrificios, Dos Aguas y Piedras Negras, estuvieron ubicadas entre la unión de los ríos de la Pasión y Chixoy o Salinas, hasta la confluencia de éstos con el Río San Pedro en la cuenca del Usumacinta. Los reinos de Calakmul, Tikal y, en menor medida, Palenque fueron los que se disputaron el control del río durante mil años, aproximadamente desde el año 100 a. C. hasta finales del Periodo Clásico.

La civilización maya utilizó el río Usumacinta como conector entre distintas ciudades y desarrolló un sistema urbano basado en el río. Sin embargo, con la llegada de los españoles, se impusieron formas de ocupación del territorio basadas en tecnologías foráneas que respondían a condiciones y paisajes exógenos. Esta tendencia, que considera a los elementos y condiciones geográficos típicos de la región, no como guías, sino como obstáculos para el desarrollo, aún no ha cesado. Un ejemplo claro de esto es que las redes de carreteras y los centros poblacionales en Tabasco se construyen sin tomar en cuenta la dinámica hidrológica de la zona. La planeación urbana responde en este caso a lógicas económicas y geopolíticas que se intentan imponer sobre el paisaje original y que crean condiciones de desarrollo frágiles. El 2020 es prueba diáfana de ello, pues las inundaciones históricas fueron consecuencia de una planeación urbana que no tomó en cuenta el entorno en el cual se desarrolla.



Construir sistemas urbanos que estén en armonía con los cuerpos y flujos de agua de la región es fundamental. Para lograr un desarrollo sustentable, que asegure el acceso a agua de calidad, es necesario el diálogo entre el conocimiento científico y el vernáculo, así como el desarrollo de estrategias que respondan a los retos específicos que cada lugar plantea. Para ello, la brecha entre la academia y la sociedad debe reducirse, y esta última debe reconocerse como agente responsable en la toma de decisiones acerca de la conservación y el manejo de los recursos hídricos. Al abrir espacios de diálogo público acerca del agua, pueden aprovecharse los recursos de la ciencia ciudadana e incluir los conocimientos ancestrales en la gestión ambiental, de manera tal que se resuelvan los problemas de disponibilidad del agua, no sólo para consumo humano sino para el funcionamiento correcto de los ecosistemas. El entendimiento entre academia, sociedad y gobierno es la clave para fortalecer las condiciones de justicia ambiental y bien común que nos llevarán hacia la sustentabilidad. 



La aberración del agua embotellada

ALEJANDRO CALVILLO

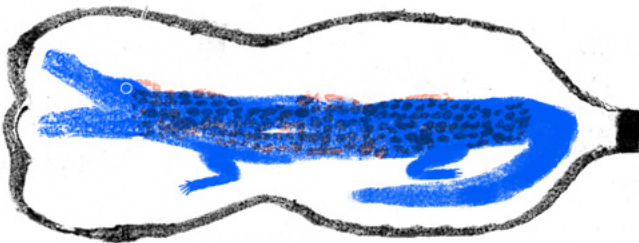
Director de la asociación civil
El Poder del Consumidor.



SI PARA EL 2010 LOS MEXICANOS NOS HABÍAMOS convertido en los mayores consumidores de agua embotellada en el mundo, con un promedio de 234 litros por persona al año, para el 2012 ya habíamos obtenido otro reconocimiento mundial como los mayores consumidores de bebidas azucaradas, con la alarmante cantidad de 164 litros por persona al año. Nos convertimos en el mejor negocio para Coca-Cola, PepsiCo, Danone y Nestlé, empresas que han llegado a dominar más del 80% de este mercado. De acuerdo con Euro-monitor, en 2019 se consumieron 5 000 millones de litros de agua embotellada en México y las ventas ascendieron a 60 100 millones de pesos, lo que proyecta un aumento de 9% entre 2019 y 2024.

La Red Mexicana de Acción por el Agua (Freshwater Action Network Mexico, FANMex) ha estimado que cada día se tiran 21 millones de botellas de plástico en nuestro país, lo que nos convierte, sin duda, en el mayor generador de este tipo de basura en el mundo. Desde hace años estas empresas han realizado toda una campaña para aparentar ante la opinión pública que se preocupan por el reciclado de sus desechos, mismos que tienen una vida en el ambiente de cientos de años. En este año, la organización Break Free From Plastic, con el apoyo de voluntarios en 55 países, recolectó 347 000 piezas de plástico tiradas en todo tipo de entornos y concluyó que Coca-Cola, PepsiCo y Nestlé son las principales responsables de la contaminación por plásticos en el planeta.

Mientras los mexicanos dejábamos de beber agua de la llave, las concesiones de extracción de agua a las empresas de bebidas se multiplicaron por todo el país. Se sabe que la producción de un litro de agua embotellada supone el gasto de cinco a seis litros del líquido y, en el caso de las bebidas azucaradas, cada litro requiere la inversión de más de diez litros. En la mayor parte de los casos, el agua desperdiciada es de muy buena calidad. ¿Por qué los mexicanos dejamos de beber agua de la llave? ¿Por qué ya no tomamos agua de la manguera como cuando éramos niños? ¿Por qué ya no hay bebederos en todas las escuelas y en los espacios públicos?



La desconfianza en la calidad del agua entre los mexicanos surgió de eventos reales, como los daños causados por el terremoto de 1985 a la red de distribución de agua potable en la Ciudad de México y la epidemia de cólera en el país en 1991. Sin embargo, estas situaciones fueron aprovechadas por las grandes empresas que, mediante una exitosa estrategia mercadológica, lograron presentar su producto como la única opción segura. Debido a que el Estado dejó de garantizar la calidad del agua en el servicio público y no hubo información actualizada al respecto, se crearon las circunstancias propicias para que dicha estrategia publicitaria triunfara.

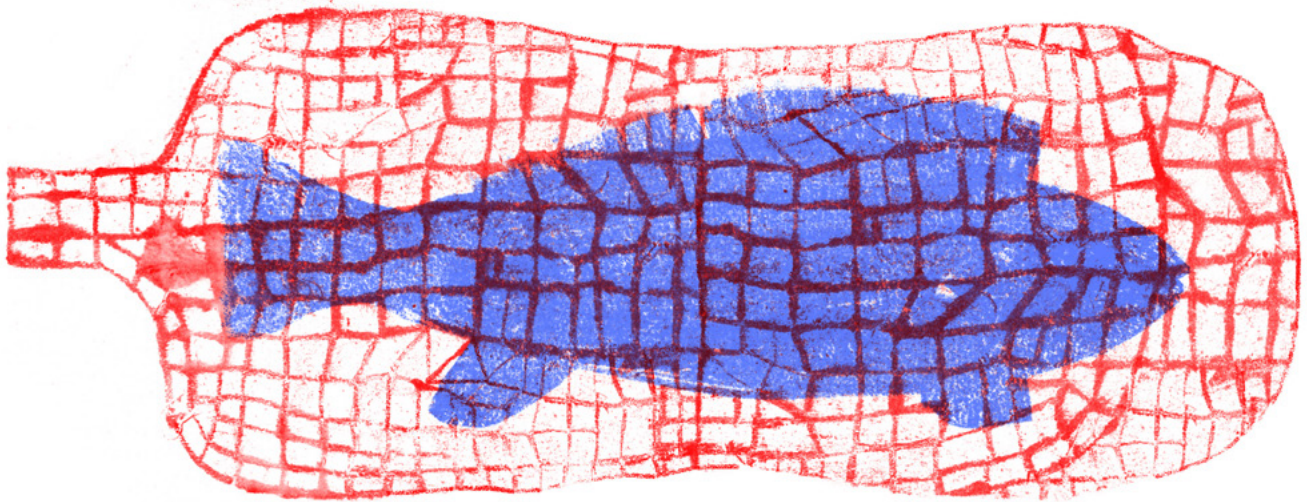
Desde entonces, las grandes corporaciones se han beneficiado de que el Estado no garantice que el agua que entrega al 92.3% de la población (de acuerdo con Conagua) sea realmente potable. En las distintas zonas de la Ciudad de México contamos con agua de calidades muy variables. Sin embargo, quienes reciben agua de buena calidad no lo saben y, en su gran mayoría, no la aprovechan, no la utilizan para beber. El problema fundamental es que no existe acceso a la información acerca

EL MERCADO DEL AGUA EMBOTELLADA HA ESTADO SIEMPRE LIGADO AL DE LAS BEBIDAS AZUCARADAS.

de la calidad del agua que llega a nuestros hogares. El agua embotellada representa uno de los absurdos extremos de un sistema de mercado que socializa los daños y privatiza los beneficios. A estas grandes corporaciones se les entregan concesiones que, en la práctica, les regalan el acceso al agua y les permiten después comercializarla, lo que representa enormes ganancias para ellas y graves daños ambientales y sociales. De acuerdo con un reporte del Banco Interamericano de Desarrollo de 2011, el gasto en agua embotellada realizado por las familias de menores ingresos representa entre el 5 y el 10% de sus percepciones.

El mercado del agua embotellada ha estado siempre ligado al de las bebidas azucaradas, no sólo porque se trata de las mismas empresas, sino también porque una bebida define el precio de la otra, en una lógica que sólo está interesada en generar mayores ganancias para las empresas y no en resolver las necesidades de la población. Así, en ciertas regiones rurales la estrategia empresarial es mantener los precios entre una y otra muy similares, y centrar su publicidad y distribución en las bebidas endulzadas, de manera tal que los consumidores prefieran hidratarse con estas últimas.

¿Por qué empresas como Coca-Cola y PepsiCo prefieren que se consuma su bebida endulzada por encima de sus aguas embotelladas? Puede pensarse que esto es ilógico, ya que el costo de producción de la bebida endulzada es unos centavos mayor al del agua. Sin embargo, el agua embotellada no genera fidelidad ni adicción a la marca. Es decir, si usted toma Coca-Cola no va a cambiar a Pepsi, pero no tendría ningún problema en tomar hoy agua de la marca Ciel y mañana cambiar a E-pura. Y lo que quieren las empresas de alimentos y bebidas es su fidelidad-adicción al producto. Por ello es tan importante el diseño y la publicidad que, en el caso de las bebidas de cola, es particularmente intensiva. Esto, aunado al poder adictivo del azúcar, la cafeína y otros ingredientes que desconocemos porque son parte de su «fórmula secreta», permite generar consumidores constantes de este tipo de productos.



El impuesto a las bebidas azucaradas tiene el propósito de ampliar la brecha de precio entre ambos productos para favorecer el consumo de agua embotellada. Las ganancias pueden y deben estar destinadas a crear las condiciones para mejorar la calidad del agua que se ofrece en la red de distribución y al establecimiento de bebederos en escuelas y espacios públicos. Para que el agua embotellada deje de ser la única alternativa, es necesario que el Estado brinde obligatoriamente agua de calidad para beber y que existan programas de promoción de filtros, para que éstos se vuelvan parte de la utilería de los hogares. Por último, para remediar el impacto de los altos precios del agua en la economía de las familias de menores ingresos, debe hacerse valer el artículo 28 de la Constitución, según el cual el Ejecutivo Federal tiene la facultad de imponer precios máximos de productos:

- Por considerarlos necesarios para la economía nacional y consumo popular.

- Para imponer modalidades a la organización de la distribución de esos artículos, materias o productos, a fin de evitar que intermediarios innecesarios o excesivos provoquen insuficiencia en el abasto, así como el alza de precios.

El acceso al agua de calidad para beber debe estar garantizado por el Estado, pues el artículo 4 de la Constitución establece que «Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible». Debido a que éste es un bien de consumo popular, debe establecerse un control de precios y, sobre todo, deben generarse las condiciones para que el uso de agua embotellada sea la excepción y no la regla. De esta manera podrán reducirse los graves impactos que el abastecimiento de agua para consumo humano tiene en el medio ambiente y en la economía de las familias. Ⓞ

La vida y la Ley General de Aguas

RAÚL GARCÍA BARRIOS

Doctor en Economía Agrícola y de Recursos Naturales. Investigador del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.

OCTAVIO ROSAS-LANDA

Maestro en Geografía. Profesor de la Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México.



LAS CIENCIAS, EN GENERAL, ACEPTAN QUE SIN agua no es posible ninguna manifestación de la vida. Las religiones, que la vida es sagrada y por ello el agua también lo es. Es por ello razonable aceptar, en el lenguaje más moderno de los derechos humanos, las siguientes ideas: el derecho a la vida personal digna y culturalmente situada presupone, inmediatamente, un derecho al agua

para dicha vida, es decir, suficiencia, salubridad, accesibilidad y asequibilidad. El derecho a vivir en un ambiente sano implica un derecho al agua para mantener la vida de los sistemas ecológicos que sostienen el ambiente, es decir, suficiencia para mantener la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas y su biodiversidad, y el derecho a vivir con un ingreso económico apropiado conlleva un derecho al agua para la producción industrial de los bienes y servicios, es decir, en cantidad suficiente, de calidad adecuada y con una relación aceptable de costo-efectividad.

No es fácil equilibrar estos derechos, sobre todo en la periferia capitalista, donde el derecho a la producción para mantener un ingreso económico (en su forma principal, como salario) lleva a situaciones de escasez que lo oponen a los otros dos derechos al agua para la vida, o incluso los hace rivalizar entre sí. Para encontrar armonía se necesita un régimen jurídico adecuado. ¿Cómo debe ser el régimen que asigne justamente el agua para satisfacer en plenitud estos derechos? ¿A quién corresponden las facultades para autorizar y ejercer dicho régimen?


Hoy día se despliega en México un serio debate en torno a estas preguntas. La Constitución mexicana obliga al poder legislativo a elaborar una Ley General de Aguas (LGA) que reglamente el derecho humano al agua. Sin embargo, existe previamente una Ley de Aguas Nacionales (LAN) que deposita en la gestión federal la mayor parte de las aguas. Frente a este hecho: ¿debe el poder legislativo elaborar la LGA de modo que englobe –y por lo tanto derogue– la Ley de Aguas Nacionales, o sólo debe limitarse a legislar lo que ésta no cubre en materia del derecho humano al agua? Algunas personas argumentan la necesidad jurídica y conveniencia económica de mantener los dos regímenes separados; otros, que la provisión sustentable y transversal del derecho humano al agua demanda la existencia de un sólo código. Las consecuencias del resultado de este debate serán profundas y penetrantes. ¿Qué hacer?

Hubo una vez en México un artículo 27 constitucional revolucionario, pero fue reformado profundamente en 1992 hasta hacerlo la base constitucional de la legalidad neoliberal. Para hacer esta reforma los salinistas partieron de un consenso histórico que otorga a la Nación la propiedad inalienable de las aguas y al poder Ejecutivo Federal la facultad de conceder derechos de usufructo a los agentes privados en tanto sean de utilidad pública. Pero, y no sin genio e ingenio, cambiaron el sentido original del concepto de utilidad pública en formas que aún sorprenden a muchos. Al separar las ganancias sociales derivadas de los avances en eficiencia económica de las ganancias que provienen de hacer más equitativa la distribución de la riqueza, pudieron hacer leyes, como la LAN, que conducen al agua a fluir sin

PARA ENCONTRAR ARMONÍA
SE NECESITA UN RÉGIMEN
JURÍDICO ADECUADO. ¿CÓMO
DEBE SER EL RÉGIMEN QUE
ASIGNE JUSTAMENTE EL
AGUA PARA SATISFACER EN
PLENITUD ESTOS DERECHOS?

restricción y con apoyo del Estado en dirección a la acumulación de valor, sin atender a su distribución equitativa. Como consecuencia no hubo ni más equidad ni más eficiencia, pero sí mayor escasez de agua, lo que legitimó la formación del mercado de agua y por supuesto consolidó el poder de mercado de quienes la concentran. De esta manera no importó, para privatizar el agua, que fuera originalmente de la Nación. En conclusión, el sistema de concesiones vigente capturó al agua de la Nación en un esquema mercantil y privatizador plagado de desviación del poder público.

El gobierno de la Cuarta Transformación combate éstas y otras formas de corrupción del Estado y el mercado, haciéndose cargo directamente de la provisión de los derechos humanos, en alianza estrecha, no corporativa ni asistencialista, con las comunidades y la ciudadanía. Para ello, la gestión pública del agua no debe separar su uso eficiente y su distribución. Los expertos en derecho internacional establecen tres niveles de obligación del Estado respecto al derecho humano al agua. Un primer nivel mínimo lo obliga a brindar a cada individuo de la sociedad acceso inmediato y contundente a la cantidad de agua que necesita para satisfacer sus necesidades más urgentes para sobrevivir, esto es, para beber y evitar riesgos inminentes a la salud.

Un segundo nivel, denominado núcleo del derecho humano al agua, obliga al Estado a asegurar a cada persona –tomando en cuenta los elementos particulares y conceptuales pertinentes (como el género y la edad, o el clima)– la cantidad de agua necesaria para mantener estándares dignos de vida y de protección de la salud humana que permita el goce pleno del resto de sus derechos humanos. Por lo tanto, el nivel núcleo define un piso estructural de obligaciones que el Estado debe satisfacer de inmediato y del cual debe partir para, progresivamente y en función de sus condiciones económicas y políticas, alcanzar el tercer nivel: la plena realización del derecho humano al agua. Es decir, el derecho internacional, fuente original de los derechos humanos, *no acepta* que el nivel núcleo satisfaga la realización plena del derecho humano al agua. Como el Estado debe promover en todo momento el desarrollo pleno de las capacidades humanas de los mexicanos, tiene pleno sentido que el poder legislativo emita una Ley General de Aguas que no sólo otorgue al Estado los recursos jurídicos para cumplir con el contenido nuclear del derecho, sino que además incorpore los elementos normativos necesarios para que el Estado haga progresar el derecho humano al agua en las tres rutas mencionadas, y las haga converger en su plena realización. 

EL ACUÍFERO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

ROSA MARÍA LEAL BAUTISTA

Doctora e investigadora en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, Centro Público de Investigación del Conacyt.

GILBERTO ACOSTA GONZÁLEZ

Doctor en Ciencias Marinas. Catedrático Conacyt, adscrito a la Unidad de Ciencias del Agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán, Centro Público de Investigación del Conacyt.



LA PENÍNSULA DE YUCATÁN ES UNA PLATAFORMA calcárea (es decir, está formada por carbonatos de calcio) emergida del fondo del mar hace millones de años, que se extiende en un área aproximada de 165 000 km². Esta roca se disuelve generando lo que se conoce en geología como sistema kárstico, el cual se identifica por la abundancia de cuevas, colapsos (dolinas) y por ser al-

tamente permeable. Prácticamente toda el agua se infiltra al subsuelo, y forma el sistema acuífero de la península de Yucatán, uno de los más extensos y espectaculares acuíferos kársticos del planeta. La principal fuente de agua es subterránea y aflora en los colapsos denominados dolinas, también conocidos como cenotes, palabra que proviene del vocablo maya *dzeno't*.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS TRANSFRONTERIZAS MEXICANAS

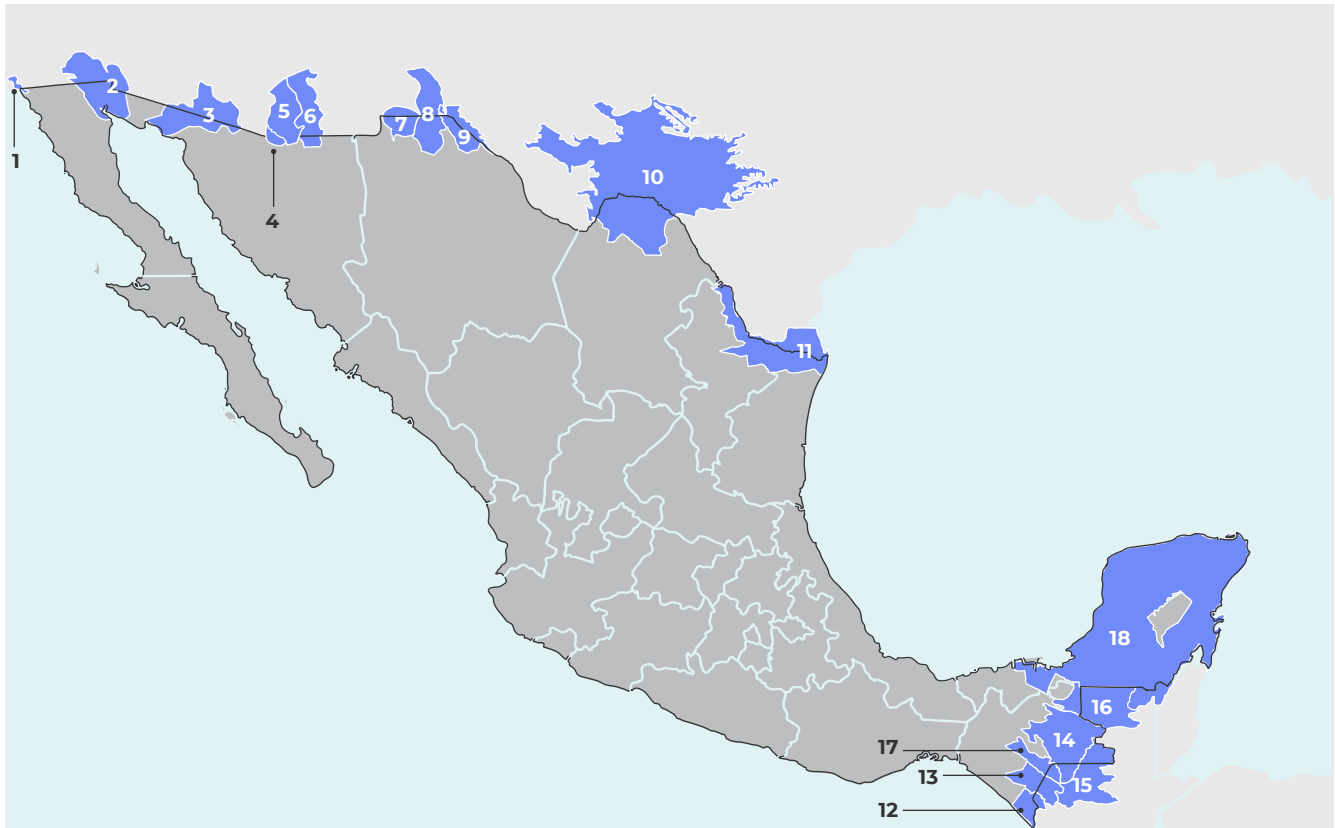
GONZALO HATCH KURI

Doctor en Geografía. Profesor del Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.

... EL AGUA SUBTERRÁNEA
ES EL PILAR QUE
SOSTIENE NUESTRA
SEGURIDAD HÍDRICA...

EL MAPA QUE A CONTINUACIÓN SE PRESENTA ILUSTRAR los acuíferos transfronterizos que México comparte con los países limítrofes: 11 con Estados Unidos y 7 con Guatemala y Belice. Un acuífero transfronterizo, de acuerdo con la definición de la ONU (2008), es la «formación geológica permeable portadora de agua, situada sobre una capa menos permeable, y el agua contenida en la zona saturada de la formación. Esta formación geológica, puede además estar vinculada hidráulicamente con otros acuíferos, formando de esa manera un Sistema Acuífero Transfronterizo el cual, por su extensión geológica, puede tener diferentes partes situadas en distintos Estados». Como puede verse, esta definición privilegia la descripción de los acuíferos como formación geológica y deja en segundo plano la dinámica del agua subterránea.

A pesar de que el agua subterránea es el pilar que sostiene nuestra seguridad hídrica, sus dinámicas no han sido suficientemente atendidas por los estudios especializados ni por la política hídrica regional, cuya atención está dirigida principalmente a los



acuíferos, entendidos como formaciones geológicas. Esto se debe a la falta de claridad sobre el ciclo hidrológico y, específicamente, sobre el rol que en él cumple el agua subterránea, misma que representa el 97% del agua continental físicamente accesible. Para ajustar las políticas hídricas y gestionar de manera sustentable este recurso, es necesario reconsiderar el funcionamiento del agua subterránea y obtener datos que permitan generar una representación cartográfica de su curso transfronterizo.

La consulta global *Groundwater Governance* de 2012 identificó que la gestión del agua subterránea en América Latina carece de un manejo integral. Hasta ahora, los registros de los pozos y manantiales son escasos, existe poca información disponible acerca de sus usuarios, la inversión para su gestión es baja y no existe suficiente personal calificado para elaborar planes de desarrollo sustentable. Para poder generar respuestas estratégicas ante esta difícil situación, el primer paso será estudiar rigurosamente los flujos de aguas subterráneas transfronterizas según los más altos estándares científicos y definir programas legislativos nacionales en concordancia. 🕒

ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS MEXICANOS

Frontera Norte

1. San Diego-Tijuana
2. Cuenca baja del Río Colorado
3. Sonoyta-Papagos
4. Nogales
5. Santa Cruz
6. San Pedro
7. Los Mimbres-Las Palmas
8. Conejos Médanos-Bolsón de la Mesilla
9. Bolsón del Hueco-Valle de Juárez
10. Edwards-Trinity-El Burro
11. Cuenca Baja del Río Bravo-Grande

Frontera Sur

12. Soconusco-Suchiate/Coatán
13. Chicomuselo-Cuilco/Selegua
14. Ocosingo-Usumacinta-Pocóm -Ixcin
15. Marqués de Comillas-Chixoy/Xacibal
16. Boca del Cerro-San Pedro
17. Trinitaria-Nentón
18. Península de Yucatán-Candelaria-Hondo

Elaboración a partir de International Groundwater Resources Assessment Centre (2020).

JARDINES ETNOBIOLÓGICOS:



DONDE SE CULTIVA LA RIQUEZA BIOCULTURAL

▲ Fotografía aérea con dron,
Tepic, Nayarit, Archivo Conacyt.

PARA EL CONACYT DE LA CUARTA TRANSFORMACIÓN, ES IMPOSTERGABLE la formación de una cultura científica que tome en cuenta la realidad del país y las necesidades e inquietudes de sus habitantes. Por eso busca incorporar los conocimientos tradicionales que conforman el acervo biocultural de México y los conocimientos académicos formales como pilares de una visión crítica que plantee alternativas al sistema neoliberal y sus efectos sobre el planeta. Mediante la formación de espacios que fomenten el diálogo desde una perspectiva emancipatoria, se espera construir propuestas que hagan frente a los retos del presente desde la colectividad, la inclusión y la igualdad.

La idea de generar una Red de Jardines Etnobiológicos responde a las inquietudes antes descritas. El proyecto inicial consiste en establecer 32 jardines, uno en cada estado del país, donde se preserven especies de flora y fauna locales al tiempo que se resguarde el conocimiento asociado a ellas. Con la formación de esta red se busca señalar la importancia de la riqueza biocultural de México y construir espacios donde confluyan conocimientos científicos y vernáculos para crear nuevos saberes desde la pluralidad epistémica. Los resultados de este intercambio serán sistematizados y puestos a disposición del público mediante el apoyo del Repositorio Nacional de Ciencia Abierta del Conacyt.

LOS JARDINES ETNOBIOLÓGICOS SON ESPACIOS DONDE:

- Se protegen especies locales de flora y fauna, al tiempo que se resguarda el conocimiento acerca de ellas.
- Se recuperan y visibilizan los conocimientos etnobiológicos locales.
- Se promueve la difusión, el intercambio y el acceso universal al conocimiento.
- Las comunidades locales, en colaboración con otros sectores, diseñan y desarrollan actividades que contribuyen al cuidado del medio ambiente.
- La inversión inicial máxima del proyecto fue de 64 millones de pesos.



▲ Trabajos de mantenimiento. Anne Ashby y Silvino de Jesús López Hernández, quien ha trabajado en el mantenimiento y mejoramiento de la representación, exhibición y conservación de la flora regional. Archivo Conacyt.

La intención de este proyecto es que cada uno de los jardines funja como nodo de articulación con otros espacios similares (no sólo de su estado, sino del resto del país) y promueva la difusión, el intercambio y el acceso universal al conocimiento. De esta manera, cada jardín funcionará como punto de encuentro para las comunidades que los circundan y como refugio para los seres vivos que nos acompañan en este planeta. Se han comenzado las labores de formación de 23 Jardines Etnobiológicos, algunos completamente nuevos y otros dependientes de Jardines Etnobotánicos previamente existentes. Los Estados que cuentan con proyectos en marcha son Guerrero, Campeche, Sinaloa, Michoacán, Coahuila, Nuevo León, Tlaxcala, Morelos, Nayarit, Yucatán, Ciudad de México, San Luis Potosí, Chiapas, Baja California Sur, Colima, Estado de México, Quintana Roo, Querétaro, Durango, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guanajuato. 🌀

LOS RETOS DE LA RESTAURACIÓN DEL LAGO DE TEXCOCO



▲ Fotografía Archivo Conacyt, 2020.

LA RESTAURACIÓN DEL LAGO DE TEXCOCO ES UN PROYECTO PRIORITARIO para el actual gobierno. La intervención sobre este sitio de enorme riqueza natural, que estuvo a punto de desaparecer, tiene como principal objetivo garantizar el bienestar de los habitantes de la Cuenca de México.

Este proyecto se enfrenta a una serie de retos. El primero es contar con una visión regional. Esto es necesario porque el agua que alimenta al lago viene de lejos, desciende de ríos y flujos de agua subterránea que nacen de las serranías que lo rodean. Lo que sucede en estos sitios, como la contaminación de los ríos o la explotación excesiva de los pozos, tiene un impacto en la zona. Por ello se requiere implementar estrategias de manejo integral del agua en toda la región.

Otro desafío es lidiar con la presión de la dinámica urbana, pues el lago se extendía hasta lo que hoy son municipios y alcaldías del Estado de México y el nororiente de la Ciudad de México. Actualmente, estas zonas están densamente pobladas y sufren hundimientos, agrietamientos e inundaciones. Sin embargo, al oriente del Estado de México aún se conservan más de 12 mil hectáreas de zona lacustre y, a su lado, áreas agrícolas y bosques que han permitido que el agua siga fluyendo y cuya preservación es vital.

La restauración implica, entonces, un reto social y ambiental. El lago no es sólo un cuerpo de agua, sino un sitio único en el mundo por sus suelos salinos. Es refugio, zona de alimentación y descanso de miles de aves –muchas migratorias de Canadá y Estados Unidos– y tiene una gran importancia cultural, ya que en él se llevan a cabo

actividades como la colecta de tequesquite, de ahuate y de romerito. De tal forma, el proceso de rescate supone emprender un trabajo interdisciplinario y la construcción de un vínculo entre las autoridades, la academia y la sociedad.

Actualmente, se llevan a cabo esfuerzos institucionales e intersectoriales que tienen como apuesta la preservación de este espacio como reserva ecológica de uso público. Para lograr esto, se cuenta con la participación de autoridades del sector ambiental, urbano y científico, así como de expertos y organizaciones sociales que, con base en los principios del bien común y el cuidado del ambiente, buscan llevar a cabo un proyecto en beneficio de todos los mexicanos. 🌍

▼ Fotografías Archivo Conacyt, 2020.



ACTIVIDADES DEL PRONACES AGUA



COMITÉ EJECUTIVO DEL PRONACES AGUA

DURANTE NOVIEMBRE Y DICIEMBRE DE 2020, EL PRONACES Agua realizó actividades de difusión y reflexión acerca del modo en que se estudian los problemas nacionales del agua y sobre el papel que las comunidades científicas desempeñan, tanto en su comprensión como en la construcción de soluciones factibles. Asimismo, en ellas se exploraron alternativas para analizar el ciclo socio-natural del agua desde una perspectiva integral que incorpora, por un lado, los estudios de los ecosistemas y de las aguas superficiales y subterráneas, y, por el otro, los relativos a las actividades económicas y las comprensiones territoriales y morales de los actores sociales que confluyen en las cuencas. Con ello se espera trazar caminos para avanzar hacia el bien común y la justicia ambiental.

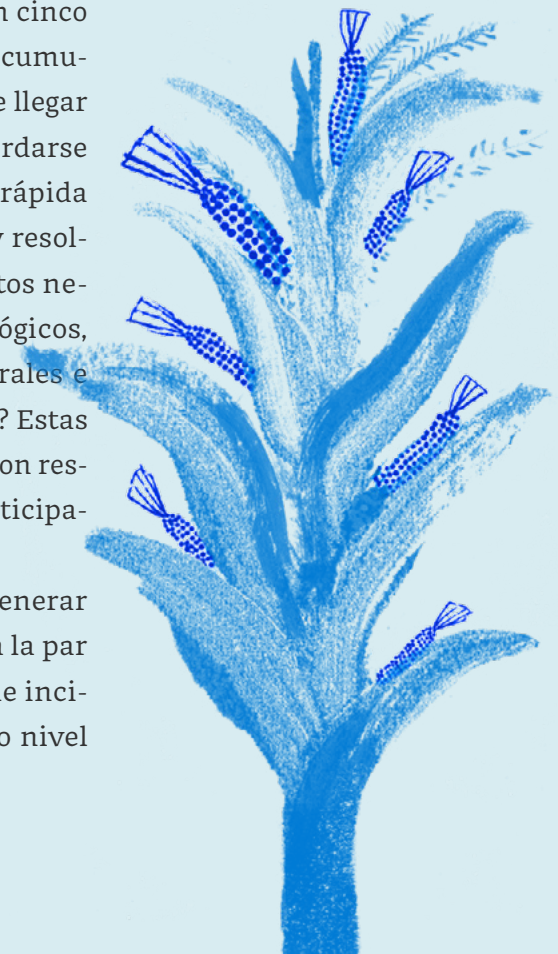
Las actividades fueron llevadas a cabo en línea y consistieron en el seminario *Estándares y criterios científicos para el conocimiento y gestión del agua subterránea en México* y en los *Foros de profundización conceptual*. El primero, abierto a todo el público, buscaba integrar en la gestión e investigación del agua subterránea el paradigma de los Sistemas Gravitacionales de Flujo, desarrollados por

... ¿CÓMO MEJORAR LA GESTIÓN Y DESARROLLAR LA NORMATIVIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA A ESCALA LOCAL, REGIONAL Y NACIONAL?

József Tóth y Allan Freeze (SGFAS-TF), con el propósito de dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿cómo interactúan las aguas subterráneas, las superficiales y los socioecosistemas?, ¿cómo mejorar la gestión y desarrollar la normatividad del agua subterránea a escala local, regional y nacional?, ¿cómo fortalecer la formación de cuadros profesionales y de investigación?, ¿cómo comunicar el funcionamiento de los SGFAS-TF?

Por su parte, los *Foros* se dirigieron a 47 equipos de científicos que buscan, mediante proyectos concretos de investigación e incidencia, generar soluciones para algunos de los grandes problemas de agua en México. En ellos se realizó una revisión crítica de los conceptos teóricos y metodológicos utilizados en la investigación y manejo del agua en México. Los tópicos planteados siguen cinco preguntas axiales: ¿por qué los problemas del agua se han acumulado más rápidamente que las soluciones, hasta el punto de llegar a una crisis que parece no tener salida?, ¿cómo deben abordarse los problemas nacionales de agua para darles mejor y más rápida solución?, ¿cuáles son los sujetos sociales que abordarán y resolverán los problemas nacionales de agua?, ¿qué instrumentos necesitan para hacerlo (jurídicos, organizacionales, tecnológicos, financieros, entre otros)?, ¿cuáles son los contextos culturales e institucionales que los arrojarán para alcanzar sus metas? Estas cuestiones generales dieron pie a otras particulares que fueron respondidas y discutidas de manera colectiva por quienes participaron en los foros.

Mediante estas actividades, el Pronaces Agua busca generar un conocimiento formativo, participativo y constructivo, a la par que armonizar los objetivos del trabajo científico con los de incidencia y, con ello, promover investigación aplicada de alto nivel para solucionar problemas nacionales. ☉



CAH

COLECTIVO PANÓSMICO

EL CIRCUITO DE AUSCULTACIÓN HIDROGRÁFICA (CAH) ES UN proyecto del Colectivo Panósmico (Manolo Larrosa y Mariana Mañón) en colaboración con Roberto Michelsen, Iñigo Malvido, Francisco Ohem y Mateo Torres Ruiz, que surge como respuesta a la convocatoria *Máquinas imaginantes*, el concurso bianual que realiza LIGA, Espacio para la Arquitectura. El CAH es una instalación que funcionó como observatorio, recolector de datos, procesador de información e interfaz de lenguajes; como elemento vinculante entre medios, disciplinas y territorios, que imagina las posibilidades del paisaje y sus desequilibrios ecológicos; como dispositivo que permite monitorear en vivo las condiciones en las que se encuentra cualquier cuerpo de agua.



▲ Mesa de exhibición. En el muro hay sensores que miden el oxígeno, la temperatura, el pH, el caudal y la turbiedad del río Becerra. Abajo, muestras de agua y la publicación *Ay agüita*, bitácora de trabajo del Colectivo. Fotografía de Colectivo Panósmico, 2020.



▲ Instalación del Circuito de Auscultación Hidrográfica de noche. Fotografía de Colectivo Panósmico, 2020.

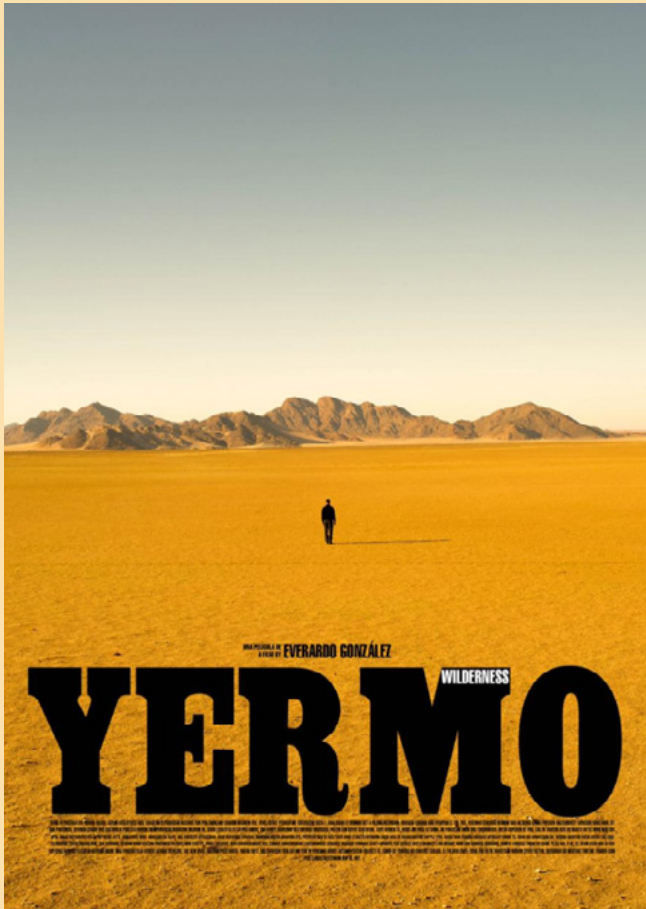


◀ Toma aérea de la presa Ojo de Agua en la colonia Los Pocitos, uno de los depositarios del cauce del río Becerra. Fotografía de Colectivo Panósmico, 2020.



▲ Intervención fotográfica que imagina las posibilidades del río Becerra para sus habitantes. Fotografía de Colectivo Panósmico, 2020.

El CAH permite investigar las aguas subterráneas y superficiales que circulan en la ciudad de México, así como sus efectos en el ambiente, en relación con las condiciones histórico-temporales. En este caso, se enfocó en el río Becerra. Su exploración nace de la riqueza material que ofrece esta locación. Ubicado al poniente de la Ciudad de México, fluye desde las alturas de Santa Fe a través de los barrios que conforman Alta Tensión, entre Periférico y Patriotismo, hasta perderse en el drenaje profundo. La metodología de monitoreo consistió en crear un sistema vivo y un testimonio de las impresiones que genera el encuentro con agua corriente en la ciudad. El circuito recolectaba la información obtenida por tres estaciones de monitoreo instaladas en las presas del río, que transmitían en vivo, a través de internet, la información captada por cinco sensores que medían los valores de oxígeno, pH, caudal, temperatura y partículas disueltas. Estos datos eran a su vez transmitidos a una serie de recipientes con agua, de manera tal que la condición oculta del río pudiera reflejarse en tiempo real en el espacio de exhibición. 🕒



RESEÑA DE PELÍCULA

Yermo | documental

Everardo González | director

2020 | año

México | país

75 minutos | duración

JUAN AURELIO FERNÁNDEZ MEZA

Doctorante en Humanidades,
Universidad Pompeu Fabra.

¿QUÉ TAN LEJOS ALCANZA ALGUIEN A VER EN EL desierto? En la ciudad los edificios obstaculizan la mirada, evitan que los ojos vayan hasta donde pueden ir. La primera vez que me di cuenta de eso fue en una isla, de pie frente al mar, viendo quién sabe hasta dónde porque no sabía si el mar terminaba o mis ojos no daban más. Eso ha de ser el

horizonte, el límite de nuestra visión, el comienzo de nuestra ignorancia y, con suerte, de nuestra duda. Me pregunto si en el desierto es igual porque, aunque parezca raro, entre el mar y el desierto hay una profunda semejanza, incluso parentesco. Como dice Everardo González: «todo desierto alguna vez fue mar».

El año pasado, el cineasta mexicano estrenó *Yermo*. La cinta nació de la invitación que el fotógrafo Alfredo De Stéfano hizo a González para registrar el proceso de realización de su obra *Storm of Light*, en un recorrido por distintos desiertos del mundo. No me extraña que de esos viajes le surgiera al realizador, considerando el talento de su mirada y narrativa, un proyecto aledaño al del fotógrafo. El resultado fue un documental que atraviesa distintos desiertos para, en el fondo, hablar del desierto en un sentido más bien conceptual. Al no usar títulos en pantalla (*supers*) que indiquen el nombre de cada lugar visitado, el filme rompe con la tradición etnográfica que segmenta y ordena la realidad para hacerla comprensible al público, lo que convierte a *Yermo* en una pieza que va más allá de un simple y condescendiente retrato de los despojados del mundo.

Everardo González explora temas decisivos en sus películas, pero no lo hace sólo exponiendo o denunciado la infamia o la belleza, sino que husmea entre los límites de los problemas que trabaja para producir en el espectador una interpelación al respecto, con lo que construye un cine no sólo de conmoción sino de aguda reflexión. Su destacada capacidad para hablar de la vida en lugares donde pareciera no haberla se hace de nuevo presente en *Yermo* y recuerda su trabajo *Cuates de Australia* (2011), cinta en la que motiva a pensar sobre la existencia humana a partir de la carencia de agua en una remota comunidad de Coahuila, cuyos habitantes se ven obligados a dejar sus tierras a causa de una brutal sequía que deshidrataba desde ancianos hasta fetos.

En los lugares a los que nos conducen ambos documentales, la artificial lejanía que imponemos entre muerte y vida —sobre todo desde las urbes— se vuelve absurda. Esas regiones, donde hay tan poco que los envases vacíos no son basura sino herramientas, donde el cómputo de años no determina la madurez, donde la infancia sólo se distingue de la adultez por el tamaño de los cuerpos, obligan a que el espectador cuestione sus condiciones de vida. En *Yermo* esto es central: se trata de un documental que se interroga el quién observa y cómo lo hace, no ya únicamente por lo observado; no quiero decir con ello que no haya un trabajo sobre el mundo que documenta, sino que el *otro* al que retrata conduce a un pensarse a sí mismo.

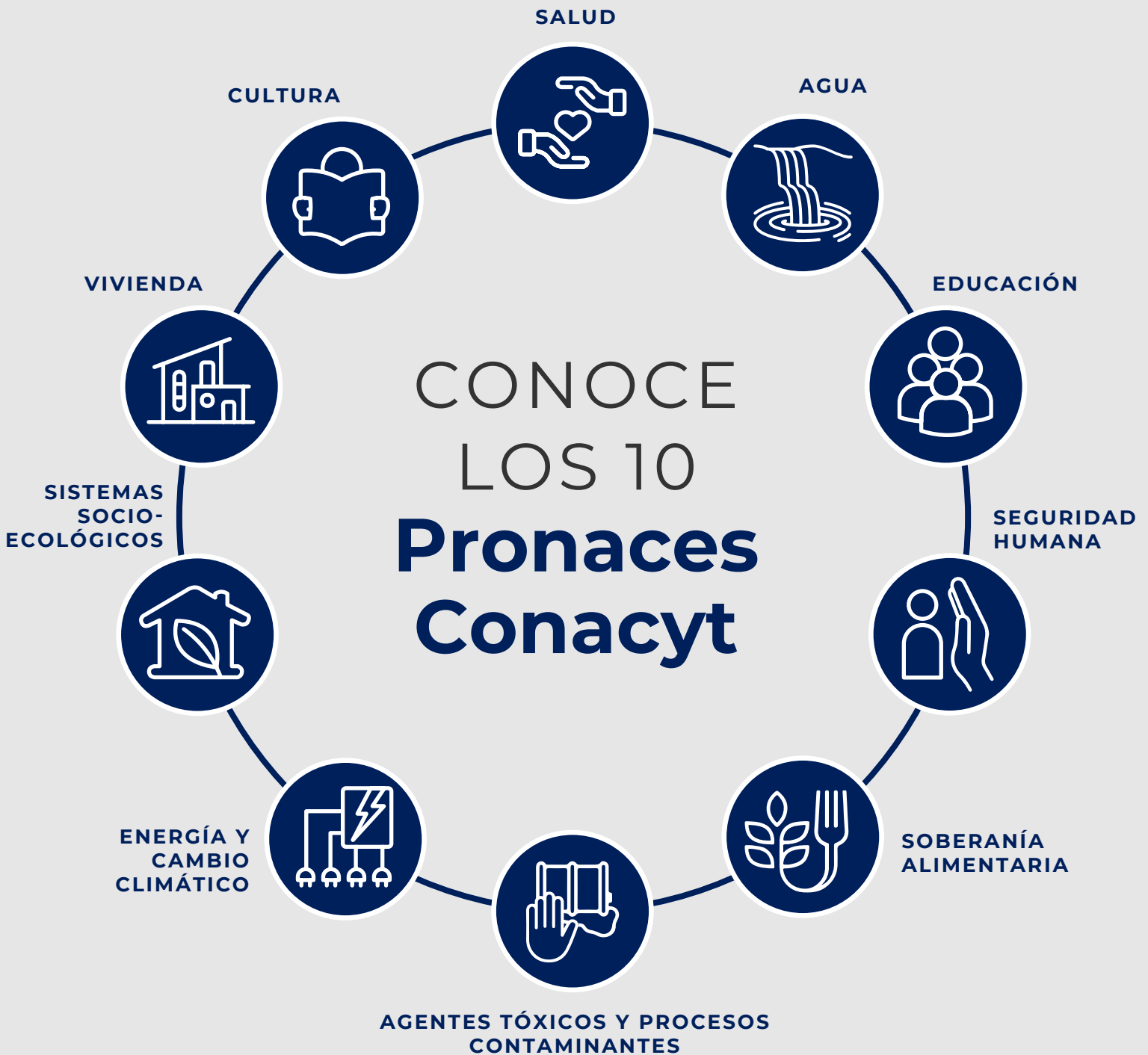
Lo anterior hace de esta película un producto bastante más reflexivo que otros. De hecho, hay quien podría apreciar en *Yermo* un contraste con las producciones anteriores de Everardo González, pero a mi parecer es el resultado obvio de una larga trayectoria como documentalista que, pasados los años, obliga a cuestionarse por el sentido de su oficio. En relación con ello, es interesante

que él mismo haya afirmado que el documental no tiene que servir para nada, cosa que se sincroniza con la distancia que ha tomado respecto al subgénero de denuncia o al periodismo. Sin embargo, luego de que rodara *Cuates de Australia*, en la comunidad que lleva ese nombre se instaló un suministro de agua, en gran medida gracias al trabajo del cineasta. De esta forma, recordamos la fuerza que en las sociedades contemporáneas, incluidas las rurales, tiene la aparición de una cámara, pero también se hace evidente el alcance de la labor artística.

Ahora bien, esta labor del arte no se restringe a una dimensión tangible, sino que su potencia transformadora se dirige también hacia espacios que no tienen una funcionalidad productivista. De hecho, me atrevería a decir que es en éstos donde los documentales de Everardo González tienen mayor presencia. Si bien el cineasta puede elegir como temas centrales el desierto o el agua, en el fondo de sus narraciones se plantean interrogantes de mayor complejidad y menor inmediatez, como podría ser la pregunta por la vida, por la identidad y la otredad, por la representación cinematográfica de la realidad o por el sentido y práctica del documental.

En *Yermo*, se enfatiza particularmente ese aspecto: se cuestiona el modo en que observa el documentalista, qué construye con su narración y qué tanto puede conocer y entender a esos de quienes habla, quienes no son nada más objetos de la mirada cinematográfica, sino sujetos que también producen observaciones. Esto denota la capacidad que tiene el arte en su compleja relación con la realidad, atravesando capas que llevan de lo básico a lo inefable, de la materialidad a lo intangible, para probar hasta dónde alcanzamos a ver ahí donde pareciera que no hay nada, ya sea en pleno desierto o en medio del mar. ◉

Los Programas Nacionales Estratégicos del Conacyt (Pronaces) organizan los esfuerzos de investigación en torno a problemáticas nacionales concretas que, por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución integral, profunda y amplia.



GOBIERNO DE
MÉXICO



«El agua va a aparecérsenos como un ser total:
tiene un cuerpo, un alma, una voz.
Quizá más que cualquier otro elemento,
el agua es una realidad poética completa».

Gaston Bachelard



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología