

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/312986198>

# Conflictos por el agua subterránea

Chapter · July 2016

CITATIONS

0

READS

949

7 authors, including:



[Jose joel Carrillo-Rivera](#)

Universidad Nacional Autónoma de México

95 PUBLICATIONS 864 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Antonio Cardona](#)

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

65 PUBLICATIONS 639 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Marcos Adrián Ortega-Guerrero](#)

Universidad Nacional Autónoma de México

18 PUBLICATIONS 101 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Gonzalo Hatch Kuri](#)

Universidad Nacional Autónoma de México

16 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



WATERLAT-GOBACIT Network ([www.waterlat.org](http://www.waterlat.org)) [View project](#)



Irapuato-Valle aquifer [View project](#)



# GEOGRAFÍA DE MÉXICO

*Una reflexión espacial contemporánea*

OMAR MONCADA MAYA  
ÁLVARO LÓPEZ LÓPEZ  
(coordinadores)

Tomo I





# GEOGRAFÍA DE MÉXICO

*Una reflexión espacial contemporánea*

JOSÉ OMAR MONCADA MAYA

ÁLVARO LÓPEZ LÓPEZ

(coordinadores)



Tomo I



Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea / José Omar Moncada Maya, Álvaro López López (coordinadores). – México : UNAM : Instituto de Geografía, 2016.  
ISBN de la Obra completa: 978-607-02-8276-8  
ISBN del Tomo I: 978-607-02-8277-5  
ISBN del Tomo II: 978-607-02-8278-2  
ISBN de la versión digital: 978-607-02-8343-7  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/sc.01>

1. Geografía – México I. Moncada Maya, José Omar, coord. 2. López López, Álvaro, coord. III. UNAM. Instituto de Geografía

*Geografía de México. Una reflexión espacial contemporánea*  
Primera edición julio, 2016.

Derechos Reservados © 2016 Universidad Nacional Autónoma de México

ISBN de la Obra completa: 978-607-02-8276-8  
ISBN del Tomo I: 978-607-02-8277-5  
ISBN del Tomo II: 978-607-02-8278-2  
ISBN de la versión digital: 978-607-02-8343-7  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/sc.01>

Fondo CONACYT-INEGI  
Proyecto: 209043 “Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea”

Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho e impreso en México

Versión digital interactiva



# ÍNDICE

## TOMO I

<b>PRESENTACIÓN</b>	17
JOSÉ OMAR MONCADA MAYA	
<b>PRÓLOGO</b>	19
ENRIQUE GRAUE WIECHERS	
<b>SECCIÓN I. PRESENTACIÓN DE LA OBRA</b>	
<b>CAPÍTULO 1. LA GEOGRAFÍA DE MÉXICO: TRADICIÓN Y CONTEMPORANEIDAD</b>	23
JOSÉ OMAR MONCADA MAYA	
<b>SECCIÓN II. LA NATURALEZA Y SU INTERACCIÓN CON EL SER HUMANO</b>	
<b>CAPÍTULO 2. EL RELIEVE MEXICANO: UNA SUPERFICIE DE CONTRASTES</b>	37
JOSÉ JUAN ZAMORANO OROZCO , JOSÉ LUGO HUBP, JOSÉ ERNESTO FIGUEROA GARCÍA E ISAAC QUIJADA MENDOZA	
<b>CAPÍTULO 3. IMPACTO SOCIAL DE LOS DESASTRES POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA</b>	56
IRASEMA ALCÁNTARA AYALA Y RICARDO GARNICA PEÑA	
<b>CAPÍTULO 4. LA ZONA COSTERA: ESTRUCTURA, DINÁMICA, AMENAZAS Y CONFLICTOS FUTUROS</b>	71
MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ	
<b>CAPÍTULO 5. TERREMOTOS Y TSUNAMIS</b>	86
MARÍA TERESA RAMÍREZ HERRERA Y ROCÍO CASTILLO-AJA	
<b>CAPÍTULO 6. GEODIVERSIDAD Y GEOPATRIMONIO</b>	102
JOSÉ LUIS PALACIO PRIETO Y LORENZO VÁZQUEZ SELEM	
<b>CAPÍTULO 7. EL CLIMA Y LA GEOGRAFÍA</b>	115
ERNESTO CAETANO Y GUSTAVO VÁZQUEZ	
<b>CAPÍTULO 8. ALGUNAS CONDICIONES DEL CLIMA EN RELACIÓN CON LA AGRICULTURA</b>	124
TERESA DE JESÚS REYNA TRUJILLO, ROSALÍA VIDAL ZEPEDA, MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA, GUADALUPE REBECA GRANADOS RAMÍREZ Y GABRIELA GÓMEZ RODRÍGUEZ	
<b>CAPÍTULO 9. CAMBIO CLIMÁTICO Y CRECIMIENTO URBANO</b>	140
VÍCTOR MAGAÑA Y NURIA VARGAS	
<b>CAPÍTULO 10. CONFLICTOS POR EL AGUA SUBTERRÁNEA</b>	151
JOEL CARRILLO RIVERA, LILIANA A. PEÑUELA ARÉVALO, RAFAEL HUÍZAR ÁLVAREZ, ANTONIO CARDONA BENAVIDEZ, MARCOS ADRIÁN ORTEGA GUERRERO, JOSEFINA VALLEJO BARBA Y GONZALO HATCH KURI	

<b>CAPÍTULO 11. PROBLEMÁTICA SOCIOAMBIENTAL DE LA DISPONIBILIDAD Y LA GESTIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL</b>	167
MARÍA PEREVOCHTCHIKOVA	
<b>CAPÍTULO 12. PANORAMA GENERAL DE LAS INUNDACIONES</b>	181
ORALIA OROPEZA OROZCO, SILKE CRAM HEYDRICH Y MARÍA DEL PILAR FERNÁNDEZ LOMELÍN	
<b>CAPÍTULO 13. GEOGRAFÍA DE LOS SUELOS Y SU DINÁMICA ANTROPOGÉNICA</b>	194
PAVEL KRASILNIKOV, CARLOS OMAR CRUZ GAISTARDO Y NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN	
<b>CAPÍTULO 14. VEGETACIÓN: PANORAMA HISTÓRICO, RASGOS GENERALES Y PATRONES DE PÉRDIDA</b>	216
JORGE A. MEAVE, GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ Y JORGE LARSON GUERRA	
<b>CAPÍTULO 15. DINÁMICA DE CAMBIO DEL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN: PATRONES DE CAMBIO, CAUSAS DIRECTAS E INDIRECTAS Y PRIORIDADES A FUTURO</b>	235
LEOPOLDO GALICIA SARMIENTO	
<b>CAPÍTULO 16. MUNDO MARINO</b>	250
HÉCTOR HUGO NAVA BRAVO	
<b>CAPÍTULO 17. PAISAJES NATURALES</b>	267
ÁNGEL G. PRIEGO SANTANDER Y GERARDO BOCCO VERDINELLI	
<b>CAPÍTULO 18. PREMISAS GEOGRÁFICAS DE LA ORGANIZACIÓN ECÓLOGO-PRODUCTIVA DEL TERRITORIO NACIONAL</b>	278
JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA , MANUEL BOLLO MANENT Y ANA PATRICIA MÉNDEZ LINARES	
<b>SECCIÓN III. LAS TECNOLOGÍAS EN EL CORAZÓN DE LAS PROBLEMÁTICAS GEOGRÁFICAS NACIONALES</b>	
<b>CAPÍTULO 19. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS Y ENFOQUE DIFUSO PARA EL MONITOREO FORESTAL: HACIA LA MEDICIÓN ROBUSTA DE LA DEFORESTACIÓN GLOBAL</b>	297
ROCÍO MARTÍNEZ GONZÁLEZ Y STÉPHANE COUTURIER	
<b>CAPÍTULO 20. INCENDIOS FORESTALES DE GRAN RELEVANCIA: ALGORITMOS Y SENSOR MODIS PARA SU DETECCIÓN Y MONITOREO</b>	310
LILIA DE LOURDES MANZO DELGADO	
<b>CAPÍTULO 21. CÁMARAS DE PEQUEÑO FORMATO, FOTOGRAMETRÍA E INTERPRETACIÓN DIGITAL A TRAVÉS DE UN SIG: RESPUESTAS A NECESIDADES GUBERNAMENTALES</b>	323
JORGE PRADO MOLINA, ANA ROSA ROSALES TAPIA Y JOSÉ ANTONIO QUINTERO PÉREZ	
<b>CAPÍTULO 22. LOS DATOS LÍDAR: NUEVAS INTERACCIONES ENTRE LA GEOGRAFÍA Y LAS TECNOLOGÍAS AVANZADAS</b>	341
ARMANDO PERALTA HIGUERA Y MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ BELTRÁN	

<b>CAPÍTULO 23.</b> CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA Y MODELADO DE PROCESOS GRAVITACIONALES EN RELIEVES VOLCÁNICOS	354
<i>GABRIEL LEGORRETA PAULÍN Y FERNANDO ACEVES QUESADA</i>	
<b>CAPÍTULO 24.</b> SIMULACIONES: UNA VISIÓN DINÁMICA DEL ESPACIO GEOGRÁFICO	363
<i>JEAN-FRANÇOIS PARROT</i>	
 <b>TOMO II</b>	
 <b>SECCIÓN IV. LA SOCIEDAD Y SU DINÁMICA TERRITORIAL</b>	
<b>CAPÍTULO 25.</b> LAS FRONTERAS. SU PROBLEMÁTICA AYER Y HOY	379
<i>LUZ MARÍA ORALIA TAMAYO PÉREZ Y XAVIER OLIVERAS GONZÁLEZ</i>	
<b>CAPÍTULO 26.</b> LAS VELOCIDADES EN LOS ESPACIOS: LA ARTICULACIÓN TERRITORIAL DEL MÉXICO CONTEMPORÁNEO	393
<i>HÉCTOR MENDOZA VARGAS Y GUSTAVO G. GARZA MERODIO</i>	
<b>CAPÍTULO 27.</b> PRINCIPALES RETOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN: CONCENTRACIÓN Y DISPERSIÓN	410
<i>MARÍA TERESA GUTIÉRREZ DE MACGREGOR Y JORGE GONZÁLEZ SÁNCHEZ</i>	
<b>CAPÍTULO 28.</b> CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN POR EDAD Y SEXO DE LA POBLACIÓN MEXICANA	425
<i>MARÍA INÉS ORTIZ ÁLVAREZ</i>	
<b>CAPÍTULO 29.</b> GEOGRAFÍA DE LA MIGRACIÓN MEXICANA A ESTADOS UNIDOS. CAMBIOS Y CONTINUIDADES EN LAS ZONAS EXPULSORAS DE MIGRANTES	440
<i>GUILLERMO CASTILLO RAMÍREZ</i>	
<b>CAPÍTULO 30.</b> DIMENSIÓN REGIONAL DE LA DESIGUALDAD	454
<i>LILIA SUSANA PADILLA Y SOTELO Y ARMANDO GARCÍA DE LEÓN LOZA</i>	
<b>CAPÍTULO 31.</b> METROPOLIZACIÓN Y POBREZA	468
<i>FLOR M. LÓPEZ GUERRERO, ADRIÁN GUILLERMO AGUILAR, JOSEFINA HERNÁNDEZ LOZANO Y MIGUEL ÁNGEL FLORES ESPINOSA</i>	
<b>CAPÍTULO 32.</b> CENTRALIZACIÓN O DESCENTRALIZACIÓN EN LA GESTIÓN URBANA DE LAS ZONAS METROPOLITANAS. AGENDA DE INVESTIGACIÓN	493
<i>LUIS ALBERTO SALINAS ARREORTUA</i>	
<b>CAPÍTULO 33.</b> INFORMALIDAD Y EXPANSIÓN URBANA EN LAS ZONAS METROPOLITANAS	505
<i>CLEMENCIA SANTOS CERQUERA</i>	
<b>CAPÍTULO 34.</b> FEMINIZACIÓN Y MASCULINIZACIÓN DE LOS MERCADOS LABORALES: PRECARIZACIÓN, DESIGUALDAD E INEQUIDAD	527
<i>IRMA ESCAMILLA HERRERA, CHRISTOPHER ALAN MUCIÑO LÓPEZ Y BLANCA DANIELA REZAGO FLORES</i>	

<b>CAPÍTULO 35. VULNERABILIDAD SOCIAL Y SALUD</b>	546
MARÍA DEL CARMEN JUÁREZ GUTIÉRREZ Y GERARDO VELASCO HERNÁNDEZ	
<b>CAPÍTULO 36. TRANSICIÓN RURAL-URBANA, ¿UNA NUEVA ESCALA DE ANÁLISIS TERRITORIAL?</b>	568
NAXHELLI RUIZ RIVERA, CARLOS GALINDO PÉREZ Y JAVIER DELGADO CAMPOS	
<b>SECCIÓN V. LA ACTIVIDAD ECONÓMICA MEXICANA EN EL CONTEXTO GLOBAL</b>	
<b>CAPÍTULO 37. LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES</b>	581
JESÚS ABRAHAM NAVARRO MORENO Y OLGA CORREA MIRANDA	
<b>CAPÍTULO 38. GEOGRAFÍA DE LA PESCA</b>	596
ÁLVARO SÁNCHEZ CRISPÍN	
<b>CAPÍTULO 39. ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DE LA MINERÍA</b>	607
MARÍA TERESA SÁNCHEZ SALAZAR	
<b>CAPÍTULO 40. PATRONES TERRITORIALES DE INDUSTRIALIZACIÓN, 1980-2015</b>	625
JOSEFINA MORALES Y ELVIRA EVA SAAVEDRA SILVA	
<b>CAPÍTULO 41. EL SISTEMA NACIONAL DE TRANSPORTE Y SUS IMPLICACIONES TERRITORIALES</b>	639
LUIS CHIAS BECERRIL Y LOURDES HERMOSILLO PLASCENCIA	
<b>CAPÍTULO 42. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS DE LOS CORREDORES CARRETEROS</b>	663
HÉCTOR DANIEL RESÉNDIZ LÓPEZ Y ARMANDO MARTÍNEZ SANTIAGO	
<b>CAPÍTULO 43. REGIONALIZACIÓN FUNCIONAL A PARTIR DE LA MOVILIDAD RESIDENCIA-TRABAJO</b>	678
JOSÉ MARÍA CASADO IZQUIERDO	
<b>CAPÍTULO 44. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL SECTOR SERVICIOS</b>	703
ENRIQUE PÉREZ CAMPUZANO Y ALEJANDRO SÁNCHEZ ZÁRATE	
<b>CAPÍTULO 45. JERARQUÍA URBANA Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FIRMAS</b>	719
MANUEL SUÁREZ LASTRA	
<b>CAPÍTULO 46. TURISMO. UNA VISIÓN DESDE EL GRADO DE CONCENTRACIÓN TERRITORIAL MUNICIPAL DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA</b>	730
ÁLVARO LÓPEZ LÓPEZ Y NORA LETICIA BRINGAS RÁBAGO	
<b>CAPÍTULO 47. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL TURISMO RELIGIOSO CATÓLICO</b>	746
ENRIQUE PROPIN FREJOMIL Y MÓNICA DEL CARMEN LÓPEZ CRUZ	
<b>CAPÍTULO 48. DIFERENCIAS ECONÓMICO-REGIONALES</b>	761
VALENTE VÁZQUEZ SOLÍS	
<b>CAPÍTULO 49. GEOGRAFÍA DE LAS REMESAS</b>	775
ANA MELISA PARDO MONTAÑO	



## Capítulo 10. CONFLICTOS POR EL AGUA SUBTERRÁNEA

JOEL CARRILLO RIVERA<sup>1</sup>

LILIANA A. PEÑUELA ARÉVALO<sup>2</sup>

RAFAEL HUIZAR ALVAREZ<sup>3</sup>

ANTONIO CARDONA BENAVIDES<sup>4</sup>

MARCOS ADRIÁN ORTEGA GUERRERO<sup>5</sup>

JOSEFINA VALLEJO BARBA<sup>6</sup>

GONZALO HATCH KURI<sup>7</sup>

**E**ste capítulo busca arrojar luz sobre los conflictos sociales por el agua subterránea en México. Los autores encuentran que la falta de claridad que caracteriza a la administración del agua subterránea en el país pareciera tener algo de intencional. Sumado al profundo desconocimiento que prevalece en todos los ámbitos sociales y académicos acerca de la naturaleza y comportamiento del agua subterránea, todos los días aparecen reportes de mal manejo de obras hidráulicas, mientras que la alarmante disminución del suministro de agua a las ciudades se atribuye a la escasez del agua. Es imperativo restablecer la congruencia perdida entre desarrollo económico y vocación del terreno, especialmente en lo que se refiere a la disponibilidad y preservación del agua subterránea. Es falso que los conflictos por el agua subterránea provengan de su escasez, cuando lo que está haciendo falta es una gestión sustentable.

### Origen de los conflictos

En México y en todos los países del mundo, el agua y su manejo sustentable ha sido siempre un tema polémico en el que sociedad y gobierno se ven obligados a colaborar de cerca. Los problemas actuales exigen soluciones políticamente legítimas, legalmente correctas, ambientalmente aceptables, socialmente equitativas, económicamente viables y científicamente coherentes.<sup>8</sup> Un manejo consciente del agua implicaría poner fin a la visión fraccionada del medio ambiente para reemplazarla por una visión interdisciplinaria. Cada profesional se acerca al estudio del agua desde su perspectiva disciplinar, y los resultados de esas investigaciones fragmentarias suelen interpretarse como desinformación ante la cual es imposible llegar a conclusiones contundentes. Lo cierto es que aproximadamente 97% del agua dulce en el territorio mexicano es de procedencia subterránea, y la escasez y crisis no son más que propuestas subjetivas. La correcta aplicación del conocimiento acerca del agua subterránea y su comportamiento es el camino correcto hacia el ordenamiento territorial y la solución de los conflictos por el agua.

<sup>1</sup> Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. Correo electrónico: joeljcr@igg.unam.mx

<sup>2</sup> Red Tecnológica Multinacional, S. A. de C. V. Correo electrónico: lilianapenuela@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. Correo electrónico: huizar@unam.mx

<sup>4</sup> Área de Ciencias de La Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. Correo electrónico: acardona@uaslp.mx

<sup>5</sup> Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, Qro. Correo electrónico: maog@geociencias.unam.mx

<sup>6</sup> Asesora en Pedagogía. Correo electrónico: mamajose\_15@hotmail.com

<sup>7</sup> Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: ghk24mx@yahoo.com.mx

<sup>8</sup> Esteban Castro, Universidad de New Castle, Reino Unido, comunicación personal con Joel Carrillo Rivera.

## Las nociones acerca del agua

Más de 70% del agua que abastece a las ciudades, la industria y la agricultura proviene del subsuelo. Entre los conceptos empleados comúnmente para referirse a la gestión del agua, están los de disponibilidad (agua existente o sobrante), demanda (requerimiento, incluyendo las pérdidas), escasez (carencia o ineficiencia en su manejo) recurso (mercancía, bien común) y sobreexplotación (extracción intensiva y sus efectos). Mientras los primeros cuatro conceptos están definidos con cierta claridad, el último, que es el que tiene alcances legales para detener al usuario potencial de agua, carece de definición. De esta manera se evita que los distintos actores hablen un idioma común que permita la comprensión de las preguntas acerca del agua y su manejo. Como señalan Peñuela y otros (2015), se oculta el hecho de que el agua subterránea fluye de una cuenca a otra, que cada una de ellas cuenta con zonas de recarga y descarga, y que la calidad fisicoquímica del agua varía en relación con los componentes ambientales.

La estrategia de evitar los conflictos por el agua mediante la consolidación de espacios de participación social no ha dado resultado, y la planeación de políticas hídricas regional y nacional carece de consensos ligados a la realidad ambiental. Es imperativo contrarrestar la noción establecida de que los conflictos por el agua son entre la población, cuando de lo que se carece es de un gobierno competente que elimine las causas de las desavenencias y que auspicie el conocimiento básico necesario. Los conflictos reportados se atribuyen por lo general a desacuerdos sociales sin especificar si se trata de aguas superficiales o subterráneas, o de la combinación de ambas. El desconocimiento de la dinámica de las aguas superficiales se evidencia por la frecuencia con la que ocurren deslaves, erosión hídrica y azolvamientos en el país. Menos aún se conocen el comportamiento de las aguas subterráneas y el impacto que en ellas tienen, por ejemplo, la construcción de obras hidráulicas y la minería a cielo abierto. El desconocimiento del funcionamiento del agua subterránea ha conducido, entre otros problemas, a alteraciones en la cantidad y calidad de la recarga, la reducción de descarga de agua dulce a cuerpos de agua continental y costeros, la contaminación de sitios de disposición final de residuos, la inducción por bombeo de agua con calidad no deseable, el incremento de la erosión del suelo, la inundación y contaminación por importar agua a otra cuenca, el abatimiento excesivo del nivel freático, el incremento del costo de energéticos para la extracción por bombeo, el hundimiento del suelo y la desaparición de vegetación milenaria. Todos estos impactos se traducen en severos conflictos que, en el mejor de los casos, se reducen a una arit-

mética ilusoria basada en una supuesta escasez, o en sequías ya instituidas en las estadísticas. Las siguientes preguntas intentan esclarecer el funcionamiento del agua subterránea y los impactos del uso inadecuado del suelo y el deterioro de hábitats acuáticos: ¿Cuánto del caudal de interés es agua subterránea y cuánto superficial?, ¿a qué distancia y en qué cuenca se origina el agua usada?, ¿variará la calidad del agua extraída?, ¿cómo afectará si se extrae el agua definida como disponible?, ¿qué le pasará al agua existente si se le asocian sustancias peligrosas, máxime en las regiones áridas donde se ha postulado que no hay agua? La prevención y el control de los problemas asociados al uso del agua subterránea es la única vía para evitar los conflictos relacionados con el agua superficial.

## Plan de ordenamiento territorial

La ausencia de un plan de ordenamiento territorial (POT) ha creado conflictos sociales sin precedente (Carabias *et al.*, 2005). Un denominador común es la exclusión de académicos y profesionales de la toma de decisiones acerca del agua subterránea. Buena parte de los conflictos actuales radica en que, históricamente, por “administración del agua” se ha entendido obra hidráulica, siendo el actor principal el ingeniero, cuyo enfoque constructivo está en oposición a una visión del agua como elemento natural en su dimensión de uso y conservación a través de un manejo interdisciplinario, para el que el agua subterránea es un eje fundamental.

Así, de continuar con la visión de que el agua es simplemente agua (o peor aún, mercancía) sin determinar su origen superficial o subterráneo, la distancia recorrida, su calidad fisicoquímica (e isotópica) y su comportamiento, es improbable que se logre evitar o resolver conflictos. El crecimiento poblacional y económico de México se ha dado al margen del conocimiento acerca del comportamiento del agua subterránea existente, de su calidad, y de sus restricciones ambientales, incluidos los ecosistemas. La falta de un POT adecuado que articule uso de suelo, agua existente, concentración de población y actividad económica continúa generando conflictos en regiones semiáridas en las que no se preveía un crecimiento urbano y actividades económicas como la agricultura de exportación con riego intensivo. Así, en la Ciudad de México, entre 1940 y 1990, la extracción de aguas subterráneas se multiplicó diez veces, lo cual resultó en desavenencias (Becerra *et al.*, 2006). Desde los años cincuenta del siglo pasado, la población urbana nacional entró en una dinámica de crecimiento (MacGregor, 1987). A ello se sumaron el establecimiento de actividades mineras y diversos megaproyectos que dejaron fuera a la población



indígena. Los planes de inversión extranjera son ajenos al estado actual del país.

### Visión economicista

Becerra *et al.* (2006) sostienen que los conflictos por el agua están en función de su escasez (demanda *versus* oferta, si bien los autores no definen estos términos). Es evidente que los principales conflictos por el agua subterránea son de abasto, y provienen del desconocimiento del potencial y el comportamiento de la fuente subterránea.<sup>9</sup> Como ejemplo puede citarse la gestión del agua de un río. Mediante la identificación de los conceptos y las asignaciones de agua con base en el conocimiento cabal del funcionamiento del río, es posible controlar los conflictos. La falta de comprensión acerca del agua subterránea es evidente en el uso del concepto de “acuíferos sobreexplotados”, noción que en lo que va del siglo carece de definición técnica y jurídica. Basta señalar que en los lugares en los que el agua escasea se ha dado la principal inversión extranjera en megaproyectos a nivel nacional (Figura 1), lo que sugiere una falta de congruencia y de respeto en el sector oficial por el pueblo mexicano y los intereses de los inversionistas, ya que al menos uno de ellos resulta engañado. Así, *stricto sensu*, no es que no haya agua subterránea, sino que hay corrupción y una gestión deficiente o inexistente. Para instalar esquemas economicistas se ha logrado convencer a buena parte de la sociedad de que hay poca agua (esto es, hay escasez); definición de carácter subjetivo que atribuye la escasez al aumento de la población (la población solo consume alrededor de 14% del agua) y por el uso en actividades económicas. Matus (2011) propone el término “disponibilidad natural media” (DNM). Aunque una cantidad (caudal o volumen) finita de referencia es inexistente, buena parte de los ejercicios economicistas se basa en el esquema subjetivo de que cualquier elemento natural (oro, agua, aire, etc.) en el planeta es finito, y que al aumentar la población se vuelve escaso. Según este autor, la DNM disminuirá. Sin embargo, la cantidad de agua subterránea y su comportamiento están aún por determinarse.

<sup>9</sup> La experiencia mundial indica que una buena parte de los conflictos por el agua ha tenido un desarrollo secuencial: *a*) hidroesquizofrenia; *b*) revolución silenciosa de regantes con agua subterránea; *c*) mejora social de estos regantes formando lobbies; *d*) esos lobbies intentan conseguir agua superficial gratis, financiada con fondos públicos; *e*) no siempre lo consiguen, pues otros grupos se oponen y eso da origen a conflictos sociales importantes, como ahora se ha definido en España (Llamas, 2005a:20).

Así pues, los conflictos por el agua se deben no a una escasez física del líquido (Llamas, 2005b; L’Vovich *et al.*, 1995)<sup>10</sup> sino a una inexistente o mala gestión.

### El agua subterránea y el ciclo hidrológico

En los conflictos por el agua subterránea suele haber implicada una concesión, por lo que es indispensable conocer la naturaleza de la fuente y la cantidad de agua disponible. La concesión a los usuarios depende de cómo se mida el agua. En México, al volumen de agua subterránea a ser concesionado se le ha llamado “disponibilidad”. El agua subterránea es parte del ciclo hidrológico; circula y se almacena de manera dinámica en grandes recipientes geológicos, llamados acuíferos. El tiempo de residencia del agua va de unos cuantos años hasta cientos o miles de años, y en su movimiento en el subsuelo puede recorrer decenas de kilómetros y traspasar unidades hidrológicas superficiales. El agua de lluvia al caer adopta tres formas principales: escurrimiento superficial (R), infiltración (I) y evapotranspiración (ET), (Freeze y Cherry, 1979). Para estimar las dos últimas es necesario contar con un equipo de campo avanzado, mientras que la estimación del escurrimiento superficial se hace mediante estaciones hidrométricas a lo largo de arroyos y ríos.

La dificultad para determinar valores reales de ET y de I da lugar a errores considerables. En el caso de la ET, el cálculo se realiza mediante fórmulas empíricas asociadas a la cantidad de radiación solar, temperatura y otras componentes meteorológicas, así como el tipo de vegetación. El caso de la I es mucho más complejo, ya que una parte del agua queda retenida en la zona vadosa, y otra fracción migra a mayor profundidad, alimentando (recargando) lo que se conoce como zona saturada, nivel freático o acuífero.

Para entender el funcionamiento del agua subterránea de forma tridimensional es preciso conocer además la geometría y la extensión y profundidad de la unidad o unidades acuíferas, el movimiento del agua subterránea y los volúmenes involucrados (definidos por la Ley de Darcy), las zonas de ingreso (recarga) y salida (descarga y control de ecosistemas), así como el tiempo de almacenamiento y de residencia del agua, que puede abarcar muchos años. También

<sup>10</sup> Estos autores estiman que, en el ámbito mundial, el abasto de agua en áreas urbanas (incluyendo la actividad económica) es menor a uno por ciento (0.05) del total del agua dulce existente, y que a nivel mundial solo se utiliza 0.007% del agua subterránea presente. Esencialmente, se trata de un problema de mala gestión, evitando incluir y reconocer el funcionamiento de más de 97% del agua en la parte continental.

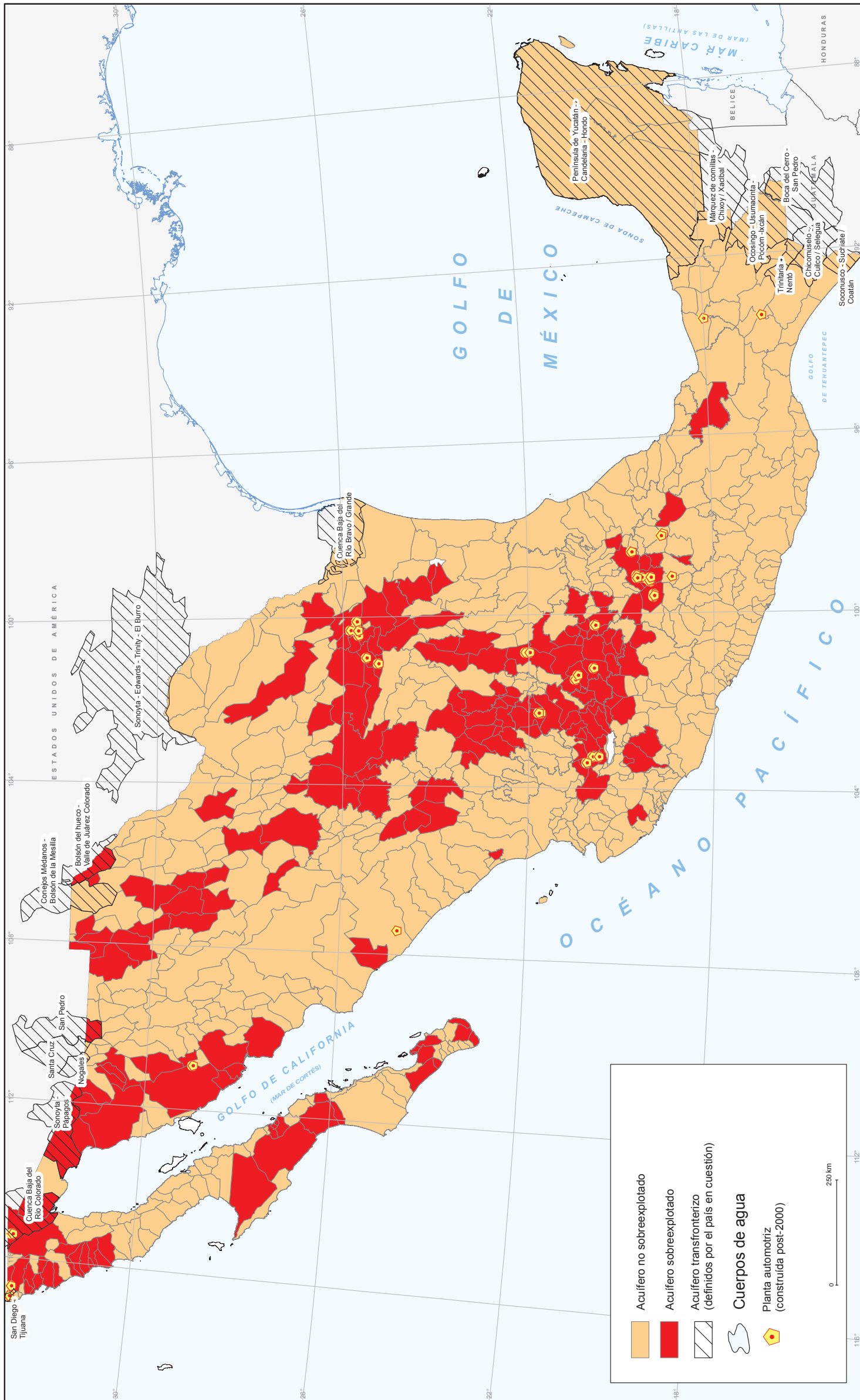


FIGURA 1. Mantos acuíferos en México e inversión extranjera.



es necesario tomar en cuenta la interacción química del agua subterránea con rocas y materiales del subsuelo, sujeta a la influencia del gradiente geotérmico. La cuantificación interdisciplinaria de todos estos procesos se denomina sistemas de flujo de agua subterránea (Tóth, 2009; Freeze y Witherspoon, 1966 y 1967).

### Cálculo de la disponibilidad media anual de agua de un acuífero

En este punto converge la mayor parte de los conflictos sobre el agua subterránea en México. Las autoridades responsables de cuantificarla han simplificado al extremo lo relativo a la infiltración y flujo del agua subterránea en los acuíferos, limitándolos a un “efecto-respuesta anual”. Es decir, erróneamente se considera que una parte del agua de lluvia de un año ingresa al subsuelo y alimenta al acuífero (independientemente del tiempo que tarde en llegar, la profundidad a la que se ubica el nivel freático y del tipo de acuífero, que puede ser confinado o no confinado). Se habla de un rango de entre diez y 20%, independientemente del volumen de lluvia y su distribución a lo largo del año. Por ejemplo, 365 mm por año significan algo muy distinto si la precipitación se da a razón de un milímetro por día que si toda la lluvia cae en unas cuantas semanas. La metodología “oficial” incurre en errores considerables al pasar por alto la calidad química del agua al calcular el agua almacenada y su movimiento en el subsuelo. El cálculo de la disponibilidad media anual de agua de un acuífero<sup>11</sup> ha quedado ratificada en el proyecto de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 (Semarnat, 2015) bajo la pretendida igualdad siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad} \\ \text{media anual de} \\ \text{agua del} \\ \text{subsuelo en un} \\ \text{acuífero} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga} \\ \text{total media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Extracción} \\ \text{de agua} \\ \text{subterránea} \end{array}$$

Con esta norma se determina la disponibilidad a partir de datos que no son evaluados fehacientemente, como la recarga total media anual, la descarga natural comprometida

(que está en función solo de concesiones otorgadas, pero no de pozos ilícitos) y la extracción del agua subterránea en pozos que en su mayoría no cuentan con medidor de caudal. Es evidente que la extracción y las necesidades de los ecosistemas están fuera de la ecuación. Todas estas mediciones imprecisas quedan finalmente bajo los criterios abstractos de los administradores del agua en el país, lo que se ha traducido en un exceso en las concesiones de agua, más allá de lo sustentable. Esta situación ha provocado desconcierto entre los diversos usuarios, ya que los criterios utilizados distan de ser científica y técnicamente aceptables. Con la concesión a inversores extranjeros de un abasto continuo de agua para sus operaciones productivas, la población mexicana se enfrenta a un nuevo predicamento.

Es inexplicable que, en su Apéndice B, la norma indique que para determinar la recarga total media anual de un acuífero basta con tomar en cuenta el balance de aguas del subsuelo,<sup>12</sup> que en forma simple se representa como:

$$\begin{array}{l} \text{Recarga total} \\ \text{(suma de} \\ \text{entradas)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Cambio de} \\ \text{almacenamiento del} \\ \text{acuífero} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Descarga total} \\ \text{(suma} \\ \text{de salidas)} \end{array}$$

A pesar de que la norma establece un intervalo de tiempo de varios años para el cálculo de la recarga, inexplicablemente se acepta un intervalo mínimo de un año, lo cual afecta la calidad de los resultados, ya que las oscilaciones globales en el clima, como los fenómenos de La Niña y El Niño, pueden durar de meses a años.

El Cuadro 1 muestra las variables usadas para determinar los parámetros establecidos en la ecuación de recarga total (Semarnat, 2015). Sin embargo, surgen dudas en cuanto a la validez del resultado final, habida cuenta de que se carece de un amplio y suficiente programa de monitoreo nacional del nivel del agua subterránea. La información existente es poca y desactualizada, y tampoco se han promovido en México estudios que cuantifiquen las propiedades de los materiales geológicos de los acuíferos, como son la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento (en muy pocos acuíferos se han llevado a cabo estas medidas).

<sup>11</sup> La disponibilidad media anual de agua del subsuelo se define como el volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de un acuífero para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas (Semarnat, 2015).

<sup>12</sup> En ese anexo se señala claramente que “la descripción de los métodos se limita a los conceptos y expresiones básicas; su detalle puede consultarse en las referencias bibliográficas de esta Norma Oficial Mexicana”. Sin embargo, esa bibliografía es de difícil acceso.

Cuadro 1. Resumen para calcular parámetros incorporados en la ecuación de recarga total		
Parámetro	Variable a definir	Técnica
Cambio de almacenamiento	Niveles del agua subterránea	No se señala con claridad
	Coefficiente de almacenamiento del acuífero	Pruebas de acuífero Tipo y litología del acuífero
Descarga total	Volúmenes descargados en forma natural:	
	Caudal base	Hidrogramas
	Manantiales	
	Evapotranspiración	No se mide
	Flujo subterráneo	Ley de Darcy
	Volúmenes extraídos por captaciones	Caudal de extracción

Fuente: información tomada de Semarnat (2015).

### Metodología de estudio del agua subterránea y conflictos derivados de ella

En general, los estudios del flujo subterráneo en el país se limitan al cálculo de un volumen de agua sin considerar su calidad y edad, el ambiente geológico, la dirección del flujo subterráneo en tercera dimensión y la relación con otros componentes del ambiente (vegetación, suelo). La cuantificación simplista, acompañada de una multitud de preguntas, ha traído como consecuencia conflictos sobre el agua subterránea. Más aún, el cálculo del volumen anual de agua se realiza sin objetivos claros, se determina un caudal sin conocer su calidad y, por ende, su uso o limitaciones potenciales. La falta de planteamientos claros iniciales y el desconocimiento de la naturaleza como sistema han conducido a la degradación del medio natural y a la generación de conflictos. Es urgente replantear las maneras de evaluar el ambiente para lograr la sustentabilidad deseada, incorporando siempre al agua subterránea entre los componentes del sistema.

Las sequías, por ejemplo, son resultado de la alteración del ciclo hidrológico, y no únicamente del clima. Evidentemente, factores como la expansión urbana, el cambio de uso del suelo, el mayor consumo de agua subterránea y la profundización del nivel freático o piezométrico afectan el ciclo hidrológico y dificultan la infiltración y recarga de agua en el subsuelo y la reducción de la descarga hacia ecosistemas continentales o marinos asociados, aspectos que repercuten en la humedad del suelo y afectan la evapotranspiración.

Se debe tener claro que el resultado del cálculo es un valor promedio anual y que en él se basan los diversos pro-

gramas gubernamentales de desarrollo sustentable, incluyendo las concesiones de uso del agua. Es necesario recordar que el comportamiento del clima no es uniforme y que existen variables a incorporar en los estudios ambientales, tales como temperatura y precipitación, las cuales están sujetas a procesos naturales de carácter continuo y dinámico. Estas variables son parte de un sistema, y las condiciones que las originaron han cambiado y lo seguirán haciendo. Por esta razón, es deseable una mayor precaución y preocupación para evitar y controlar conflictos, lo cual implica conocer con el mayor detalle posible el funcionamiento del sistema naturaleza, el cual depende de las condiciones históricas y actuales de la acción humana en el planeta.

### Planeación inadecuada del manejo de los acuíferos

El agua dulce es la fuente más importante para la permanencia de las diversas formas de vida en el planeta; no obstante, las actividades humanas representan un peligro de contaminación del agua y de reducción de los volúmenes asequibles a los ecosistemas mismos, esenciales para mantener el equilibrio en la naturaleza. Algunos planificadores comentan que en el mundo siempre ha existido el mismo volumen de agua, pero que su balance (cantidad) se encuentra actualmente bajo amenaza. Sin embargo, este enfoque no tiene en cuenta las fuertes limitaciones y errores en los valores obtenidos en el estudio de los diferentes parámetros (Ward, 1967). El aumento de las actividades humanas ha alterado el equilibrio sistémico natural alcanzado a través del tiempo: un estado estacionario inicial que implicaba equilibrio entre el clima, las condiciones geológicas, la topografía, la vegetación, el suelo y el funcionamiento hídrico particular. Este último incluye la relación entre las aguas superficial y subterránea.

En cualquier escenario natural estos seis componentes están en equilibrio casi perfecto. Sin embargo, cuando la actividad humana altera esta condición y cambian significativamente las entradas y salidas del agua, el funcionamiento se ajusta por lo general a expensas del agua presente en el relieve, la vegetación y la cobertura del suelo, así como en la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea. La respuesta de la naturaleza a las nuevas condiciones es compleja y no basta con medir la cantidad de agua entrante y saliente; es necesario determinar aspectos como los cambios en la cubierta vegetal y en las condiciones del suelo, el hundimiento del terreno y, desde luego, la calidad del agua. El paradigma del balance hídrico es insuficiente. Para revertir el deterioro de las fuentes de agua es necesario transitar hacia



una gestión sustentable del agua, aceptable en lo ambiental y socialmente equitativa, para lo cual cualquier programa a desarrollar deberá aplicar coherentemente la teoría de sistemas de flujo de agua subterránea (Tóth, 1995), clave para comprender el funcionamiento de la naturaleza. Un requisito previo es definir la accesibilidad del agua subterránea y su interdependencia con otros componentes del ambiente (Carrillo *et al.*, 2008). El reto es buscar un conocimiento sistémico hidrogeológico basado en el contexto geológico, topográfico, edáfico, florístico y climático para entender las dimensiones del sistema hidrogeológico y la cantidad y calidad del agua para lograr su correcta administración.

### Planeación y administración inadecuadas

Para conocer la manera en que se planifica y administra el agua en los acuíferos en México se llevó a cabo un análisis con base en los datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Inegi, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), además de información adquirida en diferentes foros y reuniones académicas.

La Conagua es la institución responsable de administrar, planificar y preservar toda el agua en México, a nivel federal, estatal y municipal. Esa Comisión ha delimitado 653 acuíferos en el país, considerados, junto con la cuenca hidrológica que los contiene, como la base de administración del agua (Conagua, 2004). Para conocer la disponibilidad de agua y analizar y programar acciones sobre su uso, esta institución agrupa a las cuencas en 37 regiones hidrológicas, integradas para efecto de planeación y facilitar la integración de información socioeconómica, en 13 regiones hidrológico-administrativas. Es menester aclarar que los límites laterales y vertical del acuífero los definen convencionalmente para fines de evaluación y manejo, es decir, al libre albedrío, absurdo criterio que data de los años treinta.

La Semarnat (2013) publicó la disponibilidad de agua subterránea como la diferencia entre recarga y descarga, resultando siempre negativa. En 1948 se decretaron las primeras vedas en México, las cuales en 2007 llegaron a sumar 146. Como resultado de esta manera de administrar el agua, en 1975 había 32 acuíferos sobreexplotados, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2000, 104 en 2006 y 106 en 2013; incluyendo 195 acuíferos con disponibilidad negativa, 32 acuíferos con suelo salino y agua salobre, y 16 con intrusión salina costera (Conagua, 2008 y 2013). Esta crítica situación obliga al gobierno federal a publicar veda indefinida en sectores de 175 acuíferos, aunque muchos tenían declarada la veda desde hace varias décadas. De acuerdo con la misma definición de acuífero que utiliza Conagua, declarar veda a solo

un sector no resuelve el conflicto de fondo, ya que se trata de un mismo cuerpo de agua y la extracción del líquido en un sector influirá en el resto del acuífero.

Existen solamente 613 sitios de monitoreo de la calidad del agua subterránea (Conagua, 2013), es decir, ni siquiera un sitio por acuífero, lo que imposibilita dar seguimiento real a la calidad del agua extraída. En relación con la cobertura de agua, la distribución del líquido es desigual. Por ejemplo, en el 2013 diez por ciento de la población del Distrito Federal experimentaba escasez de agua, siendo la porción sur-sureste la más desfavorecida, pese a que ahí se encuentran varios pozos que abastecen otras partes de la entidad.

Pese a que la norma NMX-AA-147-SCFI-2008 define los criterios para evaluar las tarifas de consumo de agua, y que éstas tienen que ser aprobadas por el congreso local de cada entidad o por el directivo del organismo operador de agua potable municipal o local, el costo del suministro de agua es también inequitativo. Con la estructura tarifaria vigente, una gran parte de los ciudadanos paga hasta 65% más por el servicio de agua potable que la industria y el comercio, y en ocasiones los usuarios clasificados como marginados pagan tarifas iguales o mayores a las que paga el resto de la población. Lo anterior muestra que la administración del agua subterránea en México presenta inconsistencias que conducen a graves conflictos por el acceso, la cobertura, la cantidad, la calidad y el precio del agua. La administración del agua tiene una estructura inoperante y las bases de datos y criterios que emplea para su gestión son insuficientes, a menudo basados en estimaciones en lugar de medidas y, peor aún, la asignación para la gestión de los acuíferos se hace al libre albedrío. Esto garantiza resultados siempre convencionales e insuficientes, contrarios a una verdadera planeación y gestión justa del agua subterránea.

La conceptualización de acuífero explica por qué existen tantos de ellos en México. Son áreas imaginarias que están fuera de sus límites y naturaleza geológica, hidráulica, de vegetación y suelo; de la trayectoria, dimensión, velocidad y jerarquía de los sistemas de flujo de agua subterránea, cuyo conocimiento y aplicación ya es prioritario definir para delimitar la superficie realmente objeto de administrar. Cabe recordar que el agua no reconoce límites políticos. El hecho de que una unidad hidrogeológicamente homogénea como la de la porción sur de la planicie de la Cuenca de México, desde el poblado de Chalco hasta Zumpango (en sus 800 m más superficiales de relleno clástico) se divida en cuatro acuíferos, es ya un antecedente para futuros conflictos, especialmente porque hay más de una institución gestionando el agua con distintas bases de datos y sitios y frecuencias de monitoreo, lo cual complica no solo la gestión del agua sino la toma de decisiones.

En México la falta de datos fehacientes por irregularidad del monitoreo, la falta de equipo o su deterioro es un gran problema. Cada vez hay menos infraestructura, y el valor publicado de muchos parámetros es solo aproximado, en especial, el volumen de agua que se extrae para cada tipo de uso en el medio rural y en el urbano. La falta de infraestructura, personal y aplicación de un método confiable crea conflictos al cuantificar los parámetros requeridos para evaluar la recarga. Esto es resultado de aplicar la NOM-011-CONAGUA-2015 para calcular la disponibilidad (la recarga menos la descarga), criterio sin sustentación técnica y científica rigurosa que incorpora una subjetividad extrema de lamentables alcances jurídicos en la declaración de si el acuífero está o no sobreexplotado.

La supuesta sobreexplotación de acuíferos proviene principalmente de prácticas administrativas ineficientes e insostenibles del aprovechamiento del agua. Ciudades y distritos de riego entran en conflicto debido al manejo ineficiente de los recursos, y a la ausencia de criterios para dotar de agua de manera equitativa, lo mismo que para definir los cobros. Es necesario establecer un control riguroso del caudal de agua que emplean el agro, las ciudades y la industria; es urgente fomentar y apoyar al agro para evitar el desperdicio del agua a través de una mejor tecnificación y mejores prácticas. La información acerca del agua adolece de múltiples limitaciones de carácter institucional, técnico y legal; es heterogénea y parcial, está desactualizada y dispersa y no refleja la realidad que tanto los ciudadanos como los tomadores de decisiones tienen derecho a conocer. Los estudios científicos y técnicos y los diagnósticos sólidos tienen un alcance limitado, por lo que es preciso transformar totalmente la gestión pública del agua, buscando una visión estratégica en la que los ecosistemas y la sociedad sean el eje motor a fin de conjurar posibles conflictos por el agua subterránea.

### Evolución de la calidad del agua subterránea

La metodología de estudio del agua subterránea que se impulsa en México para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (NOM-011-CONAGUA-2015) incluye una serie de cálculos que consideran las variables del ciclo hidrológico y los cambios inducidos por el ser humano. El abastecimiento a la población urbana y rural del país está sustentado principalmente en el agua subterránea (CNA, 2013), por lo que en términos de la administración del agua, la aplicación de la NOM-011-CONAGUA-2015 en los acuíferos administrativos utilizados

para el abastecimiento de la población debiera considerar la calidad del agua, ya que su composición química constituye un factor fundamental para asegurar la salud de los consumidores.

La normatividad para definir la calidad del agua suministrada está claramente definida en la NOM-127-SSA1-1994; sin embargo, en el Apéndice Normativo B, apartado B.5 de la NOM-011-CONAGUA-2015, se establece que la determinación de la disponibilidad media anual del agua no requiere considerar la calidad del agua subterránea. Éstas solo se toma en cuenta cuando se desea captar agua de mar procedente de los acuíferos costeros (Apéndice Informativo E).

Diversos investigadores han identificado problemas en la calidad del agua suministrada a la población en diversas partes del país. Destacan especialmente aquellas sustancias tóxicas relacionadas con elementos traza, como fluoruro y arsénico provenientes de fuentes geogénicas (Carrillo *et al.*, 2002; Armienta y Segovia, 2008; Carrillo *et al.*, 2008; Daesslé *et al.*, 2008; Garfias *et al.*, 2009; Ortega, 2009; Banning *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2013; Varela *et al.*, 2013). En muchos casos las condiciones hidrogeológicas propician cambios en la calidad del agua dependiendo del tiempo de extracción (Cardona *et al.*, 2004; Huízar *et al.*, 2004; Esteller *et al.*, 2012). La evolución de la calidad del agua puede presentarse en tiempos cortos, del orden de minutos y horas, a tiempos largos, del orden de años (Carrillo *et al.*, 2002). En otros casos, los sistemas de agua subterránea someros son afectados por la contaminación difusa derivada de actividades agrícolas o del deficiente manejo de las aguas residuales domésticas (Cardona *et al.*, 2008).

Los cambios de la calidad del agua subterránea captada mediante diversos tipos de aprovechamiento hídrico son decisivos en el desarrollo de conflictos en diversas regiones de México; conflictos que han sido claramente identificados (lo mismo que las enfermedades que alteran la salud humana en muchas ocasiones de manera irreversible), y que en zonas costeras impiden implantar controles necesarios de intrusión de agua salina.

### Limitaciones metodológicas

La caracterización geoquímica permite no solo identificar las concentraciones de diversos elementos mayores, menores y traza (benéficos o tóxicos para el funcionamiento de los organismos vivos que inciden en la calidad del agua) sino que aporta información valiosa para la gestión y administración, como son la comprobación de patrones de flujo subterráneo, los procesos y la cuantificación de recarga natural e inducida, y los tiempos de residencia (absolutos y relativos)



del agua subterránea en el acuífero. En consistencia con la NOM-011-CONAGUA-2015, se puede definir como recarga de agua subterránea al volumen de agua procedente del exterior depositado en el acuífero en un intervalo de tiempo específico. Uno de los problemas de esta definición es que considera la suma de las entradas de agua sin diferenciar su origen, calidad y temporalidad. En la literatura especializada se reconocen los siguientes tipos de recarga: *a*) natural (directa e indirecta), *b*) inducida (artificial planeada o no planeada) y *c*) inducción de agua subterránea entre unidades hidrogeológicas por efecto del bombeo. Estos tipos de recarga pueden ser identificados y evaluados geoquímicamente además de las técnicas hidrogeológicas convencionales, y la información sería muy útil para verificar si los cálculos de la recarga realizados tienen sentido, identificar la recarga que incluye agua de mala calidad (que disminuiría la calidad del agua subterránea destinada a abastecer a la población), y clasificar los sistemas de flujo captados por la extracción en un acuífero administrativo. La caracterización geoquímica incluye la utilización de isótopos ambientales (estables y radiactivos) que permiten establecer el origen del agua que ingresa al acuífero y estimar su edad absoluta. La identificación de los componentes de recarga y de la edad o tiempo de residencia del agua en el acuífero (decenas o centenas de años) permite diferenciar entre recarga moderna y recarga fósil y saber cuándo la extracción está minando el agua subterránea.

### Características buscadas

Para identificar los diferentes tipos de recarga en una cuenca es necesario incorporar la caracterización geoquímica del agua subterránea. La identificación de la recarga natural directa e indirecta a lo largo de un año se puede llevar a cabo mediante herramientas isotópicas (oxígeno 18, deuterio, tritio, carbono 14), información que conjuntada con los valores de cloruro y composición química global del agua subterránea, permite evaluar las zonas en donde los sistemas de flujo local activos se renuevan anualmente a partir de la precipitación. La recarga natural inducida (no planeada) generalmente se relaciona con agua de mala calidad afectada por contaminación difusa (agrícola, sistemas de saneamiento), y las concentraciones de nitrato, cloruro y sulfato, y la presencia de coliformes fecales y totales son indicadores de este tipo de recarga. La inducción de agua entre unidades hidrogeológicas puede identificarse por las variaciones a corto plazo en la temperatura del agua extraída del pozo y los cambios en las concentraciones de elementos traza (sobre todo cuando se induce agua profunda a través de fracturas), como fluoruro, arsénico y litio.

Además de la definición de disponibilidad, otro aspecto poco utilizado es la determinación del caudal óptimo con la mejor calidad de agua posible (Cardona *et al.*, 2004; Huízar *et al.*, 2004; Esteller *et al.*, 2012). Este aspecto es de primordial importancia, ya que es factible que de un pozo se obtenga una calidad excelente al inicio y que la calidad se deteriore con el tiempo de extracción, y hay casos en los que se puede observar lo contrario. En consecuencia, la incorporación del funcionamiento del agua subterránea en un programa de muestreo es fundamental para diseñar una planta de tratamiento que intente manejar altos niveles de algún elemento en particular, como es el caso del fluoruro, problema característico de regiones geográficas vecinas a la Sierra Madre Occidental.

En México los conflictos por el agua se dan principalmente entre los usuarios de agua potable y las autoridades que debieran proveer y vigilar la calidad del suministro. Desde fines de los años ochenta del siglo pasado se ha procurado identificar y prevenir los problemas de salud generados por el consumo de agua de mala calidad. Para lograrlo es indispensable comprender cabalmente el comportamiento de los flujos de agua superficial y subterránea.

### Educación y participación social para abatir los conflictos por el agua subterránea

A continuación se presentan las experiencias de trabajo en dos áreas del país en los temas de educación ambiental y participación social en relación con el uso del agua subterránea.

**VALLE DE CHALCO EN LA CUENCA DE MÉXICO.** La operación desde la década de 1960 de decenas de pozos en las márgenes del lago de Chalco en el sureste de la Ciudad de México, y en particular la extracción de 14 de ellos construidos en la década de 1980, está provocando una de las alteraciones ambientales y del paisaje más importantes de la cuenca de México en años recientes, con el desarrollo de un nuevo lago (Figura 2a y b). Hacia el centro de la planicie, con el mayor espesor de sedimentos lacustres (300 m), se han generado hundimientos de hasta 45 cm por año como resultado de la consolidación del acuífero tras la extracción en el acuífero inmediato subyacente. En esta depresión topográfica se está desarrollando el Nuevo Lago de Chalco, por acumulación de agua superficial, cuya evolución y forma actual es controlada por la geometría de la roca basáltica en el subsuelo (Ortiz y Ortega, 2010).

La superficie del Nuevo Lago de Chalco se ubica a 15 m por debajo del nivel original del terreno, cubriendo una extensión de más de 1 000 ha. La subsidencia observada va

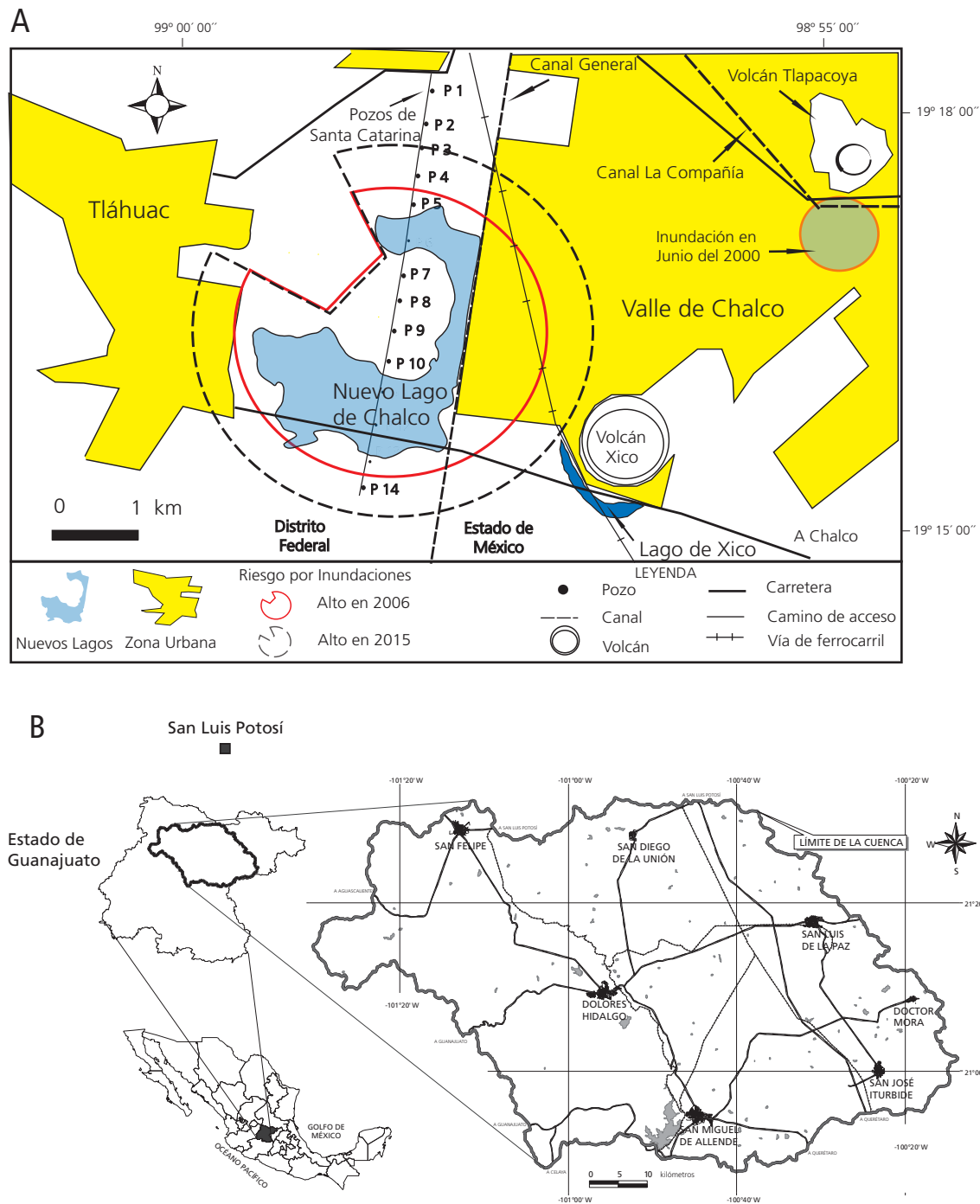


FIGURA 2. A. Nuevo Lago de Chalco y zonas urbanas en riesgo. B. Cuenca de la Independencia.

en aumento, y con ello se incrementa el riesgo de inundación a las zonas urbanas de Tláhuac y Valle de Chalco.

Este fenómeno regional ha provocado diversas inundaciones por la rotura del canal de la Compañía (2000, 2010 y 2011), afectando a miles de familias. Para reducir el peligro y riesgo de subsidencia e inundaciones ha sido necesario mejorar la infraestructura hidráulica y reubicar colonias potencialmente afectadas.

ACUÍFERO DE LA INDEPENDENCIA, ESTADO DE GUANAJUATO. La cuenca alta del río La Laja, también conocida como Cuen-

ca de la Independencia, abarca una superficie de 7 000 km<sup>2</sup> (Figura 2) y una población de casi 500 000 habitantes. Es parte de la cuenca regional Lerma-Chapala en el centro de México. El agua subterránea es la principal fuente de abasto de agua potable y agua para uso industrial y agrícola. El total de la extracción de agua subterránea en la cuenca es del orden de mil millones de m<sup>3</sup> por año, a través de unos 3 000 pozos, de los cuales aproximadamente 80% es para la producción agrícola, principalmente de exportación.

La información hidrológica histórica muestra la existencia de numerosos arroyos, ríos y lagos al interior de la



cuenca, y cientos de manantiales en la zona de descarga del acuífero. El río La Laja ha dejado de ser una corriente perenne, y la mayoría de los manantiales y ecosistemas asociados ha desaparecido. El nivel del agua subterránea se encuentra entre 100 y 200 m de profundidad con abatimiento entre dos y diez metros por año, cuando hace unos 60 años el nivel del agua estaba sobre o cerca de la superficie del terreno. La cantidad de arsénico y fluoruro disueltos en el agua subterránea aumenta con el tiempo, con graves efectos a la salud en las localidades rurales y más recientemente en los principales centros urbanos. Además, el aumento de la concentración de sodio está afectando la productividad del suelo y el crecimiento de cultivos, por lo que grandes extensiones indeterminadas de tierras productivas han quedado en el abandono (Ortega, 2009).

La insostenibilidad de la extracción de agua en la cuenca es un hecho incontestable que ha puesto en entredicho el equilibrio hidrológico, el bienestar social y la economía de la región. Las acciones humanas sin control dañan la capacidad de renovación a largo plazo del almacenamiento y los flujos de agua dulce. La calidad del agua subterránea, derecho humano básico y requisito constitucional, no se ha garantizado a toda la población de la cuenca, y han aparecido miles de casos de fluorosis e hidroarsenosis. En la mayor parte de la cuenca la calidad del agua no cumple con los estándares mínimos, ni se restauran ni protegen los ecosistemas que han sobrevivido.

La planificación y la toma de decisiones no han sido democráticas. Los consejos de cuenca que representan a los usuarios del agua son controlados por los agricultores con poder político y económico, lo cual limita la participación de otros actores y excluye los intereses afectados. Los mecanismos institucionales no son capaces de prevenir y resolver los conflictos por el agua. Los datos acerca de la cantidad de agua, su uso y calidad no son accesibles para todas las partes, y esto resulta en una posible crisis de gobernabilidad. La crisis actual del agua (en particular la subterránea) en la Cuenca de la Independencia y en general de la Cuenca Lerma-Chapala es consecuencia de: *a)* programas de desarrollo equivocados; *b)* deficiente administración del agua, con exceso de concesiones de agua superficial y subterránea; *c)* corrupción de los sectores involucrados; *d)* desarticulación de las acciones de gobierno federal, estatal y municipal en ausencia de un plan integrado de evaluación y manejo del agua. Para revertir esta crisis se necesita una participación social fundamentada en información científica traducida y transferida de manera adecuada.

EXPERIENCIAS EDUCATIVAS, DE PARTICIPACIÓN SOCIAL Y SUS IMPACTOS. La transferencia de resultados de investigación se

realizó a través de diplomados de 120 horas, impartidos por investigadores asesorados por expertos pedagogos. Se han realizado tres diplomados en el estado de Guanajuato entre 2000 y 2010 a representantes de diversas comunidades rurales, público en general, maestros, estudiantes, músicos, poetas y funcionarios públicos, entre otros participantes. En el caso de Valle de Chalco se llevó a cabo un diplomado en 2011 para grupos afectados. En este proceso se utilizaron equipos y material científico para enseñar las mediciones necesarias en campo. Se dieron a conocer los principales procesos involucrados en el funcionamiento del agua subterránea y su relación con los demás componentes del ciclo hidrológico, las modificaciones al equilibrio de este ciclo y los efectos negativos en la cantidad y calidad del agua subterránea; además de los efectos del hundimiento, agrietamiento del terreno e incremento al riesgo de inundaciones, entre otros aspectos.

El empoderamiento a través del conocimiento abre nuevas perspectivas de solución y atención a los problemas. En el caso de Valle de Chalco, las personas que cursaron el diplomado son capaces de establecer diálogo con la autoridad, lo que dio como resultado modificaciones a obras hidráulicas que se estaban efectuando, y a mantener un observatorio ciudadano crítico. La respuesta por parte de la autoridad no se ha hecho esperar, pues los funcionarios se sienten invadidos y no tienen la capacidad (y en muchos casos tampoco la intención) de responder a las propuestas de la ciudadanía. El medio más efectivo para generar una respuesta gubernamental ha sido la denuncia pública y, más recientemente, la denuncia por vías jurídicas y ante las instituciones de derechos humanos, a partir de asociaciones civiles formadas en los diplomados.

El proceso educativo tuvo como fin orientar la organización y participación social para poner la información científica al alcance de la sociedad civil afectada y de las autoridades responsables de la administración del agua, de tal manera que la sociedad coadyuvara y presionara a las autoridades hacia la buena toma de decisiones. A partir de las investigaciones sobre el comportamiento del agua subterránea en Guanajuato y la cuenca de México se identificó que el origen de los conflictos por el agua se deben a: *a)* un conocimiento incompleto del funcionamiento del agua en una cuenca, acuífero o región, *b)* intereses económicos y políticos, y *c)* una profunda corrupción de las instituciones que pretenden administrar el agua en el país. Los conflictos surgen cuando los datos sobre la cantidad, uso y calidad del agua renovable no son accesibles para todas las partes, y se agudizan al carecerse de información confiable que permita explicar la reducción del abasto y la aparición de enfermedades asociadas a la contaminación de acuíferos. La

transferencia de información a la sociedad ha permitido definir las estrategias dinámicas e integrales para el ordenamiento del territorio, en particular para prever conflictos y desastres y establecer un equilibrio entre la planeación de las áreas propuestas de conservación y mejoramiento ambiental con la reducción o mitigación del riesgo. No obstante, las autoridades se han mantenido insensibles y contrarias a este tipo de participación social. El medio más efectivo para generar una respuesta gubernamental, ha sido la denuncia pública, jurídica y ante las instituciones de derechos humanos.

### Acuíferos transfronterizos. Elementos para mitigar conflictos bilaterales

Las fronteras mexicanas se diferencian en términos socioespaciales y por la interacción con las naciones vecinas. En la frontera norte, la vecindad con los Estados Unidos ha propiciado que los espacios fronterizos se caractericen por un aumento demográfico acentuado en las últimas cuatro décadas como producto de la creciente integración de México a la región de América del Norte. En contraste con ello, los espacios fronterizos con Guatemala y Belice adquieren dinámicas cada vez más encaminadas a la urbanización e integración regional, por lo que es forzoso identificar y reconocer la necesidad de mantener una política soberana y de uso equitativo del agua transfronteriza, frente a los retos impuestos por un mundo cada vez más globalizado.

LOS ACUÍFEROS TRANSEFRONTERIZOS MÉXICO-ESTADOS UNIDOS. En el caso de la frontera México-Estados Unidos, el tema del agua es un asunto claramente revisitado por la influencia que ejerce la cuenca del río Bravo/Grande;<sup>13</sup> empero, el asunto de las aguas subterráneas transfronterizas es un tema nuevo por los problemas ambientales que suscita. El primer intento por regular los acuíferos transfronterizos surgió con el acta 242, de 1973 por la CILA/IBWC.<sup>14</sup> Dicha

acta señala que mientras se llega a un convenio general, ambos países están obligados a consultarse siempre cada vez que se pretenda acceder a los acuíferos a lo largo de los ocho kilómetros de la línea divisoria internacional.

Existe un vacío regulatorio entre ambas naciones sobre los acuíferos transfronterizos, situación característica de muchas otras latitudes del mundo. El agua subterránea transfronteriza siempre ha estado en un segundo plano en relación con las superficiales (Eckstein y Eckstein, 2005). Es manifiesta la falta de información hidrogeológica y de la dinámica social en el acceso y uso de los acuíferos transfronterizos. Identificar el proceso que México ha emprendido en relación con el acceso ordenado y equitativo, permitirá evidenciar el grado de avance en el control soberano sobre dichos elementos.

Las Reglas de Helsinki (1966)<sup>15</sup> fueron el primer marco de acuerdo internacional de las aguas dulces compartidas, pues se reconoció que las cuencas hídricas internacionales no solo comparten aguas superficiales, sino también subterráneas, y que debía ser prioridad de los Estados compartir información sobre la cantidad y calidad de las mismas. En ese sentido, las Reglas de Seúl (1986)<sup>16</sup> reforzaron la idea de que todas las aguas subterráneas, independientemente de la dirección de sus flujos y su relación con las aguas superficiales, al estar conectadas con cuencas internacionales, son aguas compartidas y por lo tanto se deberán crear los mecanismos necesarios para su protección. Ambos documentos fueron decisivos para la aprobación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho Relativo a los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos a los de la Navegación y las Aguas Subterráneas de 1997, con la que el agua subterránea transfronteriza obtuvo un estatus jurídico internacional, gracias a la característica de estar atravesada por una línea fronteriza.

Es menester señalar que el uso del agua subterránea en el mundo se ha incrementado de forma acelerada en las últimas décadas. Entre las principales fuentes de agua dulce, las subterráneas ocupan un papel preponderante por la cantidad que representan (30.28%, en contraste con el 0.31% de las aguas superficiales), aunque los glaciares resguarden una importante cantidad de agua dulce (69.40%) que en realidad es inaccesible hasta nuestros días (Unesco, 2006). El documento de la Unesco (2014) señala que hoy en día más

<sup>13</sup> Es importante anotar que ambos países han tenido o tienen en la actualidad problemas por el reparto del agua superficial del Bravo/Grande, sin embargo, en realidad existen mucho más acuerdos que conflictos respecto al tema, y ejemplo de ello es la creación de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) a partir del Tratado de Aguas de 1944. Esta institución binacional, que en México depende de la cancillería y en Estados Unidos del Departamento de Estado, tiene entre sus facultades la observación, el cuidado y la resolución de problemas relativos a los límites fronterizos entre ambos países, lo cual incluye por supuesto al agua superficial.

<sup>14</sup> El acta surgió como solución al conflicto derivado de la alta salinidad que presentaban las aguas del río Colorado al momento de

ingresar a México. Esta situación se debía a la probable irrigación no controlada de los pozos agrícolas situados en el país vecino.

<sup>15</sup> International Law Association. The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers, Helsinki, 1966.

<sup>16</sup> International Law Association. Rules on International Groundwaters, Seoul, 1986.

de la mitad de la población mundial depende directamente del agua subterránea. Dicho reporte señala que en términos de extracción de agua, habrá un aumento de 55% para el 2050, gracias al incremento de otros sectores, como el industrial (400%), el eléctrico (140%) y el doméstico (130%). Así, se proyecta una situación de presión sobre el uso y consumo de agua para 40% de la población mundial en 2050. Se reconoce hasta el momento que las extracciones de agua subterránea a nivel mundial oscilan entre 4 000 y 5 000 km<sup>3</sup> por año, según los cálculos de Rivera (2008), quien además indica que el caudal promedio de agua subterránea extraída en Norteamérica y Centroamérica asciende a 707 km<sup>3</sup>.

Como es evidente, estas cifras y los mencionados acuerdos internacionales para las aguas subterráneas han permitido que, hasta el momento, la ONU, la Unesco, la OEA y el Programa Hidrológico Internacional, hayan emprendido esfuerzos para caracterizar los acuíferos transfronterizos americanos. El Programa Unesco/OEA-ISARM (Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas) identificó diez acuíferos en la frontera México-Estados Unidos: Tijuana-San Diego, Cuenca Baja del Río Colorado, Sonoyta-Pápagos, Nogales, Santa Cruz, San Pedro, Conejos Médanos, Bolsón del Hueco, Edwards-Trinity-El Burro y Cuenca Baja del Río Bravo/Grande (Unesco, 2008).

Por su parte, el Congreso Federal de Estados Unidos creó en el 2006 un programa de exploración y caracterización de acuíferos transfronterizos a través de la Ley Federal United States-Mexico Transboundary Aquifer Assessment Act (U.S. Congress 109th, 2006). Posteriormente, en el 2009 la ONU emitió la resolución 63/124 Derecho de los Acuíferos Transfronterizos que recomienda a los estados concertar los arreglos convenientes para su adecuada gestión por medio de la creación de marcos regulatorios armonizados con las legislaciones domésticas.

El trabajo de todas estas entidades asegura un conocimiento riguroso sobre el estado actual de los acuíferos transfronterizos y la cantidad, la calidad y el uso del agua, con la finalidad de desarrollar un marco internacional regulatorio para los acuíferos transfronterizos en el mundo (Hayton y Utton, 1992; Eckstein y Eckstein, 2005). Sin embargo, el último instrumento internacional existente para mitigar posibles conflictos bilaterales es la resolución de la ONU 63/124 Derecho de los Acuíferos Transfronterizos.

Son pocas las medidas que México ha tomado en relación con este tema en la actualidad. Existen diagnósticos hidrogeológicos de los acuíferos fronterizos sobreexplotados, como es el caso de Conejos-Médanos y el Bolsón del Hueco, por mencionar algunos (Conagua, 2009). En esa tesitura, la Ley Federal United States-Mexico Transboundary Aquifer Assessment Act, mandata a las autoridades estadouniden-

ses a colaborar de manera efectiva con México y lograr así la caracterización e identificación de los acuíferos transfronterizos. Existen avances como los reportados por Scott *et al.* (2008). No obstante, aún faltan datos que permitan una evaluación más amplia para verificar los avances reales en relación con las medidas que sugiere la resolución 63/124 de la ONU. Finalmente, aunque parezca un elemento invisible de la naturaleza, el agua subterránea ha permitido el crecimiento económico-social del espacio fronterizo, de allí su importancia estratégica como insumo básico para el bienestar social en su conjunto. México debe garantizar la soberanía nacional y seguridad hídrica en materia de acuerdos internacionales hídricos. Desconocer el comportamiento de los flujos del agua subterránea podría comprometer las reservas de agua subterránea actual y futura en detrimento del bienestar nacional.

## Referencias

- ARMIENTA, M. A. y N. Segovia (2008), "Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico", *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 30, no. 4, pp. 345-353.
- ASAMBLEA General de las Naciones Unidas (2009), 63/124. *El derecho de los acuíferos transfronterizos*, ONU, Nueva York.
- BANNING, A., A. Cardona y T. R. Rude (2012), "Uranium and arsenic dynamics in volcano-sedimentary basins –an exemplary study in north-central Mexico", *Applied Geochemistry*, no. 27, pp. 2160-2172.
- BECERRA, B. P., S. J. Sainz y P. C. Muñoz (2006), *Gestión y Política Pública*, vol. 15, núm. 1, pp. 111-143.
- CARABIAS, J., R. Landa, J. Collado y P. Martínez (2005), *Agua medio ambiente y sociedad*, UNAM-Colmex-Fundación Gonzalo Río Arronte, México.
- CARDONA, A., J. J. Carrillo Rivera, G. J. Castro Larragoitia y E. Graniel Castro (2008), "Combined use of indicators to evaluate waste water contamination to local flow systems in semi-arid regions: San Luis Potosí, Mexico", *Selected Papers Series of the International Association of Hydrogeologists (SPS-IAH) on the theme: "Groundwater flow understanding from local to regional scales"*, Balkema, Taylor & Francis, Chapter 3, pp. 85-104.
- CARDONA, A., J. J. Carrillo Rivera, R. Huízar Álvarez y E. Graniel Castro (2004), "Salinization in coastal aquifers developed for agriculture in arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico", *Environmental Geology*, no. 45, pp. 350-366.



- CARRILLO Rivera, J. J., A. Cardona y W. M. Edmunds (2002), "Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico", *Journal of Hydrology*, no. 261, pp. 24-47.
- CARRILLO Rivera, J. J., A. Cardona, R. Huízar Álvarez y E. Graniel Castro (2008), "Response of the interaction between groundwater and others components of the environment in Mexico", *Environmental Geology*, no. 55, pp. 303-319, doi10.1007/s00254-007-1005-2.
- COMISIÓN Internacional de Límites y Aguas. *Acta no. 242. Solución permanente y definitiva del problema internacional de la salinidad del Río Colorado*, Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos, Sección mexicana: <http://www.sre.gob.mx/cilanorte>.
- CNA (2000), Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del Recurso Agua –Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- CNA (2009a), *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0823 Conejos-Médanos, Estado de Chihuahua*, Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA (2009b), *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0833 Valle de Juárez, Estado de Chihuahua*, Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA (2013), *Estadísticas del agua en México 2013* [<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-2-14Web.pdf>; consultado en enero 15 del 2015].
- CONAGUA (2004), *Ley de aguas nacionales y su reglamento*, Conagua, México.
- CONAGUA (2008), *Estadísticas del agua en México*, Conagua, Semarnat, México.
- CONAGUA (2013), *Estadísticas del agua en México*, Conagua, Semarnat, México.
- DAESSLÉ, L. W., L. Ruiz Montoya, H. J. Tobschal, R. Chandrajith, V. F. Camacho Ibar, L. G. Mendoza Espinosa, A. L. Quintanilla Montoya y K. C. Lugo Ibarra (2008), "Fluoride, nitrate and water hardness in groundwater supplied to the rural communities of Ensenada County, Baja California, Mexico", *Environmental Geology*, doi 10.1007/s00254-008-1512-9.
- ECKSTEIN, Y. y G. E. Eckstein (2005), "Transboundary aquifers: conceptual models for development of International Law", *Ground Water*, vol. 43, no. 5, pp. 679-690.
- ESTELLER, M. V., R. Rodríguez, A. Cardona y L. Padilla Sánchez (2012), "Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: study cases from Mexico", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, no. 9, pp. 5725-574, doi 10.1007/s10661-011-2376-0.
- FREEZE, A. y J. A. Cherry (1979), *Groundwater*, Prentice Hall.
- FREEZE, R. A. y P. A. Witherspoon (1966), "Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model", *Water Resources Research*, vol. 2, no. 4, pp. 641-656.
- FREEZE, R. A. y P. A. Witherspoon (1967), "Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. Effect of water table configuration and subsurface permeability variation", *Water Resources Research*, vol. 4, no. 3, pp. 581-590.
- GARFIAS, J., N. Arroyo y R. Aravena (2009), "Hydrochemistry and origins of mineralized waters in the Puebla aquifer system, Mexico", *Environ Earth Sciences*, doi 10.1007/s12665-009-0161-y.
- HAYTON, R. D. y A. E. Utton (1992), "Aguas subterráneas transfronterizas: Anteproyecto de Tratado de "Bellagio"", *Natural Resources Journal*, no. 32, pp. 345-414.
- HUÍZAR Álvarez, R., J. J. Carrillo Rivera, G. Ángeles Serrano, T. Hertg y A. Cardona (2004), "Chemical response to groundwater abstraction southeast of Mexico City", *Hydrogeology Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 436-450.
- INTERNATIONAL Law Association (1966), *The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers*, Helsinki [<http://www.fao.org/docrep/005/W9549E/w9549e08.htm#bm08..4.10.1>, enero 2, 2015].
- INTERNATIONAL Law Association (1986), *Rules on International Groundwaters - Seoul* [<http://www.fao.org/docrep/005/W9549E/w9549e08.htm#bm08..4.10.10>, enero 2, 2015].
- LLAMAS, M. R. M. (2005a), *Lecciones aprendidas en tres décadas de gestión de las aguas subterráneas en España y su relación con los ecosistemas acuáticos*, Universidad Autónoma de Madrid y Fundación IFGB, España.
- LLAMAS, M. R. M. (2005b), *Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos*, Discurso Inaugural, Real Academia de Ciencias Exs., Físicas y Naturales, Madrid, España.
- L'VOVICH, M. I., G. F. White, A. V. Beryaev, J. Kindler, N. I. Koronkevic, T. R. Lee y G. V. Voropaev (1995), "Use and transformation of terrestrial water systems", in Turner II, B. L. (ed.), *The Earth as transformed by Human Action*, no. 14, Cambridge University Press, pp. 235-252.
- MACGREGOR Gutiérrez, M. T. (1987), "Redistribution de la population urbaine du Mexique 1900-1980", *Reserches de Geographie Urbaine*, tome 1, Société Geographique de Liège, pp. 195-205.

- MATUS, J. A. P. (2011), *Panoramas de las causas de los conflictos por el agua en México: nuevas líneas de investigación para su prevención y solución*, Crim-Files-U Oswald, C37, pp. 431-438.
- ORTEGA Guerrero, M. A. (2009), “Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 26, núm. 1, pp. 143-161.
- ORTIZ Zamora, D. C. y M. A. Ortega Guerrero (2010), “Evolution of long-term land subsidence near Mexico City: Review, field investigations and predictive simulations”, *Water Resources Research*, vol. 46, W01513, doi:10.1029/2008WR007398.
- PEÑUELA, L. A., G. García Rubio y J. J. Carrillo Rivera (2015), “Importancia del agua subterránea en la conservación de los ecosistemas”, en *Biodiversidad en el Distrito Federal: Estudio de Estado. Sección Medio Físico*. GDF, DGZVS y Conabio.
- RAE (2011), *Diccionario de la lengua española*, 22ª ed., Espasa libros, Madrid.
- REYES Gómez, V. M., M. T. Alarcón Herrera, M. Gutiérrez y D. Núñez López (2013), “Fluoride and Arsenic in an Alluvial Aquifer System in Chihuahua, Mexico: Contaminant Levels, Potential Sources, and Co-occurrence”, *Water Air Soil Pollut*, 224:1433, doi 10.1007/s11270-013-1433-4.
- RIVERA, A. (2008), “Groundwater Sustainable Development in Canada. Emerging Issues”, *Geoscience Canada*, June, pp. 73-87.
- SCOTT, C. A., S. Megdal, L. A. Oroz, M. Mexía y H. Ramos (2008), “Building Shared Vision: Assessment of Transboundary Aquifers along the United States – Mexico Border”, *Conference on Water Scarcity, Global Changes, and Groundwater: Management Responses*, Unesco-University of California, Irvine, California, pp. 1-15.
- SEMARNAT (2013), “Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican”, *Diario Oficial de la Federación*, México.
- SEMARNAT (2015), “Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”, *Diario Oficial*, México.
- SHIKLOMANOV, I. A. y J. C. Rodda (2003), “World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century”, *International Hydrology Series*, Cambridge University Press.
- TÓTH, J. (1995), “Hydraulic continuity in large sedimentary basins”, *Hydrogeology Journal*, vol. 3, no. 4, pp. 4-16.
- TÓTH, J. (2009), *Gravitational systems of groundwater flow: Theory, Evaluation, Utilization*, Cambridge University Press, London.
- US Congress 109<sup>th</sup> (2006), *Public Law 109-448 United States-Mexico Transboundary Aquifer Assessment Act.*, Washington, DC, US Congress.
- UNESCO (2006), *Water: A Shared Responsibility: The Second United Nations World Water Development Report*, World Water Assessment Program, ONU, New York.
- UNESCO (2008), *Marco Legal e Institucional en la Gestión de los Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas*, Unesco/Serie ISARM Américas, Montevideo.
- UNESCO (2014), *The United Nations World Water Development Report 2014*, Paris.
- VARELA González, G. G., A. García Pérez, R. Huízar Álvarez, M. E. Irigoyen Camacho y M. M. Espinoza Jaramillo (2013), “Fluorosis and Dental Caries in the Hydrogeological Environments of Southeastern Communities in the State of Morelos, Mexico”, *Journal of Environmental Protection*, vol. 4, no. 9, Article ID:36972, 8 pages, doi 10.4236/jep.2013.49115.
- WARD, R. C. (1967), *Principles of Hydrology*, McGraw-Hill, London.

## Glosario

**Agua subterránea.** Es el agua que se encuentra debajo del nivel del suelo, independientemente del material que la contenga y de su dirección de trayectoria, que puede ser: hacia abajo (zona de recarga), lateral, y hacia arriba (descarga); esto es, incluye el agua que viaja por la zona no-saturada hacia el nivel freático (o superficie de saturación) y la que ya está formado parte de la zona saturada.

**Demanda.** Una definición es la legal, para presentar una inconformidad formal de un acto culposo ante la autoridad competente; en economía, su definición se liga con la ecuación que explica: “si la producción no satisface la demanda hay escasez” (recordar que el agua no se produce); invocar la demanda de agua por una ciudad implica un caudal que incluye las pérdidas involucradas en hacer llegar el agua necesaria al usuario.

**Escasez.** Es un término o vocablo abstracto desde la visión de la Economía buscando cambiar la realidad natural, al no hacer clara referencia al contexto incierto del mercado; así, se dice que *un elemento es escaso cuando es solicitado por muchos usuarios*; bajo esta lógica donde el término usuario es ambiguo: *el agua y aire son escasos*, ya que lo usan todos los seres vivos y elementos inorgánicos del ambiente (*ie*, minerales en su proceso de oxidación); adicionalmente, se dice que el agua se torna escasa por el incremento del número de usuarios (de nuevo, usuario necesita claridad). Desde la perspectiva de las *ciencias* no se asignaría el mismo término a dos o más conceptos o procesos contrastantes; además el término *escasez* se vincula con *demanda*, lo cual adiciona problemas subjetivos a la sociedad para justificar la privatización del agua.

**Recurso.** La temática de la economía ha arrollado a la del agua buscando cambiar la perspectiva de la realidad, su meta es olvidar su cualidad de elemento natural soporte de la vida, se ha influido en la sociedad cambiando el significado del agua como elemento natural o al que se puede aducir como *fuentes*, por uno de mercado: *recurso*, palabra cuyo uso se recomienda evitar para que el agua no sea considerada objeto de compraventa.

**Sobreexplotación.** Palabra obligada en el discurso de quien se considera inmerso en el conocimiento sobre el agua, en particular de la subterránea; su definición es inexistente en las leyes mexicanas, en el diccionario de la lengua, solo existe referencia hasta la versión de la Real Academia de la Lengua Española (2001), incorporando el concepto vertido en la Ley de Aguas Española de 1985 refiriéndose que existe el caso en que *un acuífero esté sobreexplotado* o en el riesgo de estarlo, cuando la sustentabilidad del uso existente del agua está en peligro inmediato debido a que la extracción es mayor o cercana a la recarga media anual; aparte de cómo en España se evalúe el agua subterránea, en México y en muchas otras partes del mundo se sabe: *i)* que los efectos negativos de una extracción dada son ajenos a que la recarga sea menor que la extracción; *ii)* que en muchos casos el establecer como conocido el valor de la recarga (*ie*, *recarga media anual*) no es resultado de la aplicación clara del método científico y de una concepción satisfactoria del sistema de donde provienen los datos analizados, *iii)* usualmente se evalúa una parte del acuífero en cuestión, y no en todas las unidades geológicas que lo conforman, y *iv)* es común se desconozca el valor real de la extracción.