

GESTIÓN DEL AGUA EN MÉXICO

Sustentabilidad y gobernanza

Ismael Aguilar Benítez
(coordinador)



Gestión del agua en México

Sustentabilidad y gobernanza

Gestión del agua en México

Sustentabilidad y gobernanza

Ismael Aguilar Benitez

(coordinador)



Gestión del agua en México : sustentabilidad y gobernanza / Ismael Aguilar Benítez, coordinador. — Tijuana : El Colegio de la Frontera Norte, 2020.

12.3 MB

ISBN: 978-607-479-342-0

1. Agua – Abastecimiento – México. 2. Desarrollo de recursos hidrológicos – México – Política gubernamental. 3. Cuencas hidrológicas – México. I. Aguilar Benítez, Ismael.

TD 228 .A1 G4 2020

Esta publicación fue sometida a un proceso de dictaminación doble ciego por pares académicos externos a El Colef, de acuerdo con las normas editoriales vigentes en esta institución.

Primera edición, febrero de 2020

D. R. © 2020 El Colegio de la Frontera Norte, A. C.
Carretera escénica Tijuana-Ensenada km 18.5
San Antonio del Mar, 22560
Tijuana, Baja California, México
www.colef.mx

ISBN: 978-607-479-342-0

Coordinación editorial: Érika Moreno Páez
Corrección y formación: Blanca Elena Quiriarte Fernández
y María Bernal
Última lectura: Estefanía Amaro López
Diseño de cubierta: María Bernal

Hecho en México/*Made in Mexico*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

- Desarrollo sustentable y gobernanza del agua en México 9
Ismael Aguilar Benítez, José Luis Castro Ruiz, Alfonso Andrés Cortez Lara y Gabriela Muñoz Meléndez

GOBERNANZA DEL AGUA

- Gobernanza y cooperación binacional en la gestión 33
del agua: La cuenca baja del río Bravo
José Luis Castro Ruiz y Alfonso Andrés Cortez Lara

- Cambio climático y riego: Retos para la gobernanza 59
y adaptación institucional en el manejo de aguas
transfronterizas del bajo río Colorado en el Valle
de Mexicali

Alfonso Andrés Cortez Lara y José Luis Castro Ruiz

GESTIÓN Y USOS DEL AGUA

- El uso doméstico urbano del agua en el contexto 97
de subregiones hidrológicas: Bajo Grijalva,
Valle de México y San Juan

Ismael Aguilar-Benítez

Propuesta para la delimitación de las zonas de disponibilidad 141
de agua subterránea en México con base en criterios
de sustentabilidad

José Luis Manzanares

El papel de la tecnología en el manejo del agua 169
del sector agrícola de Baja California, México, y su impacto
en el desarrollo regional

Óscar Alberto Pombo

VÍNCULO AGUA Y ENERGÍA

El vínculo agua-energía-desarrollo urbano en ciudades 197
de la frontera norte

Gabriela Muñoz Meléndez

Gas de lutitas y desarrollo sustentable en México: Efectos 223
al medio ambiente y conflicto social

Gustavo Córdova Bojórquez

Conclusiones Generales 257

ACERCA DE LOS AUTORES 263

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO SUSTENTABLE Y GOBERNANZA DEL AGUA EN MÉXICO

Ismael Aguilar-Benitez / José Luis Castro Ruíz /
Alfonso Andrés Cortez Lara / Gabriela Muñoz Meléndez

Según proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas, la población mundial aumentará de 7 550 millones en 2017 a 8 500 millones en 2030 y a 9 700 millones en 2050 (ONU, 2017). La mayoría de ese crecimiento poblacional se registrará en los países y en las regiones menos desarrollados. Si las tendencias actuales de consumo persisten, el planeta requerirá un aumento aproximado de 30 por ciento en el suministro de agua o de una reducción en el uso de agua per cápita, para adaptarse a ese crecimiento (Means III, 2012). Se espera que el agua necesaria para ese crecimiento poblacional provenga de cuencas y acuíferos que ya sufren estrés hídrico, lo cual tendrá grandes impactos sociales, económicos y ambientales. Adicionalmente, la competencia por el recurso hídrico entre los distintos usuarios se puede volver más intensa ante una mayor incertidumbre sobre el agua disponible. Esta situación plantea la necesidad de una mejor comprensión de la forma actual en que se administra y gestiona el agua, así como de las condiciones reales de su disponibilidad.

El reto consiste no solamente en asegurar el suministro de agua para el desarrollo en el corto plazo sino en hacerlo de manera sustentable. Garantizar el desarrollo sustentable implica que se dispone de cantidades adecuadas de agua con la calidad necesaria, de manera confiable a corto, mediano y largo plazo. Bajo la actual gestión del agua en México, es poco probable que esto sea posible.

En México, la gestión del agua ha estado enfocada en la práctica a satisfacer los requerimientos del recurso para sus distintos usos; principalmente agrícola, industrial y doméstico urbano. Se ha dado muy poca atención a los aspectos ambientales, las necesidades de los ecosistemas, o a una adecuada gobernanza del agua en la que los distintos usuarios participen en esa gestión. La preocupación central de este tipo de gestión es la aparente escasez del agua para las zonas urbanas que se pretende remediar con medidas tradicionales como buscar nuevas fuentes con una mayor inversión en infraestructura. Un indicador claro del enfoque de gestión del agua urbana que se presenta en México es el monto de inversión que se destina a los llamados proyectos estratégicos (Conagua, 2017). Por un lado, es evidente la concentración de la inversión a corto plazo en infraestructura en la Ciudad de México, siguiendo un modelo centralizado de desarrollo. Por otro lado, se priorizan los rubros tradicionales de gran infraestructura que caracterizan el enfoque lineal tomar-usar-desechar. El Valle de México, con la Ciudad de México como centro de atención, concentra 47 por ciento de la inversión total en proyectos estratégicos para agua potable y saneamiento. Estos proyectos también se proponen para otras grandes ciudades del sistema urbano del país: Guadalajara, Monterrey, León, Guanajuato, San Luís Potosí y Acapulco, entre otras. Proyectos como: presas, construcción de acueductos y plantas para tratamiento de aguas residuales absorben la otra mitad del presupuesto.

Los acueductos que llevan agua desde fuentes lejanas hacia las grandes urbes son de los proyectos privilegiados en este

enfoque, algunos ejemplos son: Sistema Cutzmala, Etapa IV (827 km); Acueducto Tecolutla-Necaxa (131 km); tercera línea del sistema Cutzamala (77.6 km) y Monterrey VI (372 km). Los proyectos para desalojar aguas residuales de las ciudades constituyen otro concepto del enfoque lineal, los ejemplos más claros son el Túnel Emisor Oriente (62 km) y el Túnel Emisor Poniente II (9.8 km) para la Ciudad de México. El mantenimiento y la rehabilitación de las fuentes de abastecimiento de agua no figuran en la gestión que promueve esas inversiones. Tampoco se consideran los proyectos para promover el reuso directo o el intercambio entre usos. Bajo esa perspectiva lineal no se consideran la falta de información sobre la disponibilidad real de agua, las limitaciones e inconsistencias que tiene la actual delimitación de las unidades hidrológicas naturales, cuencas o acuíferos, o los problemas para una adecuada administración. Tampoco se considera la eficiencia con la cual se utiliza el agua para determinar las necesidades reales para un uso racional y sostenible en cada uno de los llamados usos consumtivos. Menos aún se incluyen las complejas relaciones del uso del agua con aspectos de energía, o si se hace es desde una perspectiva tradicional como insumos para la actividad económica o desde una perspectiva de eficiencia. Entonces, es importante que los problemas provocados por una visión tradicional del manejo y administración del agua en México se analicen bajo un enfoque de desarrollo sustentable.

En el marco del desarrollo sustentable, garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible es uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) prioritarios (objetivo 6), se persigue también que las zonas urbanas sean resilientes y sostenibles (objetivo 11). Ambos objetivos no se podrán lograr sin considerar la sostenibilidad del contexto hidrológico en el cual se asientan las poblaciones urbanas.

En el contexto internacional, en diciembre de 2016 la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó por unanimidad la resolución Decenio Internacional (2018-2028) para

la Acción-Agua para el Desarrollo Sostenible con el propósito explícito de promover una mayor atención a la problemática del agua durante diez años. De acuerdo con esa resolución; el decenio se concentrará en el desarrollo sostenible y la gestión integrada de los recursos hídricos para el logro de los objetivos sociales, económicos y ambientales, así como en la aplicación y promoción de programas y proyectos conexos. Otros aspectos que incluye la resolución son la promoción de la cooperación y la asociación en todos los niveles para ayudar a alcanzar las metas y los objetivos relacionados con el agua, acordados internacionalmente e incluidos los que figuran en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Desafortunadamente, la experiencia reciente sobre la implementación de las buenas intenciones contenidas en las resoluciones de la ONU no se ha reflejado en un cambio de perspectiva en la gestión del agua en nuestro país. Dos conceptos que se encuentran en la base del planteamiento de esa resolución son: desarrollo sustentable y gobernanza del agua. En este libro se parte de esos conceptos para formular, a partir de estudios de caso, propuestas de mejora en la gestión del agua. La hipótesis general que sustenta este libro es que la aplicación de un enfoque de desarrollo sustentable y gobernanza del agua puede aportar a la mejora en la gestión del agua en México. En los siguientes apartados se revisan brevemente estos conceptos.

Desarrollo sustentable y agua

El desarrollo de actividades humanas que se asumen como indispensables para el crecimiento económico, identificado con la mejora en el grado de desarrollo social, tiene un alto impacto en el medio ambiente y de manera muy particular en el agua. Esto plantea un profundo dilema porque el paradigma predominante de desarrollo económico permanece en gran medida ajeno a los riesgos ambientales a escala planetaria (Rockström *et al.*, 2009). Como una alternativa a esta visión que equipara crecimiento económico con desarrollo, se ha propuesto el enfoque de desarrollo sustentable.

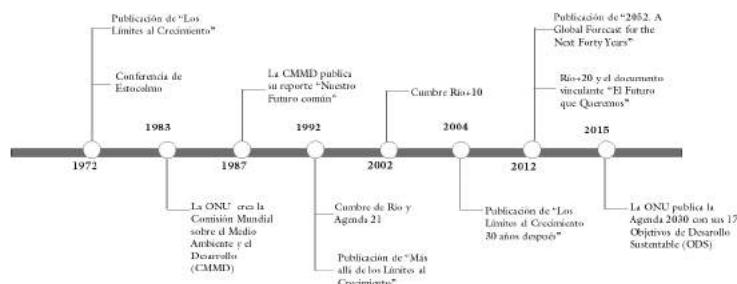
El término *desarrollo sustentable* fue acuñado en 1987 en el informe *Nuestro futuro común* de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).¹ Este documento, mejor conocido como *Informe Brundtland*, es reconocido por dos elementos, el primero es el mensaje principal de que no puede haber un crecimiento económico sostenido sin un medio ambiente sostenible en tanto que el segundo es la definición del concepto desarrollo sustentable como «el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» (ONU, 1987).

Si bien se reconoce el momento en que el término nace, es menos claro cuándo inicia su gestación. Se han identificado nociones del concepto que datan de 1864 en el libro «Man and Nature» de George Perkins, de 1949 en «A Sand County Almanac. And Sketches here and there» de Aldo Leopold y de 1961 en «The Silent Spring» de Rachel Carson. Sin embargo, si de puntos de arranque se trata, el inicio del proceso formativo del concepto desarrollo sustentable más bien se remontaría a inicios de la década de los setenta del siglo XX, tiempo que se vio convulsionado por el advenimiento de crisis mundiales con altas tasas de inflación, bajas tasas de crecimiento, aumento del desempleo y deterioro ambiental innegable. Hechos todos que llevaron a cuestionar los postulados e incluso el significado del modelo de desarrollo practicado hasta entonces, en aquel tiempo inicia una larga búsqueda de marcos teórico-conceptuales alternativos del desarrollo.

¹ La traducción al español del informe (A/42/27) usa el término desarrollo duradero aunque en otras ocasiones dentro del mismo documento también se usa el término *desarrollo sostenido*. Casi desde la creación del término hay un debate si el término correcto es *sustentable* o *sostenible*; y aunque hay acuerdo en sus aseveraciones gramaticales esgrimidas del uso -incorrecto- del anglicismo; lo cierto es que el adjetivo *sustentable* ya ha sido adoptado tan extensamente que en la actualidad ambos se entienden como sinónimos.

A la par que inician las publicaciones encargadas por el Club de Roma acerca de las consecuencias del crecimiento global acelerado o la serie sobre los límites al crecimiento; y las conferencias y cumbres de la tierra de la ONU que muestran la evolución de los planteamientos interizar hacia un modelo de desarrollo que considere los recursos naturales (Castillo, 2015) (ver figura 1).

Figura 1. Línea del tiempo de las publicaciones comisionadas por el Club de Roma y las convenciones y cumbres de la tierra de la ONU



Fuente: Elaboración propia.

Es precisamente en esa larga búsqueda de marcos teórico-metodológicos, y dada la ambigüedad del término desarrollo sustentable en su aplicación y alcance, que éste ha sido abordado desde diversas perspectivas teóricas. Para 1996, Bergh y Jeroen identificaron doce puntos de vista teóricos (ver cuadro 1).

Es bajo una perspectiva sistémica que Gallopin (2003) señala que desarrollo sostenido² es diferente de sostenibilidad, en cuanto a que el primero designa un proceso de cambio direccional, mediante el cual el sistema mejore de manera sostenible a través del tiempo; esto no significa que la sostenibilidad sea inmóvil, sino que no decrece en la evaluación de las salidas

² El autor hace una detallada explicación de la diferencia entre los términos sustentable y sostenible y la razón por la que prefiere el uso del último.

Cuadro 1. Puntos de vista teóricos sobre el desarrollo sustentable

Teoría	Caracterización
Neoclásica-equilibrio	Bienestar no decreciente (antropocéntrico); crecimiento sostenido basado en tecnología y substitución; optimiza las externalidades ambientales; mantiene el acervo agregado de capital natural y económico; los objetivos individuales entran en conflicto; la política de largo plazo se basa en soluciones de mercado.
Neoaustriáca-temporal	Secuencia teleológica de adaptación consciente y orientada al logro de las metas; previene los patrones irreversibles; mantiene el nivel de organizaciones (negentropía) del sistema económico; optimiza los procesos dinámicos de extracción, producción, consumo, reciclaje y tratamiento de desechos.
Ecológico-evolutiva	Mantiene la resiliencia de los sistemas naturales, contemplando márgenes para fluctuaciones y ciclos (destrucción periódica); aprende de la incertidumbre de los procesos naturales; no dominio de las cadenas alimentarias por los seres humanos; fomento de la diversidad genética/biótica/ecosistémica; flujo equilibrado de nutrientes en los ecosistemas.
Tecnológico-evolutiva	Mantiene la capacidad de adaptación coevolutiva en términos de conocimientos y tecnologías para reaccionar a la incertidumbre; comenta la diversidad económica de actores, sectores y tecnologías.
Físico-económica	Restringe los flujos de materiales y energía hacia y desde la economía; metabolismo industrial basado en política de cadena materiales-productos: integración de tratamiento de desechos, mitigación, reciclado y desarrollo de productos.
Biofísico-energético	Estado estacionario con transflujo de materiales y energía mínima; mantiene el acervo físico y biológico y la biodiversidad; transición a sistemas energéticos que producen un mínimo de efectos contaminantes.
Sistémico-ecológica	Control de los efectos humanos directos e indirectos sobre los ecosistemas; equilibrio entre los insumos y productos materiales de los sistemas humanos; minimización de los factores de perturbación de los ecosistemas, tanto locales como globales.
Ingeniería-ecológica	Integración de las ventajas humanas y de la calidad, y funciones ambientales mediante el manejo de los ecosistemas; diseño y mejoramiento de las soluciones ingenieriles en la frontera entre la economía, la tecnología y los ecosistemas; aprovechamiento de la resiliencia, la auto-organización, la autorregulación y las funciones de los sistemas naturales para fines humanos.

(continúa)

(continuación)

<i>Teoría</i>	<i>Caracterización</i>
Ecología humana	Permanencia dentro de la capacidad de carga (crecimiento logístico); escala limitada de la economía y la población; consumo orientado a la satisfacción de las necesidades básicas; ocupación de un lugar modesto en la red alimentaria del ecosistema y la biosfera; tiene siempre en cuenta los efectos multiplicadores de la acción humana en el tiempo y el espacio.
Socio-biológica	Conservación del sistema cultural y social de interacciones con los ecosistemas; respeto por la naturaleza integrado en la cultura; importancia de la supervivencia del grupo.
Histórico-institucional	Igual atención a los intereses de la naturaleza, los sectores y las generaciones futuras; integración de los arreglos institucionales en las políticas económicas y ambientales; creación de apoyo institucional de largo plazo a los intereses de la naturaleza; soluciones holísticas y no parciales, basada en una jerarquía de valores.
Ético-utópica	Nuevos sistemas individuales de valor (respeto por la naturaleza y las generaciones futuras, satisfacción de las necesidades básicas) y nuevos objetivos sociales (estado estacionario); atención equilibrada a la eficiencia, distribución y escala; fomento de actividades en pequeña escala y control de los efectos secundarios ("lo pequeño es hermoso"); política de largo plazo basada en valores cambiantes y estimulante del comportamiento individualista (egoísta).

Fuente: Berg y Jeroen (1996)

o productos del sistema analizado. Así para lograr la sostenibilidad de un sistema se requiere del desarrollo sostenible. Atkinson y Pearce (1992) acuñaron los conceptos de sostenibilidad débil y fuerte. En tanto que Turner (1993) los subdividió en muy débil, débil, fuerte y muy fuerte. En el cuadro 2 se describen brevemente los grados de sostenibilidad.

Hacia 2009 aparece un concepto nuevo que tendría que llevar a otro nivel el debate de la acepción del desarrollo sustentable: límite planetario (Rockström *et al.*, 2009) o la capacidad de la biosfera para recuperarse de las perturbaciones antropogénicas y regresar a un estado estable. Los autores identificaron nueve procesos clave que mantienen la integridad del sistema planetario; siete de ellos habían sido cuantificados: el cambio climático, el agotamiento de la capa

Cuadro 2. Grados de sostenibilidad

<i>Grado</i>	<i>Descripción</i>
Sostenibilidad muy débil	Todo el stock de activos de capital se mantiene estable en el tiempo; completa sustitución entre capital humano y natural. Vínculo esencial entre la voluntad de pagar y el desarrollo sostenible.
Sostenibilidad débil	Límites establecidos en el uso del capital natural. Existe capital natural que es crítico, y, por tanto, insustituible. Relacionado con el principio de precaución o los estándares de seguridad mínima. La compensación es todavía posible.
Sostenibilidad fuerte	No todas las funciones y servicios de los ecosistemas pueden ser valorados económicamente de forma correcta. La incertidumbre supone que independientemente de los beneficios sociales conocidos, no se debe permitir la pérdida de capital natural crítico.
Sostenibilidad muy fuerte	El estado de equilibrio del sistema económico debe estar basado en los límites y restricciones termodinámicas. El movimiento de materias primas y de energía debería ser minimizado.

Fuente: Turner (1993).

de ozono, la acidificación de los océanos, el uso de agua dulce, los ciclos biogeoquímicos del fósforo y nitrógeno, la integridad de la biosfera, los cambios en los sistemas de tierras y diversidad biológica; y dos no: la carga atmosférica de los aerosoles y la contaminación química. Para 2015, Steffen y otros encontraron que, de ser rebasados, tres de esos procesos clave (cambio climático, agotamiento de la capa de ozono y acidificación de los océanos) podrían llevar el sistema planetario a un nuevo estado.

El enfoque de los límites planetarios puede caracterizarse en tres grandes grupos o temas de investigación (Rockström *et al.*, 2009). El primero se enfoca a la escala de la acción humana en relación con la capacidad de la Tierra para sustentarla, identificada con la economía ecológica, en la cual el papel esencial del ambiente natural es el de ser soporte vital para el bienestar humano. El segundo se forma con los trabajos que proponen la comprensión de los procesos sistémicos esenciales de la Tierra, en los cuales se incluyen las acciones humanas. El tercer grupo

parte del concepto de la resiliencia, analizando dinámicas complejas y sus vínculos con la autorregulación de los sistemas vivos.

En el caso del agua, estos temas se interrelacionan; lo cual puede observarse en el intento de establecer un límite planetario para su uso. Las precipitaciones que caen sobre la superficie de la tierra pueden clasificarse en *agua verde* o la porción almacenada en el suelo y potencialmente disponible para ser absorbida por las plantas, mientras que se le llama *agua azul* a la que fluye hacia arroyos y ríos, o se infiltra debajo de la zona de enraizamiento en un acuífero subterráneo. El flujo principal de agua verde es por evapotranspiración desde el suelo a la atmósfera, mientras que el agua azul se mueve a través del sistema de canales en la superficie de la tierra o a través del espacio poroso de un acuífero. Un límite planetario para los recursos de agua dulce, según el enfoque de límites planetarios, debe asegurar que suficiente agua verde fluya para regenerar la precipitación, permitir el aprovisionamiento para el funcionamiento y los servicios del ecosistema terrestre (p. captura de carbono, crecimiento de biomasa, comida, producción y diversidad biológica) y asegurar la disponibilidad de recursos de agua azul para ecosistemas acuáticos. Rockström *et al.* (2009) estiman que transgredir un límite de ~ 4 000 km³ año-1 de uso consuntivo de agua azul aumentará significativamente el riesgo (colapso de ecosistemas terrestres y acuáticos, cambios importantes en la retroalimentación de la humedad y mezcla de agua dulce/océano) a escalas regionales y continentales.

Gobernanza del agua y desarrollo sustentable

La gobernanza (del anglosajón *governance*) es un término que ha ganado presencia para definir una nueva forma de gobernar más cooperativa, diferente al antiguo modelo jerárquico de gobierno, en el que las autoridades ejercían un poder soberano sobre los grupos y ciudadanos que constituían la sociedad civil (Mayntz, 2001).

Mayntz (2006) define tres componentes fundamentales de la gobernanza en el estado moderno:

- 1) Las relaciones de cooperación horizontales en el marco de la coordinación interministerial entre distintas secciones de un gobierno.
- 2) Un gran número de estructuras en red, compuestas por actores estatales y no estatales, comúnmente denominadas redes de políticas.
- 3) La autorregulación social en las instituciones, ya sea voluntariamente o por disposición del estado (cámaras, sistemas de negociación).

Por otro lado, Aguilar (2007, p. 7) subraya que en respuesta a los problemas de eficacia directiva típica de los gobiernos, dos líneas de explicación que se ofrecen se refieren a sendos enfoques complementarios: la gobernabilidad y la gobernanza. La gobernanza incluye a la gobernabilidad pero requiere de la existencia de un proceso de dirección de la sociedad que ya no es equivalente a la sola acción directiva del gobierno sino que toman parte otros actores, es decir que se pasa de un estilo jerárquico centralizado a un estilo de gobernar asociado e interdependiente entre organismos gubernamentales, organizaciones privadas y sociales. El autor establece también que la gobernanza moderna explica la descentralización, la multipolaridad y el carácter de sistema que caracteriza al actual proceso de dirección de la sociedad.

Aunque continúa siendo objeto de debate, el reconocimiento de la gobernanza como un elemento fundamental para enfrentar los desafíos globales del desarrollo sustentable se ha consolidado paulatinamente en las últimas dos décadas (Clark, 2012). Un antecedente importante fue la Declaración del Milenio, adoptada en 2000 por los líderes mundiales, la que estableció la relación vital entre la buena gobernanza, el desarrollo y los derechos humanos. A este punto siguió una experiencia de más de una década de progresos y desafíos en torno al desarrollo, posicionando a la gobernanza como un elemento esencial reflejado en las llamadas Metas del Desarrollo Sustentable de 2015 (United Nations Development Program [UNDP], 2014). Posteriormente, la asamblea general de

la ONU, en su resolución 66/288 de junio de 2012 estableció en turno que la democracia, la buena gobernanza y el estado de derecho a los niveles nacionales e internacionales, así como un medio ambiente idóneo son fundamentales para un desarrollo sustentable, incluyendo un crecimiento económico sustentable e incluyente, la protección ambiental y la erradicación de la pobreza y el hambre.

Una pregunta que se plantea como central en torno a la relación entre desarrollo sustentable y una buena gobernanza, se refiere a cómo esta última puede contribuir al primero. Un aspecto fundamental está relacionado con la naturaleza de la gobernanza en este contexto. En este sentido, Clark (2012) menciona tres características fundamentales que debe tener esa buena gobernanza para que sea efectiva ante los desafíos globales del desarrollo sustentable. Primero, se requiere de una gobernanza activa que anticipa y responda a las necesidades de los ciudadanos y a los desafíos de un desarrollo evolutivo, donde las instituciones gubernamentales sean capaces de suministrar servicios confiables y de calidad, en el lugar y momento que se necesiten. Segundo, los desafíos del desarrollo sustentable ante el complejo contexto que enfrentan los países en la actualidad, demandan políticas que integren e interconecten objetivos de crecimiento económico, reducción de la pobreza, desarrollo social, equidad y sustentabilidad. Tercero, la gobernanza debe ser justa y capaz de rendir cuentas, para construir sociedades estables y seguras, en un clima de confianza entre gobierno y sociedad.

Entre las prioridades que se han establecido para la gobernanza en el marco de la llamada agenda post-15, que antecedió a las metas del desarrollo sustentable de 2015, están la necesidad de una planeación a largo plazo que promueva la equidad intergeneracional; además de integrar las diferentes dimensiones que conforman una política de desarrollo sustentable, tratando de ir más allá de los niveles sectoriales que manejan la mayoría de los países en sus marcos institucionales y de planeación, así como promover la innovación y la colaboración (UNDP, 2014).

La gobernanza del agua: evolución a partir de la conceptualización general

De acuerdo con Domínguez (2007), el concepto de gobernanza del agua no ha sido bien definido en el ámbito nacional y se usa para referirse a otras cosas como la conflictividad y la movilidad en torno al agua, a aspectos físicos, o a la gestión. La autora puntualiza que la gobernanza del agua incluye temas relacionados con la mejora en la capacidad institucional, los marcos legales y la distribución de los recursos; pero además, elementos mucho más importantes en la conformación de las decisiones en torno a la gestión del agua. Es decir, los procesos y comportamientos que influyen en el ejercicio del poder o la inclusión en la toma de decisiones de todos los agentes involucrados, lo que a su vez implica la apertura, la participación, la responsabilidad, la eficacia y la coherencia.

El ámbito ideal y fundamental de la gobernanza del agua es el local, aunque la mayoría de las veces obedece a los contextos regionales, nacionales e internacionales, como es el caso de las aguas compartidas entre dos estados o países, respectivamente. Es por ello que se puede observar un espectro amplio de organizaciones relacionadas con la gestión, administración y operación de un recurso hídrico de uso común en una misma localidad. No obstante lo anterior, es en el ámbito internacional donde la gobernanza del agua adquiere gran relevancia y fuerza, ya que se desarrollan las multiplicidades y la complejidad que el concepto presupone. Kooiman (1993) establece que la gobernanza hídrica implica aspectos interconectados tales como:

- 1) Nuevas tecnologías de información y comunicación.
- 2) Múltiples actores.
- 3) Múltiples enfoques.
- 4) Múltiples niveles, tales como supranacional, nacional, regional, transfronterizo, federal, estatal y municipal.
- 5) Poder policéntrico.
- 6) Contextos complejos.

Lo anteriormente expuesto implica la posibilidad siempre latente del conflicto en torno al agua, por su propia naturaleza de recurso de uso común, escasez y alta competencia entre los diferentes sectores de usuarios y regiones; y son de hecho los esquemas y enfoques de gobernanza los que buscan abordarlo de la manera más efectiva e inteligente. Sin embargo, es evidente que los conflictos por el agua en México han ido incrementando conforme la disponibilidad del vital líquido disminuye. Es bien sabido que la disponibilidad natural media de agua en el territorio nacional es altamente variable, además se estima que ésta disminuirá paulatinamente para pasar de los 4 090 en la actualidad, a 3 800 m³/hab/a en el año 2030 y en las zonas áridas y semiáridas bajaría incluso hasta los 1 000 m³/hab/a (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2012).

En este orden de ideas, Pacheco-Vega (2014, p. 158) compagina los temas de gobernanza del agua y los recursos de uso común. El autor establece que la aplicación de la teoría de recursos comunes de Ostrom continúa teniendo una gran variedad de usos y señala que la escala analítica se ha expandido sustancialmente. Subraya que ya no se analizan solamente bienes comunes –como el agua– dentro de la misma área fronteriza, sino que el análisis multiescalar prevalece, con investigaciones que cruzan fronteras de países. El autor ejemplifica con los estudios realizados por Alfonso Andrés Cortez Lara en materia de gestión transfronteriza de recursos hídricos de la cuenca binacional del río Bravo y señala que este tipo de estudios son importantes ya que las reglas de interacción entre actores cambian de acuerdo con el país.

El agua está vinculada a todas las actividades humanas. De manera recíproca, todas las actividades humanas tienen impactos directos e indirectos sobre el agua, tanto en términos de cantidad como de calidad. En las próximas décadas, los desarrollos en otras áreas y sectores, así como las percepciones cambiantes y las actitudes de los seres humanos hacia el agua tendrán una influencia significativa en su gestión (Biswas, Rohner y Tortajada, 2018). Las actividades en otras áreas afectarán cada

vez más las prácticas y procesos de gestión del agua a través de muchos caminos conocidos y desconocidos. Esto plantea retos para el análisis de la gestión del agua que requieren paradójicamente de enfoques holísticos, pero también de análisis particulares. En este libro se abordan estudios de caso que, aunque parten de perspectivas teóricas relacionadas con los enfoques de gobernanza y desarrollo sustentable, se aplican al análisis específico de problemáticas del agua en México.

El libro se organiza en tres apartados, para lo cual se tomaron en cuenta el enfoque y los temas que analiza cada trabajo: gobernanza del agua; disponibilidad y usos del agua; y el vínculo agua-energía. En el primer apartado se tiene una conexión evidente con el marco conceptual de gobernanza del agua planteado en esta introducción. Los autores parten del concepto de gobernanza para su análisis a partir de dos estudios de caso en el norte del país. La segunda sección se compone por tres trabajos con enfoque empírico, aunque parten del marco conceptual del desarrollo sustentable y el enfoque de límites planetarios para el agua. Tomando en cuenta la disponibilidad, los trabajos de esta sección se enfocan a las fuentes de agua en dos de sus usos más importantes para el desarrollo: el urbano y el agrícola. La tercera sección del libro se compone por dos capítulos que abordan las relaciones de agua y energía con relación al desarrollo sustentable.

En el primer capítulo del libro, titulado «Gobernanza y cooperación binacional en la gestión del agua: la cuenca baja del río Bravo», Castro y Cortez analizan la estructura de gobernanza relacionada con la gestión y trabajo del agua en la región binacional que conforman el Valle del Río Grande (VRG) y los municipios fronterizos mexicanos adyacentes al mismo. El objetivo es identificar las diferencias y avances correspondientes en términos de organización, autonomía y planeación. La reflexión se enfoca, por un lado, a las diferencias más relevantes que presentan las estructuras mencionadas en cada caso, y por el otro a los nichos de oportunidad y posibles vías de cooperación que se abren en esta región para el manejo sostenible de sus recursos hídricos compartidos.

En el segundo capítulo, titulado «Cambio climático y riego: retos para la gobernanza y adaptación institucional en el manejo de aguas transfronterizas del bajo río Colorado en el Valle de Mexicali», se estudian los retos que presentan para la gobernanza los impactos de una alta variabilidad climática y la alta competencia por el agua del río Colorado en el Valle de Mexicali. En particular, los autores examinan las alternativas que inducen la adaptación institucional al cambio climático, la gobernanza local y binacional efectiva del agua y la atención de la problemática específica de salinidad que se presenta en las aguas transfronterizas del bajo río Colorado y que impacta a los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado en México.

El segundo apartado lleva por título «Gestión y usos del agua» y está integrado por tres capítulos. En el capítulo «El uso doméstico urbano del agua en el contexto de subregiones hidrológicas: Bajo Grijalva, Valle de México y San Juan» se caracterizan los servicios de agua que reciben las viviendas de las zonas urbanas de tres subregiones en relación con la situación en términos de disponibilidad de agua y la problemática de las cuencas y acuíferos de las cuales se abastecen. Se propone a las subregiones hidrológicas como unidades de planeación factibles para implementar la sostenibilidad de los usos del agua, específicamente para uso doméstico urbano, respetando los límites de disponibilidad natural de agua. Para ilustrar diferentes contextos de cuenca se comparan tres subregiones (Bajo Grijalva en el sureste del país, Valle de México en el centro del país, y Río San Juan localizada en el norte del país) con distintas características: extensión, disponibilidad de agua, tamaño de población de sus zonas urbanas y distintas problemáticas en el uso urbano. En este capítulo Aguilar-Benítez retoma implícitamente la necesidad de los límites planetarios, en este caso regionales, para un uso sustentable del agua.

El segundo capítulo del apartado se enfoca al análisis de la conformación de las zonas de disponibilidad de agua subterránea. En el trabajo «Propuesta para la delimitación de las zonas

de disponibilidad de agua subterránea en México con base en criterios de sustentabilidad», Manzanares propone indicadores como base para el rediseño de la estructura actual de zonas de disponibilidad de aguas nacionales subterráneas, considerando como criterio el principio de sustentabilidad. En ese capítulo se ilustra la aplicación de la metodología propuesta para el caso de Chihuahua, caracterizada por actividades agrícolas del tipo monocultivo basadas en extracción de agua de los acuíferos. La complejidad en el manejo de los recursos hídricos subterráneos implica la aplicación de instrumentos regulatorios que permitan un uso sustentable del recurso. Este trabajo pretende contribuir al entendimiento de la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos en México mediante el análisis de la conformación de las zonas de disponibilidad. El análisis propone indicadores complementarios que permitan rediseñar la estructura actual de zonas de disponibilidad de aguas nacionales subterráneas considerando el principio de sustentabilidad como criterio para el diseño.

En el segundo apartado también se presenta el trabajo titulado «El papel de la tecnología en el manejo del agua del sector agrícola de Baja California, México, y su impacto en el desarrollo regional». Su autor, Alberto Pombo, plantea que en el estado de Baja California se desarrolla un conflicto de intereses por el uso del agua entre la agricultura y los centros urbanos cuyo origen radica en la distribución del recurso.

El tercer apartado «Vínculo agua y energía» se integra por dos capítulos: «El vínculo agua-energía-desarrollo urbano en ciudades de la frontera norte» y «Gas de lutitas y desarrollo sustentable en México: Efectos al medio ambiente y conflicto social». Desde la conceptualización del desarrollo sustentable se han creado múltiples ideas para explicarlo, y propuesto diversas metodologías para caracterizarlo; algunos de los enfoques que han perdurado son precisamente aquellos que abrazan la complejidad del sistema bajo estudio. Es así como el capítulo seis se propone con la idea de estudiar un sistema complejo e integrado como es la ciudad mediante los traslapos entre sus sistemas fundamentales.

Muñoz explora el vínculo agua-energía en las ciudades fronterizas de los seis estados de la frontera norte, usando una caracterización por unidad de energía eléctrica demandada por sistemas hídricos. En la actualidad, el reconocimiento generalizado del nexo entre agua y energía se limita a los procesos de enfriamiento en plantas de generación eléctrica y refinerías. Sin embargo, tal vínculo está presente en mucho otros casos, tiene una alta relevancia y se entrelaza de manera compleja con sistemas que impactan al bienestar social y el crecimiento económico. La energía es necesaria para sacar, encauzar, transvasar y transportar agua; y también para operar plantas potabilizadoras, desalinizadoras y de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, el agua es requerida en todas las etapas del sistema energético, desde la extracción de combustibles hasta la construcción, operación, mantenimiento y retiro de plantas y refinerías. En pocos sitios está mejor exemplificada la relación crucial entre el agua y la energía como en las urbes, donde es fundamental para apoyar su sostenimiento y empujar su crecimiento. Esta investigación explora el vínculo agua-energía en los estados de la zona norte de México de manera general, tomando como caso de estudio la zona metropolitana de Tijuana.

Finalmente, Córdova en el capítulo titulado «Gas de lutitas: sustentabilidad ambiental y conflicto social en México», analiza el aprovechamiento del gas de lutitas con el propósito de observar la sustentabilidad ambiental y los conflictos sociales en los estados donde se ha detectado potencial de explotación: Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz y Chihuahua. El autor describe el proceso de extracción de gas de esquisto con la técnica de fracturación hidráulica; examina la sustentabilidad ambiental en términos de la calidad del aire, el suelo y la disponibilidad de agua y hace un análisis del conflicto social en el marco legal e institucional.

En este libro se cubren varios aspectos relacionados con la gestión del agua en distintos contextos regionales y locales. Los trabajos que lo integran tienen una orientación al análisis de

políticas públicas implementadas en este sector y a generar recomendaciones para mejorar la gestión del agua. Los capítulos del libro se enfocan a estudios de caso específicos aunque todos ellos parten de marcos conceptuales relacionados con el desarrollo sustentable y una necesaria gobernanza del agua.

Referencias

- Aguilar, L. F. (2007). El aporte de la política pública y la nueva gestión pública a la gobernanza. *Reforma y Democracia*, 39, 1-15.
- Atkinson, G. y Pearce, D. (1992). *Are National Economies Sustainable? Measuring Sustainable Development*. Londres, Inglaterra: CSERGE.
- Biswas, A., Rohner, P. y Tortajada, C. (2018). Assessing Global Water Megatrends. En A. Biswas, P. Rohner y C. Tortajada (Eds.), *Assessing Global Water Megatrends. Water Resources Development and Management*. Singapur: Springer. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-981-10-6695-5_1
- Carson, R. (1962). *The Silent Spring*. Nueva York: Houghton Mifflin Company.
- Castillo González, G. (2015). Crecimiento verde vs metabolismo social. En J. M. Corona (Coord.), *Desarrollo sustentable. Enfoques, políticas, gestión y desafíos* (1.^a ed.) (pp. 83-104). Ciudad de México: UAM.
- Clark, H. (13 de marzo de 2012). The Importance of Governance for Sustainable Development [discurso]. Recuperado de <http://www.undp.org/content/undp/en/home/presscenter/speeches/2012/03/13/the-importance-of-governance-for-sustainable-development.html>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012). Atlas Digital del Agua en México. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>

- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2017). Proyectos estratégicos de agua potable, drenaje y saneamiento. Gerencia de estudios y proyectos de agua potable y redes de alcantarillado. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/proyectos-estrategicos-28811>
- Domínguez, J. (2007). *La gobernanza del agua en México y el reto de la adaptación en zonas urbanas: el caso de la Ciudad de México*. Anuario de Estudios Urbanos. Ciudad de México: UAM-Azcapotzalco.
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL/Gobierno de los Países Bajos, Naciones Unidas.
- Kooiman, J. (1993). *Modern governance. New government-society interactions*. Londres: SAGE Publications.
- Leopold, A. (1949). *A Sand County Almanac, and Sketches Here and There*. Nueva York: Oxford University Press.
- Mayntz, R. (2001). El estado y la sociedad civil en la gobernanza moderna. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, 21, 1-8. Recuperado de <http://www.lasociedadcivil.org/doc/el-estado-y-la-sociedad-civil-en-la-gobernanza-moderna-resumen/>
- Mayntz, R. (2006). Governance en el estado moderno. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/postdata/n11/n11a05.pdf>
- Means III, E. (2012). Water 2050: Attributes of Sustainable Water Supply Development. En W. M. Grayman, D. P. Loucks y L. Saito (Eds.), *Toward a Sustainable Sater Future. Visions for 2050*. Virginia, Estados Unidos: ASCE.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1987). Nuestro futuro común (Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo A/42/427). Nueva York. Recuperado de <https://undocs.org/es/A/42/427>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2012). Resolución 66/288. El futuro que queremos. Recuperado de http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_66_288.pdf

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2017). The Impact of Population Momentum on Future Population Growth. *Population Facts, 2017(4)*.
- Pacheco, R. (2014). Ostrom y la gobernanza del agua en México. *Revista Mexicana de Sociología, 76*, 137-166.
- Perkins, G. (1864). *Man and Nature or, Physical Geography as Modified by Human Action*. Nueva York: Charles Scriber.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chappin, F. S. III, Lambin, E., ... Fooley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society, 14(2)*, 32. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., ... Sörlin, S. (2015). Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. *Science, 347(6223)*. Recuperado de <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Turner, R. (1993). Sustainability: Principles and Practice. En Turner, R. K. (Ed.), *Sustainable Environmental Economics and Management: Principles and Practice*. Londres: Belhaven Press.
- United Nations Development Program (UNDP). (2014). Governance for Sustainable Development. Integrating Governance in the Post-2015 Development Framework. Recuperado de <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/Democratic%20Governance/Discussion-Paper--Governance-for-Sustainable-Development.pdf>

Gobernanza del agua

GOBERNANZA Y COOPERACIÓN BINACIONAL EN LA GESTIÓN DEL AGUA: LA CUENCA BAJA DEL RÍO BRAVO

José Luis Castro Ruíz / Alfonso Andrés Cortez Lara

Introducción

El agua es un recurso multifuncional; su presencia no es únicamente fundamental para la vida de todos los seres vivos y ecosistemas del planeta, sino que constituye un motor fundamental en lo económico, social y político que no reconoce fronteras de los estados nación, además de ser portador de fuerzas simbólicas y místicas en cada cultura (Achkar, 2002). En su calidad de bien global, el manejo del agua involucra a las naciones, las comunidades y los individuos, tanto en términos de sus derechos de acceso en calidad, cantidad y oportunidad, como de las formas en que se desarrolla ese manejo bajo la influencia de contextos diferentes. Las dinámicas globalizadoras de las últimas décadas han complejizado el estudio de la gestión de los recursos hídricos transfronterizos. Por un lado, se ha potenciado una mayor presencia de actores en los ámbitos subnacionales inmediatos a las cuencas compartidas internacionalmente, permitiendo el establecimiento de nexos con las contrapartes fuera de los ámbitos gubernamentales. Por otro lado, se ha ampliado el conocimiento sobre los diferentes factores

que inciden en los escenarios representativos de cuencas internacionales en la actualidad (Castro, Cortez y Sánchez 2011).

La región fronteriza entre México y Estados Unidos presenta grandes contrastes que surgen de la convergencia histórica de dos modelos de desarrollo muy diferentes y asimétricos. Un elemento de este contexto que tiene implicaciones amplias en la actualidad son las estructuras institucionales y político-administrativas a todos los niveles, que existen en ambos lados de la línea fronteriza en torno al manejo de los recursos hídricos, cuyas manifestaciones operativas evidencian marcadas diferencias en niveles de organización, autonomía, eficiencia, así como capacidad financiera y de planeación, entre otras características. Estas condiciones plantean cuestionamientos cuando se piensa en la viabilidad de posibles escenarios de cooperación gubernamental a niveles subnacionales entre ambos países (Milman y Scott, 2010), a pesar de la evidencia existente de experiencias a nivel local binacional fuera del ámbito gubernamental, cuya dinámica permite sustentar la existencia de oportunidades claras para la cooperación entre ambos países (Brown y Mumme, 2000; Brown, Castro, Lowery y Wright, 2003; Mumme, Collins y Castro, 2014).

El presente trabajo parte de estos antecedentes, y busca reflexionar sobre la capacidad de los actores gubernamentales a niveles subnacionales en cada país para establecer nexos que sustenten escenarios de cooperación en torno al manejo y problemáticas de sus recursos hídricos comunes. Se plantea como objetivo identificar las diferencias y avances comparativos de los actores gubernamentales a nivel subnacional, tomando como referencia la región binacional que conforman el Valle del Río Grande y los municipios fronterizos mexicanos adyacentes al mismo, en términos de capacidades de organización, autonomía, y planeación. Con base en los resultados de este ejercicio, la reflexión se enfoca, por un lado, en las diferencias más relevantes que presentan las estructuras mencionadas en cada caso y, por el otro, en los nichos de oportunidad y posibles vías de cooperación que puedan existir para el manejo

sostenible de sus recursos hídricos compartidos. El trabajo se enmarca en el enfoque de la gobernanza multinivel, aplicado a las instituciones y actores gubernamentales. La base empírica se compone de trabajo documental, así como de algunos resultados parciales del trabajo de campo de un proyecto sobre estrategias sostenibles de adaptación de actores gubernamentales y sociales en la frontera México-Estados Unidos. El contenido del capítulo se presenta en tres secciones generales. En primer término se presentan brevemente las características de la región binacional de estudio y los procesos de gestión del agua que tienen lugar en cada lado de la línea fronteriza, donde inciden las diferencias político-administrativas entre ambos países. A continuación, se describe el método de análisis y los resultados obtenidos del mismo. En el último apartado se reflexiona sobre el ejercicio desarrollado, en términos de las diferencias más relevantes que presentan las estructuras estudiadas en cada caso, así como los nichos de oportunidad y vías potenciales de cooperación para el manejo sostenible de sus recursos hídricos compartidos.

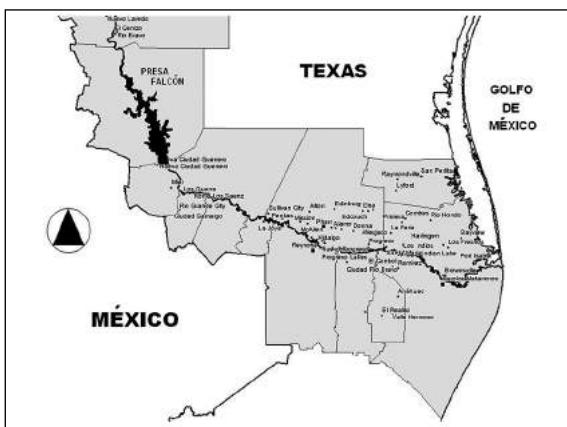
La cuenca baja del río Bravo

El área conocida como cuenca baja del río Bravo/Grande comprende básicamente la sección del mismo que se extiende desde la presa Falcón hasta su desembocadura en el Golfo de México, incluyendo en su parte final al Valle del Río Grande «en adelante VRG», una planicie formada por el delta del río en la parte correspondiente a Texas, misma que comprende cuatro condados (Starr, Hidalgo, Willacy y Cameron). La contraparte mexicana está formada por los municipios de Mier, Miguel Alemán, Camargo, Gustavo Díaz Ordaz, Reynosa, río Bravo, Valle Hermoso y Matamoros en el estado de Tamaulipas (mapa 1).

Una característica de esta región binacional es la intensa interacción transfronteriza que se desarrolla cotidianamente, como una manifestación de su base económica altamente

interdependiente.¹ En conjunto, el VRG y los municipios contiguos de Tamaulipas captaron 31 por ciento y 15 por ciento de los cruces fronterizos vehiculares entre México y Texas y la frontera México-EE.UU. respectivamente en 2015 (BTS, 2015). Tanto que en el VRG las tendencias de empleo muestran en la actualidad un panorama más diversificado y dominado por los servicios de gobierno, salud y asistencia pública. En los municipios contiguos de Tamaulipas la industria manufacturera y el sector de comercio y servicios continúan siendo los principales motores de su economía.²

Mapa 1. Región binacional del bajo río Bravo



Fuente: Castro (2011).

Toda esta dinámica del empleo en actividades urbanas ha tenido importantes impactos en los patrones de urbanización a ambos lados de la frontera en las últimas décadas. En el caso del VRG se ha dado un proceso intenso de movilidad hacia las prin-

¹ La región captó por si sola 31 y 15 por ciento de los cruces fronterizos vehiculares totales entre México y Texas y la frontera México-EE.UU. respectivamente en 2015.

² El municipio de Reynosa concentra por sí solo aproximadamente 49.3 % del empleo maquilador en Tamaulipas. En el período 2012-2016 el incremento en el mismo fue de 34.7 %.

cipales ciudades del mismo en las últimas dos décadas. Las dos Áreas Estadísticas Metropolitanas³ que lo integran, los sistemas McAllen-Edinburgh-Mission y Brownsville-Harlingen, reportaron un crecimiento de 36 por ciento y 39.1 por ciento respectivamente en el período 2000-2010. En el caso mexicano, los municipios fronterizos aledaños concentraban en 2015 a 39.4 por ciento de la población del estado, sobresaliendo Reynosa con casi la mitad de esa población, producto de su renovada vocación como centro maquilador.⁴

Gestión binacional del agua

El clima de esta parte de la cuenca del río Bravo se define como desértico tropical a subtropical con precipitaciones irregulares que en promedio sobrepasan ligeramente los 500 mm anuales, dando lugar a condiciones frecuentes de sequía y a inundaciones ocasionales. Toda la región es altamente dependiente del río Bravo/ Grande, cuyas aguas aportan más de 90 por ciento de la oferta disponible por intermediación del sistema Amistad-Falcón. Los depósitos de agua subterránea en la región son regularmente de mala calidad, con un alto contenido salino y son poco utilizadas (Mathis, 2005). En el caso de los municipios contiguos del lado mexicano, el agua superficial cubre en casi 96 por ciento los requerimientos de los diferentes usos tanto agrícolas como urbanos.

En ambos lados de la frontera el mayor demandante de agua son las actividades agrícolas. En los condados que integran la

³ El Área Estadística Metropolitana (MSA, por sus siglas en inglés) es una identidad geográfica definida por la Oficina Norteamericana de Gestión y Presupuesto (OMB, por sus siglas en inglés), y es utilizada por las agencias federales de estadística con el fin de recabar, calcular y publicar estadísticas federales. Un área metropolitana está compuesta por un núcleo central de 50 000 habitantes como mínimo, y varios condados adyacentes con un alto grado de integración social y económica con el núcleo central.

⁴ El municipio de Reynosa presentó tasas de crecimiento anual de su población total y urbana de 3.9 % y 4.1 % respectivamente en el período 1990-2010.

cuenca baja del río Bravo, la mayor proporción reportada corresponde al uso de gran irrigación (urderales y distritos de riego) con 78.5 por ciento, en tanto que los volúmenes asignados a los usos municipales y al sector manufacturero representan 19.5 por ciento y 0.5 por ciento respectivamente. El 1.5 restante corresponde a los usos de ganadería, minería y generación de electricidad (Río Grande Regional Water Authority [RGRWA], 2013). En el caso de la frontera mexicana, el uso agrícola consume 82.2 por ciento de los volúmenes consumtivos totales, seguido por el uso público urbano (13.8%), el de industria autoabastecida (3.5%) y el pecuario (0.5%) (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2012, p. 20).

Instituciones y actores gubernamentales

La gestión del agua en la región de estudio involucra a instituciones e instancias nacionales, regionales y locales en cada lado de la frontera, así como a los acuerdos y organizaciones binacionales con que cuentan ambos países para normar el uso y manejo de sus recursos hídricos compartidos. Una condición fundamental para entender estas estructuras a nivel subnacional radica en las diferencias que presentan los marcos político-administrativos en cada país. La estructura política norteamericana descansa en un arreglo federal que emana de la constitución, gracias al cual el gobierno central y los gobiernos estatales dividen el ejercicio del poder en diferentes temas (*issues*). En contraste, y a pesar de las modificaciones constitucionales como la reforma municipal de 1983, la estructura política en México es básicamente centralizada. Estas diferencias se encuentran claramente reflejadas en la cuenca baja del río Bravo/Grande; la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) es la principal agencia federal responsable del manejo de la calidad del agua bajo la legislación del Clean Water Act de 1972.⁵ La oficina regional correspondiente (EPA Región 6) delega autoridad a nivel estatal a la Comisión de

⁵ Esta legislación ha sido enmendada posteriormente en 1977 y 1987.

Calidad Ambiental de Texas (TCEQ, por sus siglas en inglés), la que se rige a su vez por el Clean Water Act de la legislación texana. La TCEQ junto con el Texas Water Development Board (TWDB) son las agencias estatales con jurisdicción en asuntos relacionados con el agua. La TCEQ cuenta así mismo, con una oficina para el manejo de las asignaciones de agua del río Bravo/Grande a los usos urbanos y agrícolas en sus cuencas media y baja, el Río Grande Watermaster.⁶

En el caso de México, la ley otorga a la nación la propiedad del recurso, el cual es regulado y manejado por el estado en la figura de la Conagua, cuyas atribuciones van desde la formulación e instrumentación del Programa Nacional Hidráulico hasta el desarrollo de programas específicos a nivel regional o de cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y locales. Una de las novedades que busca consolidar la actual Ley de Aguas Nacionales de 2004 es la gestión hídrica descentralizada en el territorio nacional a partir de la cuenca hidrográfica como la unidad básica. A partir de este planteamiento el territorio nacional se ha dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas, que son administradas por los organismos de cuenca correspondientes. En nuestro caso de estudio, la Región VI río Bravo incluye los municipios fronterizos de Tamaulipas con Texas.⁷

Los niveles locales

La mezcla de actividades y usos del agua que convergen a ambos lados de la frontera, implica la participación de diferentes actores e instancias a nivel local y regional. En el caso del Valle del

⁶ Esta figura existe también en la parte central del estado. En el caso del río Grande/Bravo su cobertura es de 18 condados en la cuenca media y baja del mismo. Los esquemas de asignación difieren entre las ciudades y los distritos de riego; las primeras tienen prioridad a partir del agua disponible en el sistema Amistad-Falcón.

⁷ Para efectos de administración y planeación, esta región se encuentra dividida en seis subregiones básicas. Los municipios fronterizos tamaulipecos contiguos al Valle del Río Grande se localizan en las subregiones Medio Bravo, San Juan y Bajo Bravo.

Río Grande, dos entidades importantes a nivel regional son la Autoridad Regional de Aguas del Río Grande (RGRWA, por sus siglas en inglés),⁸ que agrupa a seis condados de la cuenca baja del Bravo/Grande y el Río Grande Regional Water Planning Group para la región “M”.⁹ Las instituciones a nivel local incluyen a 18 distritos de irrigación, así como los departamentos de servicios de agua (*Water Utilities*) de las principales ciudades.

La gestión del agua en los municipios fronterizos de Tamaulipas involucra a los órganos operadores a nivel municipal para el manejo del agua en sus jurisdicciones, así como la Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas (CEAT) que funge como enlace entre éstos y la Conagua en funciones de planeación, desarrollo de infraestructura y financiamiento, entre otras. La actividad agrícola en su mayor parte se concentra en el distrito de riego 025 Bajo Río Bravo, uno de los más extensos del país (Conagua, 2015, p. 273), así como en algunas unidades de riego localizadas en la zona.

Metodología de análisis

El análisis comparativo desarrollado en este trabajo se fundamenta en el enfoque de la gobernanza multinivel, cuyo origen son los estudios sobre la integración europea en la década de

⁸ El propósito de la RGRWA es complementar los servicios, poderes regulatorios y autoridad de las diferentes entidades bajo su jurisdicción, en funciones como el abastecimiento de agua, desalinización, tratamiento de aguas residuales, conservación de agua en el sector agrícola y financiamiento, así como certificación de derechos de agua.

⁹ Éste es uno de 16 organismos locales constituidos por ley en el estado para coordinar actividades de planeación a largo plazo de los recursos hídricos involucrando a los usuarios (stakeholders) y en conjunción con el Texas Water Development Board (TWDB). La llamada región M comprende a ocho condados entre la presa de la Amistad y el Golfo de México. El organismo genera un plan regional sobre los recursos hídricos en su jurisdicción, el cual es actualizado cada cinco años en conjunción con consultores técnicos y el TWDB. El plan vigente en la actualidad es el correspondiente a 2016.

1990, y se debe al trabajo seminal de Hooghe y Marks (2002). Su importancia en el presente radica en una propuesta que contrasta los enfoques tradicionales en torno a la soberanía y sus implicaciones territoriales con una visión más fluida y empíricamente exacta ante la complejidad que han adquirido las instituciones y las prácticas en los nuevos escenarios de gobernanza nacional e internacional (Mumme, Ibáñez y Till, 2012; Finger, Tamiotti y Allouche, 2006).

El enfoque propuesto por Hooghe y Marks (2002) parte del esquema de los llamados estados centrales para identificar los posibles niveles de autoridad existentes tanto vertical (niveles supranacionales/jurisdicciones subnacionales) como horizontalmente (redes públicas y privadas), y cómo deben organizarse estos. Un postulado que comparte la literatura sobre el tema es que la dispersión de la gobernanza entre diferentes jurisdicciones es más eficiente que la concentración de la gobernanza en una sola jurisdicción. Jurisdicciones grandes en tamaño no son funcionales cuando imponen una política única en poblaciones heterogéneas. En suma, la gobernanza multinivel permite a los tomadores de decisiones ajustar la escala de gobernanza que permita reflejar la heterogeneidad de las preferencias ciudadanas.

La región fronteriza entre México y Estados Unidos, con sus condiciones de rápido crecimiento y una cada vez más compleja problemática ambiental aunada a la presencia de dos modelos de desarrollo muy diferentes y asimétricos con sus características particulares de estructuras político administrativas, ha sido objeto de un creciente interés de la investigación basada en la gobernanza multinivel. Esto tiene lugar en el marco de la búsqueda de soluciones binacionales de cooperación en torno a los recursos naturales compartidos –principalmente el agua– y la protección del medio ambiente humano (Mumme *et al.*, 2012). Estudios recientes en torno a recursos naturales compartidos en la frontera común tales como los de Milman y Scott (2010), en sintonía con el enfoque de gobernanza multinivel, han explorado los impactos

de arreglos institucionales a los niveles nacionales y subnacionales, yendo más allá de los enfoques centristas con los estados-nación como actores en juego.

Más allá del consenso generalizado de que una gobernanza eficiente debe ser multinivel, no parece haber acuerdo sobre la estructura que dicha gobernanza deba tener. ¿Deberán las jurisdicciones ser diseñadas en torno a comunidades particulares o bien en torno a problemas de política particulares?, ¿las competencias correspondientes deberán agruparse o deberán ser funcionalmente específicas?, ¿el número de jurisdicciones debe ser limitado o éstas deben proliferar?, y finalmente ¿las jurisdicciones deben diseñarse para durar o deben ser fluidas? La respuesta a todas estas preguntas lleva a la identificación de dos tipos de gobernanza lógicamente coherentes, los que son designados simplemente como tipo I y tipo II (Hooghe y Marks, 2002). En el cuadro 1 se presentan las características de cada tipo, a partir de la propuesta de Hooghe y Marks (2002) y de la experiencia adaptativa de Mumme *et al.* (2012) para el caso de instituciones binacionales en la frontera México Estados Unidos.

Cuadro 1. Características de los tipos de gobernanza multinivel

	<i>Hooghe y Marks (2002)</i>	<i>Mumme et al. (2012)</i>
Tipo I	<p>Número limitado de jurisdicciones (autoridades) a un número limitado de niveles.</p> <p>Naturaleza: internacionales, nacionales, regionales, meso, locales.</p> <p>Tienen propósitos generales (involucran múltiples funciones).</p> <p>Los límites no se intersectan.</p> <p>Jurisdicciones estables en el tiempo (varias décadas o más).</p>	<p>Jurisdicciones tradicionales multinivel con una arquitectura y trayectoria durables.</p>

(continúa)

(continuación)

	<i>Hooghe y Marks (2002)</i>	<i>Mumme et al. (2012)</i>
Tipo II	Jurisdicciones especializadas. Fragmentación en piezas específicamente funcionales. Número potencialmente grande. Escalas de operación varían ligeramente. Abarcan territorios que se intersectan. Su presencia es muy amplia a nivel local.	Entidades más funcionalmente discretas. Contribuyen a la flexibilidad institucional. Resolución de problemas transjurisdiccionales. Construcción de puentes que mejoren la cooperación social y la resolución de conflictos.

Fuente: Turner (1993).

Estructuras de gobernanza del agua

En la práctica se ha encontrado que los criterios delineados en el cuadro 1 presentan combinaciones que pueden variar de un actor gubernamental a otro (Milman y Scott, 2010; Mumme *et al.*, 2012), por lo que el análisis comparativo de la estructura de gobernanza de la región binacional estudiada requirió necesariamente de una redefinición de los mismos en términos más generales:

- 1) Tipo de autoridad (multifuncional o especializada).
- 2) Trayectoria/durabilidad temporal.
- 3) Funciones.
- 4) Definición de territorios jurisdiccionales.
- 5) Naturaleza/nivel (nacional, estatal, etc.).

Adicionalmente a estos criterios, se incluyó información proveniente del trabajo de campo de un estudio sobre estrategias sustentables de adaptación de actores gubernamentales y sociales en la frontera México-Estados Unidos,¹⁰ específicamente sobre características de la planeación y abordaje de problemáticas compartidas.

¹⁰ El estudio lleva por título «Recursos hídricos y desarrollo sustentable: estrategias de gestión de los actores sociales y gubernamentales en tres cuencas transfronterizas entre México y EE. UU.». Los autores agradecen el apoyo del Conacyt para la realización del mismo.

En los cuadros 2 y 3 se presenta la caracterización resultante para el área estudiada basada en los criterios seleccionados. De los resultados del análisis realizado, se identifica primeramente la presencia en el VRG de cinco organismos del gobierno federal norteamericano con características evidentes del tipo I de gobernanza multinivel (cuadro 2): la EPA, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés), la Oficina de Restauración de los Estados Unidos (USBR, por sus siglas en inglés) y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés). Estos organismos son verdaderas instituciones en los Estados Unidos con una larga y estable trayectoria dentro del modelo político administrativo norteamericano. La entidad más joven, la EPA fue fundada en 1970 buscando integrar y consolidar diferentes programas ambientales de otras agencias federales (Castro y González, 2011). Como puede verse en el cuadro 2, el VRG forma parte de jurisdicciones bien definidas por parte de los organismos federales identificados donde estos llevan a cabo sus funciones. Tal es el caso de la región 6 dependiente de la EPA, que cuenta con un plan estratégico anual específico; la región sureste de Texas correspondiente al USGS; la división sureste del USACE y la región de Grandes Llanuras de la USBR.

Cuadro 2. Valle del Río Grande. Actores tipo I

<i>Nombre/antigüedad</i>	<i>Cobertura/límites</i>	<i>Funciones</i>	<i>Planeación/verificación</i>
Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), 45 años.	Nacional/ regional (región 6).	Supervisión federal de la implementación de programas de calidad de agua superficial y agua potable, y algunos casos de instalaciones de agua subterránea.	Plan estratégico anual para la región 6. Reporte anual de realización.

(continúa)

(continuación)

Nombre/ antigüedad	Cobertura/ límites	Funciones	Planeación/ verificación
Oficina de Asuntos Geológicos (USGS), 125 años.	Nacional/ regional (siete regiones) (Texas: sureste).	Abarca siete áreas de estudio. Con relación al agua, sus funciones son medición, monitoreo y análisis de la calidad de agua superficial y subterránea. No es regulatoria.	
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), 241 años.	Nacional/ regional (seis divisiones) (Texas: división suroeste)/ internacional.	Proyectos de control de inundaciones. Construcción y operación de represas para control de inundaciones. Abastecimiento de agua.	
Oficina de Reclamación de los Estados Unidos (USBR), 114 años.	Nacional/ regional (cinco regiones) (Texas: grandes llanuras).	Interviene en la operación de canales, represas, acueductos y generación de energía eléctrica.	
Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), 84 años.	Nacional.	Interviene en el manejo y mitigación de la contaminación no puntual, a través de programas de asistencia técnica y costo compartido con usuarios y operadores individuales.	
Comisión de Calidad Ambiental de Texas (TCEQ), 15 años. Antecedente: Comisión de Conservación de Recursos Naturales (TNRCC).	Estatatal/ regional (16 oficinas).	Es la agencia ambiental de Texas. Se enfoca a tres grandes áreas. En el área del agua supervisa los derechos de uso del agua y establece normas estatales de calidad del agua para proteger la salud pública, el recreo, y la vida acuática. Supervisa la calidad del agua superficial y subterránea, al igual que el manejo y aplicación de la Ley de Agua Potable Segura.	Doce programas incluyendo el programa sobre derechos de agua del sur de Texas (Watermaster).
Departamento de Parques y Vida Silvestre de Texas (TPWD), 53 años.	Estatatal.	Monitoreo de la calidad del agua. Protección de la salud de la vida acuática y su hábitat. Protección de humedales y de mortandad de peces. Eventos de contaminación que dañen o amenacen la vida silvestre.	

(continúa)

(continuación)

Nombre/ antigüedad	Cobertura/ límites	Funciones	Planeación/ verificación
Junta Estatal de Conservación del Suelo y el Agua (TSSWCB), 77 años.	Estatal.	Control y reducción de la contaminación en el estado de fuentes agrícolas no-fijas y del agua. Administración de las subvenciones federales para proyectos que controlan las fuentes agrícolas no-fijas de contaminación del agua, tales como derrames de fertilizantes.	
Comité de Protección del Agua Subterránea de Texas (TGPC), 25 años.	Estatal.	Coordina las actividades de protección de la calidad del agua subterránea entre las agencias estatales y la Asociación de Distritos de Agua Subterránea de Texas.	
Junta de Desarrollo Hídrico de Texas (TWDB), 59 años.	Estatal.	Asistencia técnica y financiera a gobiernos locales y distritos de riego. Responsable de desarrollar un Plan Estatal del Agua a través de grupos regionales de planeación del agua. Coordina con las 16 regiones de planeación hídrica del estado la elaboración de los planes hídricos regionales correspondientes.	Elabora y actualiza el Plan Estatal Hídrico cada cinco años. Planes hidráticos regionales para las 16 regiones de planeación.
Autoridad Regional de Aguas del Río Grande (RGRWA), 13 años.	Regional/ condados.	Fue creada por la Legislatura de Texas en 2003 como un Distrito de Conservación y manejo “para servir el uso y beneficio público” integrando los intereses regionales en torno al agua para realizar proyectos y servicios en los condados de Willacy, Cameron, Hidalgo, Starr, Zapata, y Webb (excluyendo a la ciudad de Laredo).	Surge Valve Cooperative (aparatos ahorradores). Estudio de la cuenca baja del río Grande. Especies invasivas. Dren El Morillo. Plan Regional del Valle Bajo del Río Grande. Programa de becas. Mercado de agua.
Grupo Regional de Planeación del Agua del Río Grande (RGRWPG), 19 años.	Regional/ condados.	Es uno de los 16 cuerpos locales establecidos bajo la Ley 1 (Senate Bill 1) del Senado Texano de 1997 para coordinar la planeación de la oferta de agua a largo plazo en esta región, integrando a los grupos sociales (stakeholders) y representando una variedad de intereses. El área geográfica de planeación del grupo (también conocida como región “M”) abarca los condados de Maverick, Webb, Zapata, Jim Hogg, Starr, Willacy y Cameron.	El RGRWPG para la región “M” cuenta con un plan hidráulico regional que es actualizado cada cinco años con el apoyo de consultores técnicos y la TWDB.

(continúa)

(continuación)

Nombre/ antigüedad	Cobertura/ límites	Funciones	Planeación/ verificación
27 Distritos de Riego en el VRG.	Regional/ condados.	Administración del agua concesionada del río Bravo para los usuarios.	Se mantienen registros constantes que permiten hacer mejoras. Los distritos llevan a cabo diferentes programas en asociación con autoridades federales, estatales y con otros distritos de la región.
Agencias y organismos operadores de agua potable y drenaje en el Public Water Utilities y Municipal Water Utilities (VRG).	Municipal/ local.	Todos los aspectos relacionados con los servicios de agua potable y alcantarillado.	Los organismos mantienen una relación con otras instancias a niveles locales y regionales para sus necesidades de planeación a largo plazo.

Fuente: Elaboración propia.

A nivel estatal se identificaron cinco organismos involucrados en la gestión del agua en el VRG, cuyas características los definen como tipo I, con una trayectoria comparable a sus contrapartes federales: la TCEQ, el Departamento de Parques y Vida Silvestre de Texas (TPWD, por sus siglas en inglés), la Junta Estatal de Conservación del Suelo y el Agua (TSSWCB, por sus siglas en inglés), el Comité de Protección del Agua Subterránea de Texas (TGPC, por sus siglas en inglés) y la Junta de Desarrollo Hídrico de Texas (TWDB, por sus siglas en inglés). La TCEQ es la agencia ambiental texana. Su historia se remonta a la década de 1990 a través de la búsqueda legislativa para proteger más eficientemente los recursos naturales del estado a través de la consolidación de diferentes programas, un esfuerzo que culminó con la creación de la Comisión de Conservación de Recursos Naturales (TNRCC, por sus siglas en inglés) en 1993, integrando las funciones de la antigua Comisión de Agua de Texas

(TWC, por sus siglas en inglés) y el Panel Texano de Control del Aire. Posteriormente, en 2002, la TNRCC se transformó en la actual TCEQ, constituyendo una serie de funciones a nivel estatal en forma similar a su contraparte federal, la EPA (Castro y González, 2011). Al igual que ésta última, la TCEQ tiene una cobertura regional a través de 16 oficinas y diferentes programas, incluyendo en el caso del agua derechos de uso y normas de calidad, recreo y vida acuática.

De forma paralela a los niveles federal y estatal, existen organismos a otros niveles de autoridad en el área geográfica del VRG que presentan básicamente características del tipo I. Este grupo incluye a la Autoridad de Aguas del Río Grande (RGRWA, por sus siglas en inglés), el Grupo Regional de Planeación del Agua del Río Grande (RGRWPG, por sus siglas en inglés) y los 27 distritos regionales de riego localizados en su área geográfica,¹¹ así como a los departamentos y agencias de servicios públicos (*public utilities*) en las diferentes ciudades del valle. Estos organismos, a pesar de representar jurisdicciones de naturaleza más especializada, muestran por otro lado áreas de jurisdicción claramente definidas y trayectorias temporales durables (cuadro 2).

En el caso de los municipios fronterizos tamaulipecos, la estructura de gobernanza identificada es similar a la encontrada en el VRG aunque notoriamente más centralizada (cuadro 3). La Conagua es la autoridad con las características más claras del tipo I; es el actor medular dentro del modelo de gestión centralizada del agua en México, y cuenta con una larga trayectoria histórica que trasciende su creación en 1989 como agencia federal designada por ley para administrar el agua de la nación y coordinar programas de inversión (Sánchez Meza, 2006). Al igual

¹¹ En Estados Unidos los distritos de riego son corporaciones públicas de naturaleza cooperativa y autogobernadas, establecidas como subdivisiones de los gobiernos estatales, con límites geográficos bien definidos, organizadas y con capacidad fiscal para explotar y distribuir agua para irrigación de tierras dentro del distrito (United States Geological Survey [USGS], s. f.).

que sus contrapartes estadounidenses, cuenta con una cobertura regional a través de 13 organismos de cuenca para ejercer sus funciones. Así mismo, es el actor central en todo lo que respecta a la planeación hídrica en el país. A nivel estatal participa la CEAT creada en 2006 con múltiples funciones, básicamente relacionadas con su papel como organismo coordinador entre la federación y los municipios. Finalmente, están los órganos operadores de agua potable y alcantarillado en los municipios tamaulipecos, con funciones más especializadas en forma similar a sus contrapartes texanas, pero con áreas de servicio establecidas a nivel municipal y trayectorias temporales estables.

En el cuadro 3 se han incluido los módulos de riego en los municipios adyacentes de Tamaulipas, como parte del análisis comparativo a pesar de tratarse de una sociedad civil. Este cambio en la modalidad de administración de los distritos de riego en México tuvo lugar en la década de 1990 como parte del programa de descentralización de los mismos por el gobierno Federal. En el caso del distrito de riego número 025, Bajo Río Bravo, el manejo del agua fue transferido a los usuarios en 1993 sobre la base de módulos manejados por la asociación correspondiente y un comité supervisor con la presencia de un representante de la Conagua (Rymshaw, 1998).

*Cuadro 3. Municipios fronterizos de Tamaulipas.
Actores tipo I*

<i>Nombre/ antigüedad</i>	<i>Cobertura/ límites</i>	<i>Funciones</i>	<i>Planeación/ verificación</i>
Comisión Nacional del Agua (Conagua), 28 años.	Nacional/ regional (13 organismos de cuenca/ Organismo de Cuenca y Consejo de Cuenca Río Bravo).	Otorgar permisos de extracción de agua y descarga de aguas residuales. Formular el programa nacional hidráulico. Recaudar y fiscalizar las contribuciones relativas al agua. Expedir normas en materia hidráulica.	Programa Nacional Hídrico 2014-2018 Programas nacionales (Procaptar). Indicadores y metas del PNH. Informes anuales de logros.

(continúa)

(continuación)

Nombre/ antigüedad	Cobertura/ límites	Funciones	Planeación/ verificación
Comisión Nacional del Agua (Conagua), 28 años.	Estatal.	Vigilar el cumplimiento y aplicación de la ley (Ley de Aguas Nacionales-LAN). Debido a que las funcio- nes hídricas están mucho más centralizadas en Mé- xico, la misión y respon- sabilidades de la Conagua son bastante mayores que las correspondientes a las agencias federales en los Estados Unidos.	Programa estratégico de desarrollo del sector agua en el estado establecido en la Ley de Aguas del Estado de 2006 (última reforma: 20 de septiem- bre de 2016). Estable- ce una visión a largo plazo con estrategias, programas de inversión, opciones de financia- miento, mejoramiento de la productividad, indica- dores de gestión, metas y estándares de calidad y productividad.
Asociaciones de riego, municipios de Tamaulipas (Distrito 025).	Regional / sociedades civiles de usuarios (9).	Administración de los volúmenes concesio- nados por la Conagua; coordinación de activi- dades de las sociedades y administración de recursos para el desarro- llo y mantenimiento de infraestructura.	La autogestión que llevan a cabo las asocia- ciones les ha permitido buscar nuevas formas de apoyo para sus activida- des de cultivo y planea- ción, como la relación con la Universidad de Texas A&M. Proyectos como el inter- cambio de excedentes de aguas de riego de buena calidad para las ciudades a cambio de agua tratada para riego.

(continúa)

(continuación)

<i>Nombre/ antigüedad</i>	<i>Cobertura/ límites</i>	<i>Funciones</i>	<i>Planeación/ verificación</i>
Organismos operadores de agua potable y alcantarillado sanitario en los municipios de Tamaulipas.	Municipal.	Responsables de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en el municipio, tratamiento de aguas residuales y obra pública relacionada con esos servicios.	Las acciones y programas de planeación son de corto plazo y dependen en buena medida de la disponibilidad de recursos de las diferentes fuentes nacionales disponibles (Conagua, CEAT o apoyos binacionales como la Cocef y el BANDAM).

Fuente: Elaboración propia.

Diferencias estructurales de la gobernanza binacional

De los resultados del análisis desarrollado aquí, se desprende que la región VRG-municipios tamaulipecos presenta una estructura de gobernanza policéntrica en torno a los recursos hídricos en el sentido de que la toma de decisiones por parte de la autoridad se distribuye en diferentes entidades (Milman y Scott, 2010). Esta estructura presenta, sin embargo, características particulares en cada país, producto de las diferencias existentes entre sus sistemas político-administrativos, como ya se ha apuntado aquí. La misma está conformada por actores que cumplen, en términos generales, con el perfil del tipo I de gobernanza multinivel, y una característica sobresaliente es el número mayor de actores gubernamentales identificados en el área del VRG en comparación con sus contrapartes mexicanas. Los dos gobiernos federales están representados por la presencia de actores multifunción de larga trayectoria temporal y áreas de influencia claramente definidas; y, en el caso del modelo centralizado mexicano la Conagua, en su calidad de actor modular dentro de la política hídrica federal, concentra un número mayor de funciones en relación con sus contrapartes norteamericanas. En los ámbitos estatales y regionales existe una estructura similar con un arreglo de autoridades tipo I en el VRG. Algunas de ellas con funciones parecidas a sus contrapartes federales como la TCEQ, en

tanto que en Tamaulipas está la CEAT, un actor multifunción pero con una dependencia importante del gobierno central en la figura de la Conagua. Adicionalmente, en el caso texano existen actores cuya presencia busca enfocar más la participación regional y comunitaria en proyectos específicos de atención a las problemáticas hídricas y en los procesos de planeación. Tanto la RGRWA como el RGRWPG ejercen sus funciones en áreas jurisdiccionales específicas y cuentan igualmente con una trayectoria temporal estable.

Completan esta estructura tanto los distritos de riego en cada región subnacional, como los organismos operadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento a nivel local, cuyas funciones son similares, aunque con una mayor dependencia de las contrapartes de Tamaulipas en el gobierno federal en términos de apoyos financieros, normatividad y programas específicos.

La verificación de las características sobre procesos de planeación y abordaje de problemáticas hídricas comunes en algunos de los actores analizados permitieron identificar complementariamente ciertas diferencias entre ambos países. En el VRG los actores intervenientes desarrollan actividades de planeación en forma directa o a través de otras agencias con las que coordinan su trabajo a diferentes niveles. Las formas de planeación y los horizontes correspondientes dependen de las funciones específicas del organismo o agencia. En el caso de los niveles locales (*utilities*), los responsables de los servicios se apoyan para sus necesidades de planeación en programas e instancias existentes en los niveles gubernamentales superiores.

En el caso mexicano todo lo relacionado con la planeación hídrica está básicamente concentrado en la Conagua, que en los municipios tamaulipecos coordina sus acciones y programas a través de la CEAT y los órganos operadores municipales. La CEAT, como ya se ha mencionado, posee atribuciones de planeación y verificación en el marco jurídico correspondiente, pero en la práctica funge más como enlace entre el actor federal y los organismos operadores. En estos últimos, la planeación está condicionada a la disponibilidad de recursos provenientes

del estado o la federación, y en ocasiones de instancias externas como la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (Cocef) y el Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN).

Las formas de abordar las problemáticas hídricas compartidas es un punto importante a considerar en un contexto de búsqueda de posibles sinergias entre los actores analizados para el manejo cooperativo de los recursos hídricos comunes. En términos generales, los actores estudiados en el VRG identifican como más importantes los problemas del crecimiento de la población, la contaminación del río Bravo y la disponibilidad de agua. Ésta última como un efecto sicológico del episodio de la deuda de agua del río Bravo entre México y EE. UU., a fines de la década de 1990. La contaminación del río Bravo en particular, se aborda con recursos y capacidades provenientes de los diferentes niveles gubernamentales en forma horizontal. Lo anterior es complementado con la cobertura funcional de los órganos y agencias a nivel local y municipal en el tratamiento de aguas residuales.

En la frontera mexicana se identifica claramente el problema de la contaminación del río Bravo por aguas residuales no tratadas, y se enmarca en la problemática de la ausencia de recursos y tiempos de planeación. El papel de la Cocef y el BDAN ha sido fundamental en el apoyo a través de la certificación y financiamiento de proyectos de infraestructura ambiental.

Reflexiones finales: oportunidades para la cooperación local-binacional

El trabajo que se ha desarrollado en las secciones anteriores nos ha permitido conocer las características de la estructura organizacional en torno al manejo del agua en la región VRG-municipios fronterizos de Tamaulipas. Una premisa fundamental planteada al principio ha sido reflexionar sobre las capacidades y potencialidades de la misma en un marco de cooperación para el manejo de sus recursos hídricos compartidos. En dicho contexto hay una serie de puntos que es importante mencionar; en primer lugar,

es conveniente apuntar que la estructura organizacional del VRG muestra características equiparables a estados como California. La flexibilidad e independencia de actores del tipo identificado permite el abordaje de problemáticas de trascendencia binacional. Por otro lado, en los municipios tamaulipecos existe una alta dependencia hacia los actores estatal y municipales en el gobierno federal, en la figura de la Conagua.

En la actualidad es inexistente una trayectoria de cooperación local binacional como la establecida en otras regiones a lo largo de la frontera entre ambos países, de los que son ejemplos la cuenca del río Tijuana y la región Juárez-El Paso (Brown *et al.*, 2003). La interacción local binacional entre contrapartes en los diferentes niveles es prácticamente nula, y el papel de la academia ha estado igualmente limitado a cada lado de la línea fronteriza. Las experiencias y eventos de intercambio binacional han sido pocos, y se han dado a través de la intermediación de organizaciones binacionales cuyas coberturas trascienden la región. Tal es el caso de la Coalición del río Bravo/Grande que tiene cobertura a lo largo del curso del río Bravo (Brown, 2003).

Un elemento importante en el establecimiento de relaciones a nivel local binacional es la labor de las organizaciones ambientalistas en dichos ámbitos. En el caso del VRG existen alrededor de 18 organizaciones ambientalistas cuya presencia está confinada a problemáticas y temas internos. La participación organizada a nivel binacional local es igualmente baja y se centra en temáticas de otro tipo. Por otro lado, y a pesar de que en ambas partes de la frontera se han identificado problemáticas de trascendencia binacional con un potencial para detonar la cooperación, este tipo de iniciativas no se han dado como en otras regiones (por ejemplo, la contaminación del estuario del río Tijuana).

A pesar de las condiciones descritas, el análisis de gobernanza y de la información complementaria consultada aquí permiten establecer algunas señales positivas con relación a una

base que permita detonar a futuro la cooperación local binacional en esta región. Un punto importante en este sentido es la disposición encontrada entre diferentes agencias y actores del VRG, para el intercambio de información y apoyo técnico con sus contrapartes mexicanas. Ciertamente ha habido intercambios a través de la participación en eventos y reuniones sobre los recursos hídricos de la región y sus problemáticas asociadas, pero el intercambio bajo condiciones más formales y sistemáticas no se ha dado. Un argumento que se esgrime aquí es que las instancias mexicanas pueden aprender de las buenas prácticas de sus contrapartes texanas.

Si bien el trabajo académico local realizado en ambos lados sobre temas relacionados con la gestión del agua en la región no ha trascendido a los niveles locales inmediatos, existe una historia de relaciones con contrapartes texanas de parte de algunas instituciones. Tal es el caso del Tecnológico de Reynosa con la Universidad del VRG, cuyo trabajo conjunto se ha limitado al ámbito académico. Por otro lado, existen actores no gubernamentales como la Asociación de Usuarios de Riego del Distrito de Riego Bajo Río Bravo (025) que también reportan una trayectoria de relaciones con contrapartes texanas como el Watermaster (organismo de asignación de derechos de agua de la TCEQ) y la academia en la figura de la Universidad de Texas A&M.

Es indudable que el trabajo que se ha desarrollado aquí representa sólo un paso hacia una base de conocimiento que permita establecer posibles escenarios de cooperación binacional en los niveles estudiados. En este sentido, es imprescindible recuperar experiencias existentes en otras regiones a lo largo de la frontera común, que permitan conocer los factores de índole económica, política, social o cultural que han influido en cada caso y cómo comparan estos para el caso de la región VRG-municipios fronterizos tamaulipecos. En este proceso el papel de la academia y de diferentes organizaciones internacionales es fundamental, en su calidad de promotores y generadores de conocimiento.

Referencias

- Achkar, M. (2002). *Hacia la Gestión Sustentable del Agua*. Uruguay: Departamento de Geografía-UdelaR. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266165879_Hacia_la_Gestion_Sustentable_del_Agua
- Brown, Ch. (2003). New Directions in Binational Water Resource Management in the U.S.-Mexico Borderlands. *The Social Science Journal*, 40, 555-572.
- Brown, Ch. y Mumme, S. P. (2000). Applied and Theoretical Aspects of Binational Watershed Councils (Consejos de Cuencas) in the U.S.-Mexico Borderlands. *Natural Resources Journal*, 40(4), 895-929.
- Brown, Ch., Castro J. L., Lowery N. N. y Wright, R. (2003). Comparative Analysis of Transborder Water Management Strategies: Case Studies on the United States Border. En S. Michel (Ed.), *The U.S.-Mexican border environment: Binational Water Management Planning*. San Diego, California: Southwest Center for Environmental Research and Policy.
- Bureau of Transportation Statics (BTS). (2015). Border Crossing/Entry Data [base de datos electrónica]. Recuperado de <https://www.bts.dot.gov/content/border-crossingentry-data>
- Castro, J. L. (2011). Agua y desarrollo urbano en la frontera entre México y Texas: la cuenca baja del Río Bravo. En B. Vázquez, M. A. Jurado y J. L. Castro (Eds.), *Procesos económicos, laborales y urbanos en la frontera noreste en el contexto de la apertura económica*. Tijuana: El Colef/UAdeC.
- Castro, J. L. y González Ávila, M. A. (2011). Environmental Sustainability Policies and Practices on the Mexico-Texas Border. *The U.S.-Mexican Border and a Sustainable Environment in 2030*. San Diego, California: Southwest Center for Environmental Research and Policy.

- Castro, J. L., Cortez, A. y Sánchez, V. (2011). Gestión del agua en cuencas transfronterizas México-Estados Unidos: Algunos elementos conceptuales para su estudio. *Aqua-Lac*, 3(2), 105-114.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/6-SGP-17-12RB.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año Agrícola 2013-2014*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-rieゴ>
- Finger, M., Tamiotti, L. y Allouche, J. (Eds.) (2006). *The Multi-Governance of Water: Four Case Studies*. Nueva York: State University of New York Press.
- Hooghe, L. y Marks G. (2002). Types of Multi-level Governance. *Les Cahiers européens de Sciences Po*, 3.
- Mathis, M. L. (2005). Dynamic Growth in the Rio Grande Valley. En J. Norwine, J. R. Giardino y S. Krishnamurthy (Eds.), *Water for Texas*. Estados Unidos: Texas A&M University Press.
- Milman, A. y Scott. C. A. (2010). Beneath the Surface: International Institutions and Management of the United States-Mexico Transboundary Santa Cruz Aquifer. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 28, 528-551.
- Mumme, S. P., Collins, K. y Castro, J. L. (2014). Strengthening Binational Management of the Tijuana River. *Water Law Review*, 17(2), 329-357.
- Mumme, S. P., Ibáñez, O. y Till, S. M. (2012). Multilevel Governance of Water on the U.S.-Mexico Border. *Regions and Cohesion*, 2(2), 6-29.
- United States Geological Survey (USGS). (s. f.). *Estimated Use of Water in the United States in 2000*. Recuperado de <http://pubs.usgs.gov>

- Rio Grande Regional Water Authority (RGRWA). (2013). *Lower Rio Grande Basin Study*. Recuperado de <https://www.usbr.gov/watersmart/bsp/docs/finalreport/LowerRioGrande/LowerRioGrandeBasinStudy.pdf>
- Rymshaw, E. (1998). *Análisis del desempeño de la irrigación en los distritos de riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan*. Ciudad de México: Instituto Internacional de Manejo del Agua. Recuperado de http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Latin_American_Series/pdf/1.pdf
- Sánchez Meza, J. J. (2006). *¿Se ha descentralizado la gestión del agua en México?* Ciudad de México: Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A.C.

CAMBIO CLIMÁTICO Y RIEGO: RETOS PARA LA GOBERNANZA Y ADAPTACIÓN INSTITUCIONAL EN EL MANEJO DE AGUAS TRANSFRONTERIZAS DEL BAJO RÍO COLORADO EN EL VALLE DE MEXICALI

Alfonso Andrés Cortez Lara /José Luis Castro Ruiz

Introducción

La región fronteriza del bajo río Colorado caracterizada por su aridez, donde se ubica la actividad productiva de una de las áreas de riego más importantes del norte de México y Suroeste de Estados Unidos, el Valle de Mexicali, presenta una serie de retos que implican la gobernanza y manejo de aguas compartidas por dos países, cuatro estados (Arizona, California, Baja California y Sonora) y diversos sectores de usuarios altamente demandantes del vital líquido al interior de cada uno de ellos. Tal comportamiento se debe a que el agua del río Colorado representa la principal fuente de abastecimiento y la base de recursos para el desarrollo regional.¹

¹ Respecto a las asignaciones para cada estado usuario, en condiciones normales de flujo del río, California utiliza 5 427 Mm³ (26.7 %), Arizona 3,515 Mm³ (17.3 %) y México 1 850.2 Mm³ (9.1 %). Además, en la porción mexicana de la cuenca, la agricultura consume 86 % de la asignación total y las zonas urbanas de ciudades como San Luis Río Colorado, Mexicali y Tijuana (ésta última ubicada fuera del área de la cuenca) dependen en más de 95 % de dicha fuente. Por otra parte, en el lado estadounidense, la agricultura utiliza 69 % de la asignación correspondiente y zonas urbanas de condados como

Históricamente, en la región se han presentado diversas etapas y episodios alternados de conflicto y cooperación en torno al agua del río Colorado. Esto se puede ejemplificar al mencionar que cuando inició la actividad productiva intensiva en la región de Mexicali, a principios del siglo pasado, el manejo operativo de los excedentes derivados de las grandes avenidas que naturalmente se presentaban –y aún continúan– debido a las características de alta variación de flujos en la corriente principal, resultaba necesario para evitar inundaciones. Más adelante, sobre todo a partir de la década de 1930, el desarrollo de la irrigación a lo largo de la cuenca del río Colorado y particularmente en las áreas que se abastecían mayormente de éste en la porción final del curso de agua (como son los valles de Imperial y de Yuma en la porción estadounidense y los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado en el lado mexicano), dio lugar a la creación del marco binacional del agua, el Tratado Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos de 1944 (Tratado de Aguas), mismo que actualmente rige el uso y manejo de las aguas compartidas.

La actividad antropogénica, y particularmente el desarrollo del riego, implicó que subsecuentemente se presentara una mayor competencia por el recurso hídrico. Ésta, a su vez, trajo consigo problemas con repercusiones directas en el acceso oportuno y en la calidad del agua y los suelos, particularmente la salinidad, lo que produjo rasgos evolutivos significativos en el Tratado de Aguas en cuanto a la definición de los estándares de salinidad permitidos en las entregas a México, establecidos en el Acta 242 firmada por ambos países en agosto de 1973.

Aunque dichos cambios inducidos por la intensa actividad humana han representado retos institucionales permanentes para los usuarios del agua, recientemente una nueva situación referida a la alta variabilidad climática amenaza la

Yuma, Imperial, San Diego y Los Ángeles (estos dos últimos fuera del área de la cuenca), extraen cada vez mayores volúmenes de dicha fuente superficial.

relativa estabilidad socioprodutiva del manejo de los recursos hídricos y del medio ambiente en la región. Dicha situación demanda un esfuerzo institucional adicional, tanto en el orden binacional como local. La tendencia general indica que dicha variabilidad climática en la región ha derivado en una disminución en los niveles de humedad a nivel de cuenca. Esto, además, ha provocado la elevación de los índices de evaporación, así como períodos de sequía prolongados y, con ello, un incremento paulatino en los niveles de la salinidad del río Colorado. Otra consecuencia de esto se traduce en la acumulación de dichas sales en los suelos agrícolas de ambos países, con mayor intensidad en la porción final de aguas abajo de la cuenca, lo que geomorfológicamente representa una planicie costera de inundación.

A nivel local, tanto los problemas históricos de gestión de aguas transfronterizas como los emergentes relacionados a la alta variabilidad climática, tienen repercusiones en el ámbito productivo, específicamente para el área de riego de interés en este trabajo. De esta manera, interesa explorar cuáles son los impactos sobre las condiciones de gestión y manejo del agua, así como profundizar en el entendimiento de los procesos de adaptación institucional al cambio climático y el consecuente incremento de la salinidad del agua y suelos en el Valle de Mexicali.

Breve cronología contemporánea de la problemática por las aguas transfronterizas del bajo río Colorado

Las décadas de 1960 y 1970: el problema de la salinidad del río Colorado

Desde el origen del conflicto internacional de la salinidad del río Colorado, iniciado a principios de la década de 1960, la alta concentración de sales solubles en el agua entregada a México tanto en el Lindero Internacional Norte (LIN) o Presa Morelos, como en el Lindero Internacional Sur (LIS) o Canal Sánchez Mejorada, ha tenido repercusiones significativas en la productividad de las

tierras agrícolas de los valles fronterizos de Mexicali, Baja California y San Luís Río Colorado, Sonora, respectivamente. Es común observar que los suelos agrícolas en áreas de riego ubicadas en las zonas áridas, como las que aquí se analizan, están sujetos a procesos de acumulación de sales debido al uso intensivo del agua, malas prácticas agronómicas y de manejo del agua, baja precipitación y altas tasas de evaporación y evapotranspiración. Además, esto también sucede debido a otras actividades antropogénicas que tienen lugar aguas arriba tanto a través del tiempo como del espacio, y que dan lugar a los procesos naturales de mineralización que ocurren a lo largo de los más de 2 300 km de recorrido del agua desde las montañas rocosas hasta la desembocadura del delta en el Golfo de California. Todos estos factores naturales o antrópicos, en conjunto, han acelerado los procesos de acumulación de sales en suelos y aguas en la región transfronteriza de la cuenca baja del río Colorado.

Diversos estudios a escala mayor o nivel de cuenca hidrográfica, indican que 47 por ciento de las fuentes de la salinidad son de origen natural, 37 por ciento son inducidas por actividades de riego en las más de 2.3 millones de hectáreas (ha) establecidas, 12 por ciento originadas por las más de 30 presas y reservorios construidos a lo largo y ancho de la cuenca, y 4 por ciento por causas de usos y reúses municipales e industriales de una población con más de 40 millones de habitantes. Esto arroja un acarreo contabilizado de cerca de 9 millones de toneladas anuales, de las cuales solamente se remueven mecánicamente en promedio 1.33 millones de toneladas en el mismo lapso, lo cual ocasiona daños del orden de los 615 millones de dólares anuales a los usuarios de la cuenca baja del río Colorado (Colorado River Basin Salinity Control Forum, 2014).

En este mismo orden de ideas, Cervantes y Bernal (1991, p. 129) reportan que la calidad del agua del río Colorado muestra un deterioro creciente a través del tiempo y del espacio. Los autores establecen que existen registros de salinidad que van de 50 partes por millón (ppm) en la cuenca alta, en Wyoming,

Estados Unidos, donde nace el río, hasta alrededor de 900 ppm en el primer punto de entrega a México, en la Presa Morelos, y a 1 300 ppm en el Canal Sánchez Mejorada, el segundo punto de entrega de agua. Los estudios de balance de sales en el Valle de Mexicali realizados por la Conagua (2012), indican una entrada de sales del orden de 3.5 millones de toneladas anuales y una salida o eliminación de 1.8 millones de toneladas en el mismo lapso, lo que ha acentuado los problemas en la zona ubicada en la parte central y sur del área de riego conocida como *ruta de la sal*, que se extiende a alrededor de 60 000 ha.

El problema binacional de la salinidad surge a finales de 1961 cuando México redujo los pedidos normales de agua provenientes del río Colorado y, como resultado inmediato, se registró un incremento significativo de la salinidad del agua en canales de riego del Valle de Mexicali alcanzando niveles de hasta 2 700 ppm medidos en la Presa Morelos.² Tal reducción en los pedidos por parte de la Comisión Internacional de Límites y Aguas-Sección Mexicana (CILA) ocurrió como resultado de la puesta en operación de pozos profundos en el Valle de Wellton-Mohawk, Arizona, mismos que extrajeron aguas fósiles salinas del subsuelo y las descargaron al río Gila, afluente que intercepta la corriente principal del río Colorado justo aguas abajo de la Presa Imperial de Estados Unidos, antes de los puntos de entrega a México (SRE, 1975, p. 16).

Derivado de lo anterior, posteriormente se propuso una serie de soluciones técnicas parciales a dicha situación y se establecieron de manera formal en el Acta 218 de la CILA, firmada en 1964. No obstante, el problema continuó e incluso se agudizó más adelante durante 1966 y 1967 cuando se volvió a detectar por parte de autoridades mexicanas un incremento sustancial en la salinidad de las aguas del río Colorado que se

² Normalmente, durante los meses de octubre a diciembre de cada año, el volumen mínimo obligatorio de entrega en el LIN o Presa Morelos es de 25.5 metros cúbicos por segundo (m^3/s) mientras que para el resto de los meses se presenta la demanda alta que es de 42.5 m^3/s .

entregaban a México. En esta ocasión, se determinó que el origen del aumento era la mezcla de aguas que se extraían de la región Gila Sur, Arizona. Las negociaciones bilaterales en búsqueda de la solución continuaron y se adicionaron a través del Acta 241 firmada en 1972, y finalmente, el 30 de agosto de 1973 se firma el Acta 242 de la CILA titulada Solución permanente y definitiva del problema internacional de la salinidad del río Colorado. En dicha acta se establecen las metas de mejoramiento de la calidad del agua que México había propuesto para la solución del problema, todo ello a expensas de los Estados Unidos de América (Acta 242 de la CILA, 1973). Entre los puntos principales del acuerdo, se establece que:

los Estados Unidos adoptarán medidas para dar seguridad de que en el período referido en la misma, el agua que se entregue a México vía Presa Morelos o Lindero Internacional Norte, tenga una salinidad media anual que no sobrepase los 121 ± 30 ppm, [...] tomando como base la salinidad media anual de las aguas del río Colorado que lleguen a la Presa Imperial en Estados Unidos.

No obstante lo anterior, en el presente trabajo se argumenta que aunque benéfico en un principio para los usuarios del lado sur de la línea fronteriza, aún existen conflictos derivados de la interpretación del Acta 242 y frecuentemente se esgrime que las previsiones del acuerdo resultan desventajosas para México. Entre las discusiones que se realizan en el seno de la CILA mediante interacción del grupo binacional de trabajo sobre el tema de la salinidad, se han identificado opciones de corto, mediano y largo plazo que buscan atenuar los problemas o en su caso homologar las condiciones entre la Presa Imperial, la Presa Morelos y el Canal Sánchez Mejorada. Lo anterior a través de acciones específicas, como la implementación de un sistema de monitoreo de sales en tiempo real y la mejora de las capacidades de conducción en el Canal Sánchez Mejorada (Acta 323 de la CILA, 2017).

Las décadas de 1980 y 1990: sedimentos en el agua del río Colorado

Las grandes avenidas en el cauce principal y algunos afluentes del río Colorado inducen problemas de arrastre de sedimentos. Los registros oficiales indican que durante los años 1979, 1983 y 1986 se acumularon 645 000 m³ de sedimentos. Esta situación propició que a principios de la década de 1990 México realizara una serie de trabajos de emergencia para desazolvar obras de cabeza aguas abajo de la Presa Morelos, y con ello asegurar las derivaciones de agua al distrito de riego en el Valle de Mexicali de manera oportuna y eficiente. Posteriormente, en 1993, las avenidas extraordinarias del río Gila, un importante afluente del río Colorado que se origina en el sur de Arizona y que vierte su flujo justo antes de entregar a México, arrastró y depositó 11.2 millones de m³ de sedimentos tanto en el cauce del río Colorado como en obras de cabeza y red mayor del distrito de riego que comprende los valles de Mexicali y San Luís Río Colorado (Conagua, 1997).

Durante las tareas de desazolve de los tramos afectados, y a efecto de alcanzar una solución consensuada y equitativa entre los dos países, se establecieron acciones de emergencia para la remoción de azolves asentados en el cauce de río. En el marco de dicho acuerdo, México se encargaría de seleccionar un sitio para el depósito de los sedimentos extraídos en forma temporal y acondicionar un sitio para su depósito definitivo. Por su parte, Estados Unidos inició desde 1997 trabajos de desazolve en varios puntos del tramo comprendido entre la confluencia del río Gila y aguas arriba de la Presa Morelos.

Una de las acciones significativas de cooperación y coordinación fue la excavación de una caja receptora de sedimentos aguas abajo de la Presa Morelos con una longitud de 2.7 kilómetros, construida entre 1999 y 2001 con fondos estadounidenses bajo la coordinación de ambas secciones de la CILA. Sin embargo, en la actualidad, la caja para atrapar y retener sedimentos muestra fallas

de operación debido tanto a los altos volúmenes que ésta recibe y capta, como a la limitada capacidad de extracción mecánica de azolves (SRL, 2008).

Primera década del Siglo XXI: el revestimiento del Canal Todo Americano y efectos en el acuífero del Valle de Mexicali

El Canal Todo Americano –estadounidense– es una obra hidráulica de canal abierto construido con material de arcillas para efectos de conducir volúmenes de agua provenientes del río Colorado para el riego y generación de energía eléctrica que se consume en los valles de Imperial y Coachella, California. Dicha infraestructura de canales mayores que inició operaciones en 1942, conduce agua en dirección franca este-oeste, paralelamente a lo largo de la frontera Imperial-Mexicali. Con ello, Estados Unidos independiza el manejo del agua en territorio propio para la distribución hacia los valles californianos sin necesidad de cruzar por territorio mexicano, como ocurría con anterioridad al seguir la pendiente natural del cauce principal. Cuarenta y cuatro años después del inicio de sus operaciones, en 1986, resurge la polémica con la propuesta estadounidense del proyecto de *revestimiento del Canal Todo Americano* con materiales de concreto impermeable, asunto que a principios del nuevo milenio cobró importancia como uno de los temas más conflictivos en la agenda binacional del agua (Sánchez, 2006, p. 18).³

Para la realización de dicho proyecto, las ciudades costeras del sur de California financiaron al Distrito de Riego de Imperial (IID, por sus siglas en inglés) para la realización de proyectos de conservación y recuperación de volúmenes de agua provenientes del río Colorado que se conducen por el Canal Todo Americano, y que se infiltran hacia el acuífero

³ El proyecto considera la construcción de un nuevo canal paralelo al ya existente, mismo que sería recubierto de concreto para eliminar infiltraciones que en su mayor parte fluyen en dirección franca norte-sur, hacia México.

subterráneo, estimando recuperar un volumen aproximado de 84 Mm³/a lo largo de 37 kilómetros (Conagua, 1991, p. 2; USDOI, USBOR y IID, 1994; Herrera *et al.*, 2006, p. 64).

Los impactos que se derivarían con la implementación de esta magna obra hidráulica que se terminó de construir en 2010 son diversos y de efecto gradual en ambos lados de la frontera, aunque a decir de la dirección del flujo natural, el área de influencia de dicho proyecto afectaría principalmente a la porción mexicana. Algunos reportes indican que el proyecto reducirá significativamente la recarga del acuífero del Valle de Mexicali en el orden de 14 por ciento y con ello se induciría la segunda fase o etapa inducitora de la salinidad⁴ en la región abastecida por dicho acuífero, ya que se estima un incremento en la concentración de sales en las aguas subterráneas del orden de 21 ppm/a que estarían afectando a la zona de riego en el Valle de Mexicali (García, López y Navarro, 2006, p. 79). Las comunidades aledañas al área de influencia del proyecto estiman, además, impactos sociales y ambientales en la porción mexicana. Estos se refieren al desplazamiento de grupos de productores y pobladores del lugar hacia otras zonas donde no se vislumbre un riesgo de pérdida de fuente de agua; por otra parte, en el aspecto ambiental, a la desecación de los humedales o lagunas que se formaron debido a las infiltraciones del Canal Todo Americano, y desde luego al abatimiento de fuentes subterráneas de agua (Cortez-Lara, 2006, p. 200).

Alta variabilidad climática: un nuevo reto para la gestión del agua y el control de la salinidad en el Valle de Mexicali

La región que comprende el suroeste de Estados Unidos y el norte de México sufre uno de los períodos de sequía más prolongados de la historia que data desde 1999, lo que actualmente la ubica en situación de estrés hídrico. Además, a nivel

⁴ Se considera aquí como la primera y más significativa etapa de salinización a aquella que se presentó en las décadas de 1960 y 1970.

de la cuenca, se pronostican incrementos en la temperatura del aire, reducción de la humedad y del espesor de la capa de nieve acumulada en las montañas rocallosas⁵ e incrementos en la evaporación. Todo esto, en conjunto, afectaría de manera significativa los volúmenes y temporalidad de los escurrimientos del río Colorado reduciéndolos a 30 por ciento en un plazo tan cercano como el 2050 (Mills *et al.*, 2005; Pulwarty, Jacobs y Dole, 2005; Stewart, Cayan y Dettinger, 2005; Bates, Kundzewicz, Wu y Palutikof, 2008, Wilder *et al.*, 2013; Udall y Overpeck, 2017).

En el pasado cercano, las zonas áridas en condiciones de baja actividad humana mostraban capacidad para recuperarse aun después de períodos de sequía prolongada. Sin embargo, bajo las condiciones actuales, éstas tienden a perder su productividad biológica y económica de manera acelerada. Un modelo conceptual, presentado para mostrar los efectos de la temperatura y humedad en los agro-sistemas de zonas áridas, sugiere que los procesos de degradación de suelos son más rápidos bajo condiciones climáticas más cálidas y secas; indicando que uno de los principales efectos es la salinización de suelos y fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas (Stewart, Lal y El-Swaify, 2008).

La alta variabilidad climática representa un factor preponderante que induce, por una parte, la vulnerabilidad de la oferta de agua superficial debido a la reducción de la humedad global y cambio en los regímenes hidrológicos; y por la otra, el incremento de extracciones y eventual sobreexplotación que a la vez se relaciona directamente con la vulnerabilidad de sectores sensitivos como la agricultura, degradando y salinizando los suelos. La vulnerabilidad que aquí se menciona incluye los eventos hidroclimáticos extremos observados en la cuenca del

⁵ En medio de los pronósticos y tendencias negativas para el mediano y largo plazo, se mencionó que el invierno 2016-2017 registró datos favorables de recuperación en la capa de nieve, para abril (mes de máximo registro histórico) se ubicó a 110 % del registro histórico de los últimos 30 años (Upper Colorado River Snowpack Database, 2017).

río Colorado (Stern, 2007; Bates *et al.*, 2008; Varady y Ward, 2009; Gerlak y Wilder, 2012).

Las proyecciones de incremento exponencial en la demanda y consecuente reducción de la disponibilidad de agua en condiciones de alta variabilidad climática, indican que el sector agro se vería afectado significativamente en el corto y mediano plazo toda vez que el orden de prelación en la Ley de Aguas Nacionales ofrece prioridad a los usos doméstico y público-urbanos, e inclusive a la ganadería sobre la actividad agrícola. Por una parte, los cambios en la relación precipitación/evaporación-evapotranspiración incrementarían significativamente la demanda de agua requerida por las plantas. Por otra parte, las modificaciones en los patrones de precipitación y ciclos de almacenamiento a nivel de cuenca, cambiarán la disponibilidad estacional, anual e interanual de agua para los agro-sistemas (FAO, 2003).

A nivel local, los datos oficiales de la Conagua para el caso del Distrito de Riego 014, río Colorado, que se extiende sobre los valles de Mexicali, Baja California y San Luis Río Colorado, Sonora, indican una tendencia a observar inviernos más cálidos y veranos igualmente más cálidos y prolongados con temperaturas arriba de 38° C; pero, además, con episodios de humedad más alta, esto para los últimos 30 años (Conagua, 2012). Dicho comportamiento en el clima local tiene implicaciones directas sobre la productividad de los principales cultivos establecidos en la región como el trigo, algodón y alfalfa, que en conjunto históricamente cubren dos terceras parte de la superficie bajo riego (Sagarpa, 2018).

En el primer caso, el trigo, como cultivo del ciclo otoño-invierno requiere de un nivel de acumulación de horas de frío que se ve alterado y con ello se reduce su rendimiento y producción de proteína. Por otra parte, el algodón, como cultivo del ciclo primavera-verano requiere altas temperaturas pero se ve afectado por los elevados niveles de humedad y lluvias monzónicas durante períodos de producción de la fibra blanca, por lo que su calidad se ve afectada. Finalmente, la alfalfa como cultivo perenne requiere la lámina de riego más profunda de la cédula de cultivos, misma que

es del orden de dos metros. Esto, en conjunto con el alto porcentaje de cobertura con follaje verde, presenta los más elevados niveles de evapotranspiración y, por ende, una alta demanda de agua para el desarrollo vegetativo.

A lo anterior se suman los impactos potenciales esperados como resultado de la reducción de humedad a nivel de cuenca del río Colorado, la principal fuente de abastecimiento y de recarga del acuífero regional; es decir, la disminución de volúmenes de entrega tanto en la Presa Morelos como en el Canal Sánchez Mejorada. En este sentido, se menciona que el Tratado de Aguas estipula en sus artículos cuarto y décimo que ante la eventualidad de una condición de sequía extrema o fallas graves en el sistema hidráulico, los ocho estados usuarios de la cuenca serán restringidos proporcionalmente a la reducción observada. En congruencia con esto, las actas 319 y 323 del Tratado de Aguas establecen que los niveles de reducción para los usuarios, en caso de que los niveles del agua en la Presa Hoover o Lago Mead, ubicado en la colindancia entre Nevada y Arizona en Estados Unidos, se encuentren en la línea hidráulica crítica de 1 075 pies sobre el nivel medio del mar (psnm), o por debajo de ésta, sufrirían reducciones catalogados en tres niveles. Para el caso de México esto sucedería de la siguiente manera: el primer nivel por debajo de 1 075 y encima de 1 050, la reducción sería de 62 Mm³ al año; el segundo nivel se alcanzaría cuando se encuentre por debajo de 1 050 y encima de 1 025, entonces la reducción sería de 86 Mm³ al año; y el tercer nivel sería cuando la elevación en el Lago Mead se proyecte por debajo de los 1 025 psnm, ahí la reducción será de 154 Mm³ al año (Acta 319 CILA, 2012; Acta 323 CILA, 2017).

Partiendo de experiencia previas observadas al ocurrir disminución de humedad y flujos de agua, se pueden visualizar algunos de los principales efectos esperados en el área de riego del Valle de Mexicali como resultado de la alta variabilidad climática:

- 1) Disminución de la velocidad de flujo.
- 2) Aumento de la concentración salina en el agua del río y acuífero subterráneo.

- 3) Aumento de depósitos de sedimentos.
- 4) Salinización de suelos con características de estratificación y mantos freáticos someros (zona centro y sur del Valle de Mexicali).
- 5) Incremento de costos de operación.
- 6) Disminución de eficiencia de riego a nivel general y parcelario.
- 7) Incremento potencial de conflictos dentro del sector agrícola entre módulos de riego.
- 8) Incremento potencial intersectorial (campo-ciudad) e interregional (zona valle-costa).

Considerando la alta probabilidad de que dichos efectos se presenten, entonces es posible deducir que para la zona del Valle de Mexicali ubicada aguas abajo en la cuenca del río Colorado, las condiciones de variabilidad climática acentuarían los típicos procesos de degradación, específicamente de salinización de los recursos suelo y agua. Esto conlleva al análisis y desarrollo de procesos de adaptación técnica, que de hecho ya se han experimentado en torno al tema de la salinidad en la región durante las décadas de 1960 y 1970, a efecto de disminuir los riesgos y potenciales impactos en la productividad así como también de incursionar en el análisis y desarrollo de procesos de adaptación institucional que involucren, además, los factores de la alta variabilidad climática y para lo cual aún no se tiene suficiente experiencia.

Un marco conceptual y analítico útil para explorar alternativas de adaptación institucional al cambio climático y la salinidad en el Valle de Mexicali

Hacia la gobernanza de los sistemas integrados clima-agua en el Valle de Mexicali

El concepto de gobernanza que aquí se utiliza se toma como referencia del término sugerido en el Proyecto de Gobernanza de la Tierra (Earth System Governance Project Report No. 1). Dicho concepto, derivado de las ciencias sociales, se refiere a las

formas modernas de impulso, soporte, apoyo y promoción de acciones que están frecuentemente descentralizadas, abiertas a la autoorganización y que son menos jerárquicas que las tradicionales formas gubernamentales para la hechura de políticas públicas. Este concepto de gobernanza usualmente incluye también actores no-estatales que van desde los grupos de *cabildeo* industriales y no gubernamentales hasta los científicos, comunidades indígenas, gobiernos locales y organizaciones internacionales (Biermann *et al.*, 2009, p. 14).

Scott *et al.* (2012, p. 6), al abordar el tema de adaptación al cambio climático en zonas áridas, como las del suroeste estadounidense y noroeste mexicano, mencionan que existen diversos enfoques sobre gobernanza del agua que buscan conciliar las múltiples demandas por el recurso hídrico en un contexto de inducción física y humana de escasez y vulnerabilidad. Los autores añaden que los sistemas para distribuir el agua entre usuarios, asignar derechos, establecer prioridades de uso y balancear necesidades humanas y del ecosistema difieren de acuerdo a los contextos históricos, políticos e institucionales. En este sentido, los autores subrayan que la flexibilidad en los procesos de toma de decisiones, particularmente para incorporar nueva información y prioridades cambiantes, favorece los procesos de adaptación.

Desde este marco conceptual, las preguntas a explorar en este trabajo son aquellas referidas a las instituciones, mismas que Biermann *et al.* (2009, p. 16) clasifican como cuestiones de *arquitecturas efectivas* de gobernanza local, regional y global del agua; de *agencia* para comprender los actores que guían tal gobernanza; de *adaptatividad* de sistemas, instituciones y actores; de *responsabilidad, compromiso y legitimidad* de sistemas de gobernanza del agua que al final de cuentas lleva al *acceso a y asignación de* recursos hídricos con equidad y en un marco de sustentabilidad. El marco analítico aquí planteado y desarrollado a continuación, apunta en dicha dirección y, más aún, ayuda a operacionalizar el concepto de gobernanza del agua para este caso.

Análisis institucional: situación-estructura-funcionamiento (S-E-F)

El marco de análisis institucional utilizado aquí se basa en el planteamiento teórico-metodológico sugerido por Schmid (2004). Algunos investigadores que vinculan los aspectos de cuencas hidrológicas, áreas de riego e instituciones, apuntan que los arreglos institucionales incluyen típicamente lo siguiente: 1) el marco legal –políticas, leyes, reglamentos, derechos, regulaciones, acuerdos y costumbres, esto tanto de manera formal como informal–; 2) asociaciones de usuarios de riego con responsabilidades de administración, operación y mantenimiento; y 3) procesos, mecanismos, y procedimientos para la toma de decisiones, coordinación, negociación y planificación (Svendsen, Wester y Molle, 2005, p. 4).

Este trabajo se enfoca en el papel central que tienen los actores locales, particularmente, los usuarios organizados del agua de riego. En el marco de análisis institucional, el término *papel* se refiere a un grupo de expectativas y tareas asociadas a una función específica (Coward, 1980, p. 15) mientras que el término *actores* se refiere a los individuos o grupos que tienen un interés legítimo en los resultados, pero que a la vez pudieran o no tener un papel activo en la toma de decisiones. Este trabajo revisa el papel de los usuarios del agua considerados en este caso como actores clave en el manejo de aguas transfronterizas y del riego en la región del Valle de Mexicali, quienes al final de cuentas enfrentarán los efectos negativos de la alta variabilidad climática y la salinidad del río Colorado.

La típica aplicación inicial en el proceso de análisis institucional se refiere al análisis del impacto institucional, misma que examina de qué manera las instituciones, tanto formales como informales, afectan las transacciones de bienes y servicios. Así, las instituciones informales tales como los hábitos culturales y preferencias, son tratados como datos y es la interacción humana la responsable de dar origen y forma a instituciones formales (Schmid, 2004, p. 11). Una fase subsecuente

de análisis de impacto institucional intenta explicar cómo las estructuras internas de las organizaciones y arreglos contratuales afectan el funcionamiento, en este caso, la gobernanza de aguas transfronterizas y de irrigación.

El entendimiento del análisis de cambio institucional requiere de un modelo evolucionario que atienda lo que Ostrom (1992, p. 24) ve como la influencia de las instituciones en la formación y transformación del comportamiento humano. A este respecto, y en línea con lo que establece Ostrom, las investigaciones de Schmid muestran que los individuos nacen en un contexto institucional que da forma y transforma su pensamiento y, en contraparte, ese pensamiento colectivo de los individuos da forma al contexto institucional. Análisis de cambio –o adaptación– institucional debe explicar los cambios a través del tiempo en las instituciones formales e informales. Finalmente, Schmid (2004, p. 16) apunta que la teoría institucionalista sugiere utilizar un marco analítico que se enfoque en la identificación, entendimiento, descripción y análisis de la situación o contexto, la estructura institucional o política actual y alternativa y el funcionamiento o impacto de dicha estructura institucional. De esta manera, el autor establece que:

Situación (S) se refiere a las características inherentes de los bienes que afectan la interdependencia humana. Las características inherentes del *bien* en este trabajo, específicamente las aguas transfronterizas y de riego en un contexto de alta variabilidad climática, puede ser visualizado como un recurso que genera varios tipos de interdependencias. De acuerdo a Ostrom (1990), para una situación caracterizada por la presencia de un bien tipo recurso de uso común (CPR, por sus siglas en inglés), existen tres fuentes típicas de interdependencia humana, a saber: *a)* incompatibilidad de uso debido a la escasez del bien; *b)* alto o bajo costo de exclusión para el usuario del bien bajo estudio; y *c)* economías de escala, que se refiere a los costos que declinan por cada unidad adicional del bien en cuestión.

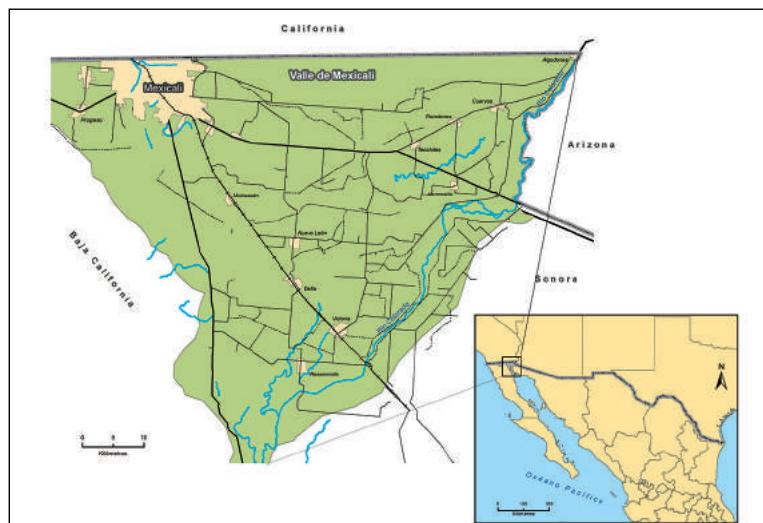
Estructura (E) se refiere a las alternativas institucionales que los actores pueden elegir a efecto de sortear las interdependencias creadas por la situación. Las opciones de estructura institucional pueden ser formales e informales. Las estructuras institucionales pueden ser leyes formales o existentes solo como hábitos sociales –costumbres–. Las estructuras institucionales generales o las formas en que la gente se interrelaciona, incluyen típicamente las siguientes: *a)* transacciones administrativas guiadas por arreglos jerárquicos y de poder; *b)* transacciones negociadas guiadas por arreglos de igualdad; y *c)* transacciones de costumbre tales como las normas sociales aprendidas o habituales, internalizadas e informales.

Funcionamiento (F). Debido a que la gente tiene diferentes intereses que pudieran estar en conflicto, las medidas agregadas de bienestar general podrían no ser ni posibles ni útiles. Las consecuencias del funcionamiento de estructuras institucionales alternativas deben ser desagregadas en términos substantivos referidos al *quién obtiene qué*. Las medidas de funcionamiento deberían estar enfocadas a responder la siguiente pregunta: ¿de quiénes son los intereses que cuentan?, es decir, quién tiene el poder dada la institución A comparada con la institución B. Todas las medidas de funcionamiento en el análisis tienen un actor o participante o un grupo de interés suscrito reflejando las partes involucradas en una transacción (Schmid, 2004, p. 19).

Explorando estrategias de adaptación institucional para la gobernanza y manejo de aguas transfronterizas y del riego

En esta sección se realiza un análisis exploratorio sobre las alternativas de adaptación institucional frente a condiciones de alta variabilidad climática en la cuenca del río Colorado y las altas probabilidades de aumento de temperaturas, reducción de capa de nieve, humedad y flujos de agua, y el consecuente incremento en la concentración de la salinidad de fuentes de agua y suelos en la región de los valles de Mexicali, Baja California y San Luis Río Colorado, Sonora (mapa 1).

Mapa 1. Área de interés: los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado



Fuente: Elaboró Gustavo Vázquez con base en Cortez-Lara (2010).

Tomando como base el marco analítico S-E-F, en el cuadro 1 se muestran escenarios y relaciones con base en una situación prevaleciente y posible, las estructuras institucionales alternativas y los impactos de éstas en la gobernanza y en el manejo local y binacional del agua en la región fronteriza del bajo río Colorado. La explicación posterior enfatiza la relación S-E-F para los actores usuarios del riego de los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado y la amenaza referida a la salinidad como consecuencia de la alta variabilidad climática a nivel de la cuenca hidrográfica del río Colorado.

Sobre la incompatibilidad de uso del agua por la escasez
En lo referente a la situación caracterizada por la incompatibilidad de uso del recurso hídrico, debida por una parte a la demanda creciente y alta competencia a nivel de cuenca binacional y, por otra, a las tendencias de disminución de la

disponibilidad y consecuente estrés hídrico y concentración de sales en el agua que utilizan todos los usuarios en la cuenca del río Colorado, las estructuras institucionales alternativas consideradas en este análisis subrayan, en primer término, la necesidad de una readecuación del Acta 242 (a₁) del Tratado de Aguas, misma que fue firmada en 1973 y en la que se establece el cumplimiento de un diferencial de salinidad del agua entregada a México con respecto a la que mantiene Estados Unidos en la Presa Imperial, esto con base en un promedio anual. Dicho enfoque de diferencial induce problemas técnicos de concentración y acumulación de sales en ciertos días y meses del año, por ende, impactos negativos inmediatos de acumulación de sales en el agua del río Colorado y los suelos del Valle de Mexicali y de San Luis Río Colorado.

Cuadro 1. Cambio climático y salinidad del río Colorado: escenarios de adaptación institucional en el Valle de Mexicali

<i>Situación (S) Agua transfronteriza del Colorado.</i>	<i>Estructura institucional (E)</i>	<i>Funcionamiento (F)</i>
<p>a) Incompatibilidad en el uso (por escasez): calidad actual no equiparable de sales entre EE. UU. y México; y durante períodos de estrés hídrico a nivel de cuenca.</p>	<p>a₁) Readecuación de marco binacional Tratado Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (TILA) (Acta 242) sobre niveles de salinidad en el agua del río Colorado entregada a México.</p> <p>a₂) Acción colectiva con participación y representación efectiva de actores locales (p. ej. Sociedad del Distrito de Riego y Asociaciones de Usuarios) en la CILA.</p> <p>a₃) Reordenamiento productivo y manejo del agua coresponsables en el Valle de Mexicali.</p>	<p>a₁) Homologación de condiciones de calidad de agua México-EE. UU. en Acta 323 de CILA que busque eliminar variaciones diarias y mensuales de salinidad.</p> <p>a₂) Disminución de tensiones binacionales e intrasectoriales en el área de riego.</p> <p>a₃) Tecnificación de riego y drenaje, más la rehabilitación permanente de áreas de riego susceptibles. Manejo agronómico con cultivos tolerantes a la sal y de bajo uso consuntivo.</p>

(continúa)

(continuación)

<i>Situación (S) Agua transfronteriza del Colorado.</i>	<i>Estructura institucional (E)</i>	<i>Funcionamiento (F)</i>
<p>b) Alto costo de exclusión: al limitar a México de recibir agua con calidad equitativa o concentraciones adecuadas de sales en el agua del río Colorado.</p>	<p>b₁) Transacción negociada para establecer normas (estándares) y derechos bajo principios de equidad a nivel binacional.</p> <p>b_{2,1}) Implementación del principio precautorio (ante condición de incertidumbre climática).</p> <p>b_{2,2}) Implementación de programas correctivos para mitigar daños.</p> <p>b₃) Implementación del enfoque compensatorio por externalidades negativas en México.</p>	<p>b₁) Homologación de condiciones (estándares) de calidad de agua México-EE. UU. en Acta 323 de CILA.</p> <p>b_{2,1}) Conservación de fuentes superficiales y subterráneas (manejo de la demanda a nivel binacional).</p> <p>b_{2,2}) Inversión en obras de remoción de sales acumuladas en ambos países.</p> <p>b₃) Apoyos financieros de EE.UU. a México, bajo enfoque cooperativo para infraestructura.</p>
<p>c) Economía de escala: construcción de infraestructura binacional de agua.</p>	<p>c₁) Coordinación para compartir costos fijos y marginales.</p>	<p>c₁) Reducción de costos de inversión y ambientales durante la operación.</p>

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Schmid (2004).

La readecuación que se sugiere a través de una nueva acta que incorpora el tema, y que de hecho se firmó recientemente por ambos países⁶ implica la inducción de un impacto positivo de homologación y equidad entre ambos países y la eventual eliminación de *picos* de concentraciones de salinidad diaria, mensual y anual en los flujos de agua entregados a México por la Presa Morelos o LIN y el Canal Sánchez Mejorada o LIS. Así, se considera el establecimiento de un sistema de monitoreo de sales en tiempo real en los puntos de entrega, de tal manera que se pueda tener un mejor control y posterior manejo de las variaciones de concentración salina y, con ello, la eventual eliminación del enfoque de *promedio anual* del estándar de diferencial entre México y Estados Unidos, y que desde 1973 permite que ingresen

⁶ Acta 323 de la CILA. 21 de Septiembre de 2017.

a México altos niveles de sales en ciertos meses invernales de baja demanda de agua –octubre, noviembre y diciembre– aun cumpliendo con las estipulaciones del Acta 242.

Otras estructuras institucionales referentes a formas de participación de instancias locales de usuarios del riego dentro del seno de la CILA, tales como la representación de la Sociedad del Distrito de Riego, órgano que conglomera a los módulos de riego del distrito (a₂), representan una oportunidad de participación formal de éstos, de tal manera que puedan relacionarse con temas de orden binacional y transfronterizo que les atañen directamente. La CILA en Mexicali tiene establecidos diversos grupos binacionales de trabajo, uno de ellos sobre el tema de la salinidad del río Colorado. Es en este grupo binacional de salinidad donde debe intensificarse el involucramiento efectivo de dichos actores en la toma de decisiones. Por otra parte, la CILA en Mexicali mantiene abierto desde enero de 2015 un foro público donde se abordan los diversos temas que atienden en la CILA región Mexicali denominado Foro Ciudadano de la CILA, mismo que tiene una mesa directiva encabezada por ciudadanos pertenecientes a los sectores productivo, empresarial y académico.

Mecanismos de participación como el que se menciona deben promover el flujo de información oportuna de temas críticos como el de la salinidad, lo que a su vez facilitaría la consulta, el diálogo y la discusión entre las partes, así como la disminución de tensiones de orden binacional, intersectorial e intrasectorial (iego) de la región que utiliza las aguas transfronterizas del río Colorado.

Adicionalmente, una estructura institucional alternativa, ésta en el ámbito local, se refiere a la implementación de programas formales coordinados entre gobierno federal, estatal y usuarios para inducir el manejo adecuado del agua y manejo agro-nómico de los cultivos en el Valle de Mexicali (a₃). Por ejemplo, el Programa de Apoyos 2017-18 promovido por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Baja California (Sedagro-BC), contiene un apartado central de financiamiento tripartita para

infraestructura hidroagrícola mismo que se enfoca a tres áreas: *a)* modernización, rehabilitación y equipamiento del Distrito de Riego 014 enfocado a obras para aguas superficiales; *b)* modernización y tecnificación de unidades de riego enfocada a obras en pozos profundos para extracción de aguas subterráneas; y *c)* infraestructura productiva para el aprovechamiento sustentable de agua y suelos (Sedagro-BC, 2017a). A partir de este marco institucional se establecen las prioridades y mecanismos de concurrencia de recursos que buscan tener un impacto en la tecnificación del riego y manejo agronómico de cultivos en el corto y mediano plazo. Con ello se espera mitigar los efectos negativos del uso ineficiente del agua y la acumulación de sales. Esto último a través del desarrollo de obras de drenaje superficial y parcelario para eliminar los excesos de sal en suelos y agua.

Sobre el alto costo de exclusión de acceso al agua con nivel de salinidad aceptable

La situación de alto costo de exclusión se observa en aquellos usuarios de las aguas transfronterizas del río Colorado ubicados aguas abajo en la cuenca, en el Valle de Mexicali. Esto sucede cuando dichos usuarios resienten los impactos y costos derivados de utilizar agua con un diferencial de calidad en términos de salinidad, estipulado en el Acta 242 y que típicamente es 121 ppm mayor que el registrado en la Presa Imperial, localizada a solo 35 km aguas arriba del punto de entrega a México. El promedio anual de ésta no debe rebasar las 879 ppm, aunque el promedio anual medido en éste último punto de control de salinidad estadounidense para el período de 1973 a la fecha ha sido de 800 ppm (Colorado River Basin Salinity Control Forum, 2014). Es decir que, desde la firma de dicho acuerdo binacional, en el Valle de Mexicali se reciben aguas con un promedio anual de salinidad de 921 ppm en la Presa Morelos. Estos procesos de salinización de origen natural y antrópica conllevan la acumulación neta permanente en suelos y cuerpos de agua del Valle de Mexicali del orden de 1.7 millones de toneladas anuales, lo que afecta negativamente la productividad de

cultivos, principalmente en una área conocida como la *ruta de la sal* que se extiende en aproximadamente 60 000 ha dentro de las 207 000 ha que comprende el Distrito de Riego 014 (Conagua, 2012).

Cortez-Lara (2014) establece que las afectaciones ocasionadas por la salinidad en la producción y productividad de los cultivos del Valle de Mexicali alcanzan niveles de hasta 20 por ciento, ya sea por reducción de superficies o por disminución de rendimientos en los cultivos, donde tres de ellos, el trigo, algodón y alfalfa, representan 65 por ciento de la cédula total de siembra. Así, considerando que dicha región generó un valor de producción de poco más de 6 150 millones de pesos en el año 2015 (Sedagro-BC, 2017b), los costos de las afectaciones tan solo por este concepto en la producción y productividad se estiman en 1 230 millones de pesos anualmente, sin contar las necesidades de inversión de infraestructura para eliminar las sales acumuladas en los suelos y de gastos de operación para mezclar fuentes de agua en bloque⁷ que permitan tener agua en condiciones aceptables para uso agrícola.

Para atender la anterior situación, las estructuras institucionales que sugiere el presente análisis indican, en primer término, la necesidad de establecer nuevas normas y estándares de salinidad que consideren cabalmente los principios de equidad; esto podría lograrse a través de transacciones o mecanismos de negociación binacional en la CILA (b₁). Esto a su vez induciría esquemas de reducción de diferenciales o inclusive la homologación de niveles de salinidad entre ambos países en el corto plazo, y que podrían ser establecidos a partir del Acta 323 en el futuro inmediato, tanto para el punto de entrega del LIN o Presa Morelos en Baja California, como en el LIS o Canal Sánchez Mejorada en San Luis Río Colorado, Sonora. Con esto, quedaría sin efecto la norma técnica que rige los niveles de salinidad o diferenciales de salinidad

⁷ Existe un punto de control en las colindancias de Baja California y Sonora llamado la licuadora, mismo que es operado por los usuarios del distrito de riego, y donde convergen aguas de pozos profundos de la Mesa Arenosa de San Luis con concentraciones de 900 ppm en promedio y las del Canal Sánchez Mejorada que conduce aguas de 1 300 ppm.

que desde 1973 se consideran en las entregas a México y que es de 121 ± 30 ppm en promedio anual entre la salinidad de la Presa Imperial en California y la Presa Morelos en México.

Una segunda estructura institucional alternativa que aquí se propone utilizar, sugiere la implementación del enfoque o *principio precautorio* (b_{2.1}), mismo que considera un compromiso bilateral para tomar medidas necesarias para la preventión de la contaminación en la zona fronteriza entre México y Estados Unidos. Dicho enfoque se encuentra actualmente estipulado en el Artículo Primero del Acuerdo de La Paz, suscrito el 14 de agosto de 1983 por los presidentes de México y Estados Unidos, y que plantea la cooperación en el área de protección ambiental en la zona fronteriza de ambos países. El principio precautorio es un ejemplo de evolución institucional en el ámbito del derecho internacional que no se da con la misma fuerza a nivel de las legislaciones nacionales (González Oropeza, 2005).

La implementación efectiva de este enfoque precautorio o estructura institucional es adecuado tomando en cuenta el contexto de incertidumbre que produce la amenaza del cambio climático a nivel de cuenca y las implicaciones en la reducción de flujos de agua, así como la consecuente concentración y acumulación de sales que contaminan el agua del río Colorado y los suelos, además de los acuíferos o áreas de recarga aguas abajo del mismo curso, principalmente en la franja fronteriza. De manera complementaria, el enfoque correctivo también puede establecerse como alternativa institucional a efecto de mitigar los daños actuales (b_{2.2}).

A partir de ambos enfoques previamente mencionados, es de esperar entonces que se desarrollos, amplíen y pongan en operación, programas de orden binacional e inclusive nacional tendientes, por una parte, a la conservación de fuentes superficiales y subterráneas de agua a efecto de reducir consumos y con ello aumentar la disponibilidad volumétrica y, por ende, la

capacidad de dilución de sales;⁸ y por la otra, a identificar zonas críticas de acumulación de sales –en forma de fuentes difusas de contaminación– e invertir en infraestructura de remoción de sales, tanto entre usuarios en la cuenca alta como de la cuenca baja del río Colorado.⁹

Una estructura institucional alternativa adicional, sugerida para enfrentar esta situación, considera la implementación de transacciones administrativas cooperativas de tipo compensatorio a efecto de atender las externalidades negativas que afectan a México, particularmente al Valle de Mexicali (b₃). Este mecanismo implicaría obtener y aplicar recursos financieros y de apoyo por parte de Estados Unidos para invertir en diversas obras de infraestructura hidroagrícola tendiente a conservar y optimizar el uso del agua superficial y subterránea y, a su vez, contribuir a la remoción de sales acumuladas en los suelos del Valle de Mexicali. Dichas sales podrían ser desalojadas tanto a través del sistema de drenaje parcelario para zonas específicas de suelos pesados –arcillosos– ubicados al norponiente del valle, como a través de la red de drenaje a cielo abierto de manera extendida en toda el área de riego.

En este sentido, existe una brecha importante y hay áreas de oportunidad para mejorar el estado de las cosas, de la operación y uso del agua en el distrito de riego que beneficiaría tanto a la actividad local como al manejo del agua a nivel de cuenca, particularmente en la Presa Hoover que es el punto

⁸ Entre los distintos ejes centrales de las actas 319 y 323 del Tratado de Aguas, se considera abordar este aspecto estableciendo compromisos específicos de conservación de agua en el Distrito de Riego 014, cuya área de influencia son los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado.

⁹ El Acta de Control de la Salinidad de la Cuenca del Río Colorado (The Colorado River Basin Salinity Control Act) requiere llevar a cabo programas de control para reducir la salinidad del río Colorado y para infraestructura de remoción de sales (Ley Pública 93-320, 1974). En el año 2014, se estimó que el río Colorado acarrea un promedio de 9 millones de toneladas de sales anualmente y que con la inversión que actualmente se realiza solo se remueven 1.33 millones de toneladas en el mismo lapso (Colorado River Basin Salinity Control Forum, 2014).

desde donde se envían las aguas que corresponden a México y donde importa mantener las elevaciones –cotas– adecuadas de operación hidráulica. Para el caso del Valle de Mexicali, existen estudios que estiman necesidades urgentes de estas obras cuyos montos oscilan en los 13 000 millones de pesos para aplicarse en un lapso de 5 a 7 años (UABC, 2009).

En este orden de ideas, el Acta 319 del Tratado de Aguas firmada en noviembre del 2012 establece en la medida de cooperación 6 (inciso d), el compromiso de los Estados Unidos para contribuir hasta por un monto de 21 millones de dólares para proyectos de infraestructura de riego y ambientales (Acta 319 CILA, 2012); por otra parte, en el Acta 323 firmada el 21 de septiembre de 2017 se establece un compromiso adicional por parte de Estados Unidos para contribuir con un total de 31.5 millones de dólares para desarrollar proyectos de conservación de agua en México, principalmente en la zona de riego del Valle de Mexicali, esto según se establece en la medida de cooperación IX (apartado A), sobre inversiones y proyectos (Acta 323 CILA, 2017).

Economías de escala: oportunidades de colaboración bajo un enfoque cooperativo

Los procesos de colaboración cooperativa tendientes a lograr economías de escala tanto para el desarrollo de obras o infraestructura binacional como local representan en este marco analítico otra fuente de interdependencia humana o situación que involucra a los actores institucionales relacionados con el problema de la salinidad del río Colorado y el control de sus daños. Una economía de escala se refiere al costo gradual de una unidad física adicional declinando (Schmid, 2004).

La estructura institucional propuesta implica determinar de manera cooperativa en el orden binacional las reglas para compartir los costos fijos y variables de iniciativas para mitigar los impactos de la salinidad y para mejorar la calidad de la fuente de agua que ambas partes, en este caso, ambos países, utilizan como usuarios de la misma cuenca y que de

hecho se sugieren en las actas 319 y 323 del Tratado de Aguas (c₁). Por ende, se estima que los costos totales de inversión en infraestructura hidráulica, hidroagrícola y ambiental se verán reducidos significativamente y los beneficios serán mayores para ambos países en términos de esquemas más efectivos y adecuados de control de salinidad y, consecuentemente, de mejoramiento de las condiciones de calidad al reducir la salinidad de fuentes de agua superficiales, subterráneas y suelos. Estos son aspectos de impacto positivo que nuevos arreglos institucionales promueven en el corto plazo para implementarse a partir de las estipulaciones del Acta 323 del Tratado de Aguas. Con ello se busca tener un uso y manejo del agua más eficiente, justo y sostenible a nivel local y binacional.

Conclusiones

La región transfronteriza del bajo río Colorado, donde se localiza el Valle de Mexicali, se ha caracterizado por los diversos y recurrentes episodios de crisis y conflictos por el agua debido a su naturaleza árida y la necesidad de compartir recursos hídricos entre dos países, distintos sectores productivos y regiones que hacen de éste un recurso escaso, y como tal, altamente competido. Entre estos conflictos sobresale por su carácter de permanente, el de la salinidad del río Colorado, mismo que ha dado lugar a diferencias internacionales, sobre todo por lo dañino de sus impactos en la porción mexicana de la cuenca hidrográfica, tanto en cuerpos de agua como en los suelos agrícolas.

El análisis realizado permite dilucidar diversos aspectos sobre la estrecha relación que existe entre el fenómeno de cambio climático o alta variabilidad climática a nivel de la cuenca, la irrigación en grandes superficies de la misma como una actividad productiva intensiva que usa y reúsa el agua; y los procesos históricos naturales y antrópicos de arrastre por mineralización y acumulación se sales en los cuerpos de agua y tierras agrícolas, tanto en la porción estadounidense como en la mexicana.

Se observa también, como el cambio climático representa un factor adicional que acentúa los procesos de salinización y que bien podemos nombrar como la nueva etapa de salinización del agua del río Colorado, pues al disminuir los niveles de humedad y elevarse los de las temperaturas y evaporación se produce una concentración adicional que está generando nuevos retos de gestión y operación para el control de sales en la cuenca del río Colorado.

Esto se hace más notorio a partir de finales de 1999, cuando inició el período de sequía más prolongado de los últimos cien años, mismo que a su vez es el período más seco de los últimos 1000 años. La repercusión que de ello se observa en el orden binacional es que la porción estadounidense está teniendo dificultades para cumplir con el diferencial de salinidad promedio anual establecido en el Acta 242 para las entregas de agua a México, ya no se diga el de las variaciones diarias y mensuales durante cada año. Adicionalmente, la tendencia, de acuerdo al comportamiento del clima global en la cuenca, es a que se presente un problema más agudo de concentración de sales aguas abajo y con ellos mayores riesgos para la porción mexicana y el Valle de Mexicali, en particular por sus características intrínsecas de ubicación y de los suelos estratificados.

Ante este escenario complejo, este trabajo examina y explora, apoyado en las bondades y fortalezas que ofrece el marco de análisis institucional, las alternativas que ayudan e inducen la adaptación institucional al cambio climático, la gobernanza local y binacional efectiva del agua y la atención de la problemática específica de salinidad que se presenta en las aguas transfronterizas del bajo río Colorado.

Esta poderosa herramienta teórico-metodológica identifica tres principales fuentes de interdependencia humana predominantes, mismas que ofrecen el contexto o *situación* prevalente. Primeramente, se subraya la incompatibilidad de uso entre los diversos usuarios de la cuenca, sectores productivos y regiones, esto debido a la escasez natural o inducida que a su vez deteriora la calidad del agua e incrementa la salinidad

del agua. En este caso, el marco analítico permite sugerir estructuras institucionales de readecuación del marco binacional del agua referente al Acta 242, la acción colectiva y la apertura de participación de actores locales clave del riego en el seno de la CILA y la reordenación productiva en el Valle de Mexicali. Todas estas estructuras conllevarían a la mejora y eventual eliminación de las variaciones diarias y mensuales de salinidad, y con ello la disminución significativa de conflictos del orden binacional y local. Adicionalmente, se esperarían modificaciones sustanciales en las formas de desarrollar cultivos y usar el agua en el Valle de Mexicali.

En segundo término se identifica la situación de alto costo de exclusión para los usuarios aguas abajo, específicamente en el Valle de Mexicali, que sufren los impactos negativos de la salinidad principalmente en la zona agrícola, y quienes tienen que realizar inversiones en infraestructura para remover las más de 3.6 millones de toneladas de sales que ingresan a la zona agrícola anualmente. Inclusive tienen que eliminar las sales de las raíces de los cultivos a través del uso de láminas adicionales de agua, lo cual también representa un costo elevado y un uso del agua que va en detrimento de la eficiencia. Lo anterior se aborda a través de la combinación de diversas alternativas institucionales y cambios en los enfoques de gestión del agua que implican modificar estándares de calidad, inducir el *principio precautorio* ante las condiciones de incertidumbre que genera el cambio climático, la implementación de programas correctivos y la implementación del *enfoque compensatorio*. Con ellos, se esperaría lograr la homologación de condiciones de salinidad entre ambos países, esto a partir del Acta 323 del Tratado de Aguas, la intensificación de iniciativas de conservación y de agua, la remoción de sales con mayores inversiones y, finalmente, la utilización de recursos de Estados Unidos para realizar inversiones en las zonas de riego del Valle de Mexicali.

La tercera y última situación se refiere a las economías de escala que en el orden binacional se identifican como oportu-

tunidades de invertir y compartir costos fijos y variables para enfrentar de manera cooperativa la problemática de la salinidad del río Colorado. En este caso, las instancias binacionales como la CILA y las de apoyo a ésta, Buró de Reclamaciones y Conagua, respectivamente, establecerían de manera coordinada los mecanismos y las prioridades de inversión para obtener resultados de corto y mediano plazo enfocados a la reducción de impactos económicos y ambientales en la región binacional y en el Valle de Mexicali en particular, derivados de la salinidad del río Colorado.

Finalmente, ante el fenómeno del cambio climático que ya se percibe en la cuenca del río Colorado, así como el impacto esperado en los procesos de salinización de cursos, cuerpos de agua y suelos a lo largo del río Colorado, el presente análisis ofrece alternativas de adaptación institucional que permiten y favorecen una gobernanza efectiva del agua a nivel binacional y local en la región donde se comparten las aguas transfronterizas. Dichas alternativas tienen la intención de inducir un uso más justo, equitativo y sostenible del agua en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado.

Referencias

- Acta 242 Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (1973). *Solución permanente y definitiva del problema internacional de la salinidad del Río Colorado*. Ciudad de México-Washington, D.C.
- Acta 319 Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2012). *Medidas interinas de cooperación internacional en la Cuenca del río Colorado hasta el 2017 y ampliación de las medidas de cooperación del Acta 318, para atender los prolongados efectos de los sismos de abril de 2010 en el Valle de Mexicali, Baja California*. Coronado, California.
- Acta 323 Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2017). *Ampliación de las medidas de cooperación y adopción*

- de un plan binacional de contingencia ante la escasez de agua en la Cuenca del río Colorado.* Ciudad Juárez, Chihuahua.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. y Palutikof, J. P. (Eds.). (2008). *Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change.* Ginebra, Suiza: IPCC Secretariat.
- Biermann, F., Betsill, M.M., Gupta, J., Kanie, N., Lebel, L., Liverman, D., Schroeder, H. y Siebenhüner, B. (2009). *Earth system governance: people, places and the planet. Science and implementation plan of the earth system governance project. Earth system governance report 1.* IHDP Report 20. Bonn, IHDP: The earth system governance project.
- Cervantes R., M. y Bernal R., F.A. (1991). Comportamiento de la Salinidad en el agua del Río Colorado. En J. L. Trava Manzanilla, J. Román Calleros y F. A. Bernal Rodríguez (Eds.), *Manejo ambientalmente adecuado del agua* (pp. 129-135). Tijuana: El Colef.
- Colorado River Basin Salinity Control Forum. (2014). *2014 Review. Water Quality Standards for Salinity Colorado River System.* Denver, Colorado.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (1991). *Efectos del Revestimiento del Canal Todo Americano sobre Territorio Mexicano.* Mexicali, B. C.: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (1997). *Problemática del Río Colorado, Gerencia Regional de la Península de Baja California* [documento interno]. Mexicali, B. C.: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región hidrológico-administrativa I Península de Baja California.* Ciudad de México: Autor.
- Cortez-Lara, A. A. (2006). Opposing Approaches to Managing Shared Water Resources: The Lining of the All-American Canal and the Mexicali Valley. Static Market Equilibrium or Nash Equilibrium? En V. Sánchez Munguía (Ed.), *Lining the All-American Canal: Competition or cooperation for Water in the U.S.-Mexican Border? Southwest Consortium for Environmental*

- Research and Policy, Monograph Series 13* (pp. 197-212). San Diego: SDSU/SCERP/El Colef.
- Cortez-Lara, A. A. (2010). *Irrigation and transboundary water management in the lower Colorado River: The changing role of agriculturists in the Mexicali Valley, Mexico*. Estados Unidos: UMI Dissertation Publishing/ProQuest LLC/Ann Arbor/MI.
- Cortez-Lara, A. A. (2014). *Transboundary Water Conflicts in the Lower Colorado River Basin: Mexicali and the Salinity and the All-American Canal Lining Crisis*. Tijuana: El Colef.
- Coward Jr., E.W. (1980). Irrigation Development: Institutional and Organizational Issues. En E. W. Coward Jr. (Ed.), *Irrigation and Agricultural Development in Asia* (pp. 15-27). Nueva York: Cornell University Press.
- Food and Agriculture Organization (FAO), (2003). *Word agriculture: towards 2015/2030*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y4252e.pdf>
- García, G., López, A. y Navarro Urbina, J. A. (2006). Lining the All-American Canal: Its Impact on Aquifer Water Quality and crop Yield in Mexicali Valley. En V. Sánchez Munguía (Ed.), *The U.S.-Mexican Border Environment: Lining the All-American Canal: Competition or Cooperation for Water in the U.S.-Mexican Border?* (pp. 77-100). SCERP Monograph Series No.13. San Diego: SDSU Press/SCERP/El Colef.
- Gerlak, A. K. y Wilder, M. (2012). Exploring the textured landscape of water insecurity and the human right to water. *Environment, 54*(2).
- González Oropeza, M. (2005). La internacionalización de la frontera México-Estados Unidos en el marco legal. En A. A. Cortez Lara, S. Whiteford y M. Chávez Márquez (Coords.), *Seguridad, agua y desarrollo: El futuro de la frontera México-Estados Unidos* (pp. 233-250). Tijuana: El Colef/Michigan State University.
- Herrera, J., Norzagaray, M., García, G., Cortez, A. y Jorquera, D. (2006). Fluctuations in Quality and Levels of Groundwater

- near the Mexican-Proximate Portion of the All-American Canal. En V. Sánchez Munguía (Coord.), *The U.S.-Mexican Border Environment: Lining the All-American Canal: Competition or Cooperation for Water in the U.S.-Mexican Border?* (pp. 59-76). SCERP Monograph Series No.13. San Diego: SDSU Press/SCERP/El Colef.
- Ley Pública 93-320. (1974). *Colorado River Basin Salinity Control Act*. Washington, D.C.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (1992). *Crafting Institutions for Self-governing Irrigation Systems*. San Francisco: Institute for Contemporary Studies Press.
- Pulwarty, R., Jacobs, K. y Dole, R. (2005). The hardest working river: drought and critical water problems in the Colorado River basin. En D. Wilhite (Ed.), *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*. Boca Raton, Florida: Taylor and Francis Press.
- Sánchez, V. (2006). Context and implications for Resolving a Complex Binational Issue: Lining the All-American Canal. En V. Sánchez Munguía (Coord.), *The U.S.-Mexican border environment: Lining the All-American Canal: Competition or Cooperation for Water in the U.S.-Mexican Border?* Tijuana: El Colef/SCERP.
- Schmid, A. A. (2004). *Conflict and Cooperation. Institutional and Behavioral Economics*. Nueva Jersey: Blackwell Publishing Ltd.
- Scott, C. A., Varady, R. G., Meza, F., Montaña, E., De Raga, G. B., Luckman, B. y Martius, C. (2012). Science-policy dialogues for water security: addressing vulnerability and adaptation to global change in the arid Americas. *Environment*, 54(3).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2018). *Programa de Información y*

- Estudios Agropecuarios.* Delegación Estatal en Baja California. Mexicali, B. C.
- Secretaría de Fomento Agropecuario de Baja California (Sedagro-BC). (2017a). *Programas de Apoyo 2017. Folleto Informativo. Gobierno del Estado de Baja California*, Mexicali, B.C.
- Secretaría de Fomento Agropecuario de Baja California (Sedagro-BC). (2017b). *Programa Especial de Desarrollo Rural para la Región del Valle de Mexicali 2015-2019*. Gobierno del Estado de Baja California, Mexicali, B.C.
- Secretaría de Relaciones Exteriores de México (SRE). (1975). *La salinidad del Río Colorado: una diferencia internacional*. Ciudad de México: Colección del Archivo Histórico Diplomático Mexicano.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Stewart, B. A., Lal, A. y El-Swaify (2008). Drylands, people and land use. En P. Koohafkam y B. A. Stewart (Eds.), *Water and cereals in drylands* (pp. 15-30). Nueva York: FAO.
- Stewart, I.T., Cayan, D. R. y Dettinger, M. D. (2005). Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *J. Climate*, 18, 1136-1155.
- Svendsen, M., Wester, P. y Molle. F. (2005). Managing River Basins: An Institutional Perspective. En M. Svendsen (Ed.), *Irrigation and River Basin Management. Options for Governance and Institutions* (pp. 1-4). Wallingford, UK/Colombo, Sri Lanka/Cambridge, MA: CABI Publishing/IWMI.
- Udall, B. y Overpeck, J. (2017). The 21st Century Colorado River Hot Drought and Implications for the Future. *Water Resources Research*, 53(3). doi: 10.1002/2016WR019638.
- United States Department of the Interior (USDOI), Bureau of Reclamation (USBOR), Imperial Irrigation District (IID). (1994). *Final Environmental Impact Statement/Final Environmental Impact Report. All-American Lining Project*. El Centro, California: IID.

- Universidad Autónoma de Baja California (UABC). (2009). *Estudio de Diagnóstico del Valle de Mexicali para su Desarrollo Agropecuario. Agua e Infraestructura Hidroagrícola*. Mexicali, B.C.: Autor.
- Upper Colorado River Snowpack Database. (2017). Snowpack in the Upper Colorado River Basin [base de datos en línea]. Recuperado de <http://snowpack.water-data.com/uppercolorado/index.php>
- Varady, R. G. y Ward, E. (2009). Transboundary conservation in context: what drives environmental change? En L. López-Hoffman, E. McGovern, R. G. Varady y K. W. Flessa (Eds.), *Conservation of shared environments: learning from the United States and Mexico* (pp. 9-22). Tucson: University of Arizona Press.

Gestión y usos del Agua

EL USO DOMÉSTICO URBANO DEL AGUA EN EL CONTEXTO DE SUBREGIONES HIDROLÓGICAS: BAJO GRIJALVA, VALLE DE MÉXICO Y SAN JUAN¹

Ismael Aguilar-Benitez

Introducción

El análisis del uso doméstico urbano del agua en México puede ser abordado desde una perspectiva mejor integrada mediante la ubicación de las ciudades en su contexto de cuenca. En la Ley de Aguas Nacionales se define al uso doméstico como:

La aplicación de agua nacional para el uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa, en términos del Artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2016, art. 3).

Como es evidente, en esta definición el uso doméstico no se restringe al ámbito urbano pues se refiere al uso particular de

¹ Este capítulo fue elaborado en el marco del proyecto «Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrográfica: Un análisis de disponibilidad y usos», con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) Proyecto PDCPN-2014-248719.

las personas, independientemente de si viven en zonas rurales o urbanas e incluye además el abrevadero de animales, lo cual en un contexto urbano es poco frecuente, pero muy usual en el ámbito rural. En este trabajo nos referimos al uso doméstico en el contexto urbano como una prioridad derivada del alto proceso de urbanización en México. Este proceso de urbanización se encuentra en conflicto con otros usos y la sustentabilidad hídrica de las regiones en las que se ubican las grandes ciudades.

Por otro lado, la cuenca es el espacio físico o territorio donde ocurre el ciclo hidrológico y las interacciones entre las actividades humanas y los recursos naturales. Cotler define específicamente a las cuencas hidrográficas como espacios territoriales delimitados por un parteaguas donde se concentran escurrimientos y se da una interrelación e interdependencia entre el medio biofísico, los modos de apropiación e instituciones (Cotler, Galindo, González, Pineda y Ríos, 2013, p. 7). Generalmente, se acepta que es en la cuenca donde se pueden establecer relaciones entre los volúmenes disponibles y aprovechables del agua con sus distintos usos e intereses, lo que permite formular alternativas de gestión a partir de su análisis. No obstante, en general el enfoque de cuencas tiene muy poca presencia no sólo en el análisis urbano sino en el campo de la geografía en México, aunque se registra su presencia en el ámbito académico internacional a partir de la década de 1970 (Burgos, Bocco y Sosa, 2015).

Si bien es cierto que la gestión del agua como recurso se encuentra evidentemente asociada a su cuenca hidrológica, la gestión del uso urbano doméstico parece alejarse de esta relación. Los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento agrupan las actividades de captación de agua, tratamiento, suministro de agua entubada a las viviendas y recolección de las aguas una vez utilizadas por los hogares. Estos servicios requieren de una infraestructura que les permita funcionar como un sistema de provisión de servicios públicos. Usualmente, se identifica a esa infraestructura con la capacidad de abastecer servicios a

la población que habita los asentamientos humanos. Como consecuencia, la planeación de esos servicios se concentra en una creciente inversión en infraestructura derivada del crecimiento de la población: la construcción, mantenimiento y ampliación de infraestructura de extracción, tratamiento, conducción y recolección de las aguas residuales. Sin embargo, es imposible que los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento existan sin una adecuada gestión de los recursos hídricos de la cuenca en la cual se ubican.

En este trabajo se sitúa al uso doméstico urbano del agua de tres regiones en el contexto de las subregiones hidrológicas en las que se ubican. Se propone, como recurso analítico, usar la delimitación de Subregión Hidrológica (en adelante SRH) como unidad intermedia entre las grandes divisiones administrativas (regiones hidrológico-administrativas) y las cuencas hidrológicas y/o hidrográficas, microcuencas y acuíferos. Una perspectiva de análisis del uso doméstico urbano del agua en el contexto de cuencas es análoga a los enfoques que consisten en denominar a las ciudades como *cuencas urbanas*, con presencia sobre todo en la literatura en inglés y una propuesta por Dourojeanni y Jouravlev (1999) quienes plantean una gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. No es el propósito de este análisis realizar una crítica a la delimitación oficial de las cuencas –que puede ser y ha sido cuestionada desde un punto de vista hidrológico– ni participar en la polémica entre utilizar la delimitación de cuencas hidrográficas o hidrológicas para la gestión del agua. La pregunta central de interés para este trabajo es: ¿cómo el contexto de cuenca puede aportar a una mejor gestión del uso doméstico del agua en zonas urbanas?

Para ilustrar las condicionantes del uso doméstico urbano del agua en diferentes contextos de cuenca se comparan tres subregiones con distintas características: extensión territorial, disponibilidad de agua, grado de urbanización, tamaño de población de sus zonas urbanas y distintas problemáticas en

el uso doméstico urbano. Las tres subregiones son contrastantes en términos de clima y disponibilidad de agua, lo que les confiere características representativas de la realidad hidrológica diversa del país. Las subregiones de estudio son: Bajo Grijalva en el sureste del país, cuya principal área urbana es la Zona Metropolitana de Villahermosa; el Valle de México en el centro del país, con la Ciudad de México como principal urbe; y Río San Juan (Bajo Bravo) localizada en el norte del país con el Área Metropolitana de Monterrey como principal zona urbana. Se parte de una caracterización general de la disponibilidad de agua estimada a partir de los datos oficiales y se caracteriza la situación de los servicios de agua potable y drenaje en cada subregión y sus principales zonas metropolitanas.

El capítulo se organiza de la siguiente manera. En la primera sección se presentan datos sobre disponibilidad de agua superficial y subterránea para cada subregión. Se describe la problemática del uso de agua en las principales zonas urbanas metropolitanas de las subregiones de estudio (Zona Metropolitana de Villahermosa, Ciudad de México y Área Metropolitana de Monterrey) con relación a la situación de disponibilidad. En la segunda sección se presenta la situación de los servicios de agua potable y saneamiento con base en información de la Encuesta Intercensal 2015 y de la base de microdatos de los Censos Económicos 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), específicamente del Cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua.² En la tercera sección se presentan las conclusiones del análisis del uso doméstico urbano en su contexto de subregión hidrológica y su relación con la disponibilidad de agua.

² Este análisis se realizó con el procesamiento de microdatos mediante el servicio del Laboratorio de Microdatos del Inegi, dentro del proyecto «Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrológica: Un análisis de la disponibilidad y usos», proyecto financiado por Conacyt en la Convocatoria Problemas Nacionales 2014 número 248719. El autor agradece el apoyo del personal del Laboratorio de Microdatos.

Uso doméstico urbano de agua en el contexto de cuencas

México es un país extenso con una superficie de 1 964 000 kilómetros cuadrados en donde, según los datos de la Encuesta Intercensal 2015, habitan 119 530 753 personas en muy distintos contextos hídricos. Uno de los retos más importantes en la gestión del agua es satisfacer de manera sustentable los crecientes requerimientos para uso doméstico en las zonas urbanas del país. El crecimiento de la población en México se concentra en zonas urbanas cuyas fuentes de agua presentan una disponibilidad limitada y cada vez con una mayor incertidumbre. El Sistema Urbano Nacional (SUN) de México se compone por 384 ciudades que se clasifican en: 1) 59 zonas metropolitanas en las cuales vive 79 por ciento del total urbano; 2) 78 conurbaciones con 6 por ciento de la población urbana; y 3) 247 centros urbanos con sólo 15 por ciento de la población urbana. Juntas, las zonas metropolitanas y conurbaciones concentran 85 por ciento de la población; mientras que el subsistema principal (135 ciudades con 50 000 habitantes y más), concentra 92 por ciento de la población del sistema urbano (Conapo, 2012).³ Para 2015, 78.8 por ciento de la población, casi ocho de cada diez personas vivían en ciudades, localidades consideradas como urbanas, de 2 500 o más habitantes.

La concentración y rápido crecimiento de la población implican no sólo el incremento de inversión en infraestructura hídrica para los servicios de agua entubada, alcantarillado y saneamiento sino también una fuerte presión para las fuentes de abastecimiento de agua localizadas en un área geográfica con viabilidad sustentable para su uso. Aunque, en general, en el país sigue predominando un enfoque orientado a la oferta de servicios de agua y a indicadores básicos de cobertura y desempeño operativo. La situación extrema de los grandes centros de población

³ El SUN es el conjunto de ciudades de 15 000 habitantes o más. Éste se integra por 384 ciudades que se clasifican en zonas metropolitanas, conurbaciones y centros urbanos; identificados y definidos a partir del marco geoestadístico del Censo de Población y Vivienda 2010.

que se encuentran en cuencas con nula disponibilidad de agua, o la exposición a riesgos hidrometeorológicos extremos, derivados por la incertidumbre del cambio climático (sequías e inundaciones principalmente) que afecta a los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento, obligan a considerar lo que sucede con las cuencas y su gestión en la planeación del agua urbana.

Como ejemplo de una experiencia de aplicación de medidas específicas, con un enfoque que incorpora a la gestión de cuencas en la planeación del agua urbana, se encuentra documentada la experiencia de la ciudad de Nueva York (National Research Council, 2000). En el Memorando de Acuerdos de la Cuenca de la Ciudad de Nueva York se propuso: 1) la compra de terrenos de una cuenca adjunta (Catskill/Delaware) que abastecía 90 por ciento del agua de la ciudad y era predominantemente de propiedad privada; 2) la regulación de actividades en la cuenca para reducir la contaminación del agua; y 3) el pago a las comunidades de la cuenca para promover el desarrollo económico local y la protección de la misma. Estos son ejemplos de medidas de gestión que un enfoque de cuencas puede generar para el uso urbano del agua, aunque no son las únicas.

En México se identifican algunos estudios que han intentado incorporar el enfoque de cuenca, principalmente para el caso específico de la Ciudad de México. Ezcurra, Mazari, Pisanty-Baruch y Aguilar (2006), abordan el caso de la cuenca de la Ciudad de México como una megalópolis en situación ambiental crítica, uno de cuyos aspectos más vulnerables son los impactos de la urbanización sobre los recursos hídricos. Legorreta (2006) aborda los problemas de la cuenca de la Ciudad de México desde una perspectiva histórica de su problemática hidráulica y propone una restauración de la naturaleza lacustre de la ciudad, el aprovechamiento de las aguas superficiales aún existentes y el agua de lluvia para hacer viable la mega urbe. Los escasos intentos por aplicar el enfoque de cuenca al estudio y la planeación del uso doméstico urbano del agua, concentrados hasta ahora en la Cuenca del Valle de

México, reflejan las limitaciones que existen para su análisis y una clara deficiencia en el conocimiento que podría aportar este enfoque para una mejor planeación del uso doméstico del agua en las ciudades.

Como un primer elemento importante para poder incorporar a la cuenca en la planeación de los servicios del agua se requiere una delimitación apropiada de la misma. Sin embargo, la definición misma de cuenca puede ser confusa, usualmente en México se habla de manera indistinta de cuencas hidrográficas o hidrológicas (Landa y Carabias, 2008). La cuenca hidrográfica se refiere a un espacio territorial delimitado por líneas imaginarias generadas por las partes más altas del territorio (parteaguas), en donde se distribuyen y concentran escurreimientos de agua que forman ríos y arroyos que desembocan en un punto común llamado punto de salida de la cuenca, el cual puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica) (Cotler *et al.*, 2013). Por otro lado, la cuenca hidrológica se define en general como el territorio delimitado por parteaguas pero que incluye tanto el agua superficial como las fuentes de agua del subsuelo o acuíferos (Monterrosa, 2015; Domínguez, 2015). No obstante, en la práctica, las aguas subterráneas se han clasificado por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) en 653 acuíferos que no necesariamente coinciden con la delimitación de las cuencas, cuyo verdadero volumen de agua es muy costoso de estimar y por lo tanto no se conoce con certeza (Landa y Carabias, 2008). La delimitación espacial de las cuencas es entonces compleja y refleja limitaciones para su conocimiento.

Sin embargo, existen algunos esfuerzos para la delimitación de cuencas en México. En 2007 se definieron 1 471 cuencas hidrográficas. Esta demarcación fue elaborada de manera conjunta por el Inegi, el entonces Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, [INECC]) y Conagua (Cottler 2010). A pesar de la existencia de esa clasificación, en 2009 Conagua publicó una división propia del país en

37 regiones y 78 subregiones hidrológicas. En esas 78 subregiones hidrológicas en las que oficialmente está dividida la República Mexicana, se encuentran 731 cuencas hidrológicas, cuyos límites y disponibilidades se publican en el Diario Oficial de la Federación (DOF) (Conagua, 2017). Un aspecto importante a considerar es que la Conagua utiliza a las regiones hidrológico-administrativas como unidades espaciales para la publicación periódica de estadísticas oficiales del agua. Por lo tanto, la disponibilidad de información sobre disponibilidad se encuentra agregada de acuerdo con esa clasificación. En general, la clasificación oficial de cuencas en México se identifica según algunos autores con un sesgo político-administrativo y un enfoque técnico-ingenieril (Cotler, 2015).

Existen algunas tentativas conceptuales que proponen a la cuenca hidrográfica como unidad de gestión espacial y marco de integración de procesos que debe considerarse en el diseño e implementación de políticas públicas (Burgos *et al.*, 2015). Esa propuesta no se limita al manejo de los recursos naturales, sino que implica también los procesos sociales relacionados. Algunos de los retos que ese enfoque implica para la formulación de políticas públicas son los siguientes: 1) la imposibilidad de conciliar los límites físicos (hidrográficos) con los políticos (municipios, estados), y 2) la integración del manejo de cuenca y sus recursos naturales con los procesos sociales en políticas públicas que en la práctica continúan siendo sectoriales. En la práctica, la cuenca hidrográfica parece poco viable como unidad hidrológico-geográfica de integración para el uso urbano del agua; usualmente el crecimiento de las zonas urbanas lleva a rebasar límites municipales y en el modelo de gestión actual, enfocado a la oferta, su población requiere agua fuera de la cuenca en que se ubica.

Esta situación hace necesario recurrir a delimitaciones hidrológico-geográficas distintas a las cuencas para el estudio de los usos del agua, que permitan realizar un análisis con escalas acordes a la información disponible y que posibiliten la definición e implementación de políticas públicas. El análisis de la gestión del agua se ha emprendido desde distintas

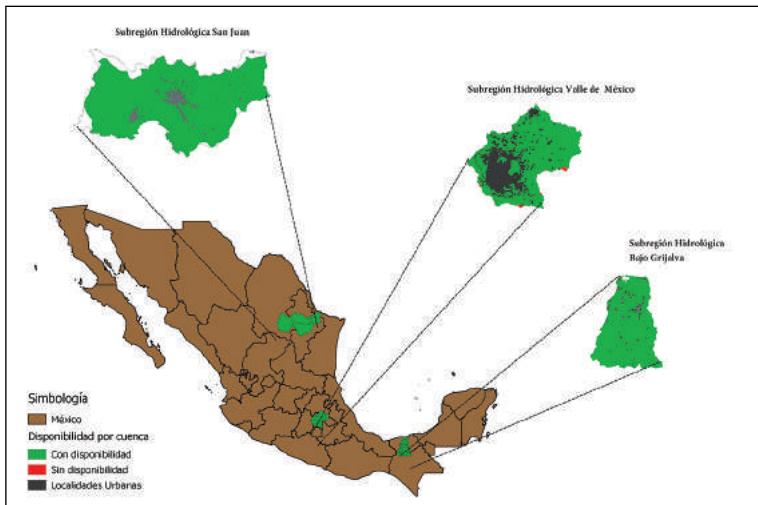
perspectivas (económica, social, ambiental) y a diferentes escalas espaciales o a partir de distintas delimitaciones normativas: cuencas hidrográficas, cuencas hidrológicas, subcuencas, microcuencas, regiones hidrológico-administrativas, subregiones, presas, distritos de riego, distritos de temporal tecnificado y sistemas de abastecimiento público, entre otros (Vega, 2015). En este trabajo se utiliza la delimitación de subregiones hidrológicas como unidad de análisis que permite integrar la información de cuencas para el uso doméstico urbano del agua y, potencialmente, la definición de medidas de gestión en un ámbito regional.

La SRH, en tanto unidad, presenta como ventaja la posibilidad de integrar información oficial disponible de las cuencas que la forman y sobre los usos del agua en las zonas urbanas y el resto de la subregión. Una premisa particular de este trabajo es que, partir de la subregión hidrológica como unidad de análisis para el uso doméstico urbano, puede ser útil para definir los límites naturales a fin de que las grandes zonas urbanas sean sostenibles bajo el actual contexto de incertidumbre en la disponibilidad de recursos hídricos. La necesidad de establecer límites al crecimiento como parte de la sostenibilidad global no es ni mucho menos una idea nueva. Meadows, Meadows, Randers y Behrens (1972) plantearon esta idea, misma que se recupera con distinto enfoque recientemente en los planteamientos de Sachs (2015). En este trabajo el propósito, mucho más modesto, es considerar que el crecimiento urbano debe partir de la disponibilidad natural de agua en una delimitación espacial en la que pueda ser sostenible sin afectar a otras cuencas y regiones. Para ello un primer aspecto necesario es conocer la disponibilidad de agua en las subregiones hidrológicas en las que las grandes ciudades se ubican. Como se verá en este trabajo, usualmente este conocimiento es limitado y no determinante para la calidad y eficiencia de los servicios del agua en las ciudades, pero es una condicionante que debe tomarse en cuenta para la planeación hídrica y urbana.

Disponibilidad de agua en las subregiones hidrológicas San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

Para la administración del agua, la Conagua divide al país en 13 Regiones Hidrológico Administrativas (RHA). Los límites de las RHA toman en cuenta la división política municipal, lo cual se asume que facilita la integración de datos socioeconómicos. No obstante, y precisamente por la inclusión de la división política municipal, la delimitación de RHA presenta diferencias con los límites naturales de las Regiones Hidrológicas (RH) y los de las subregiones hidrológicas que las integran. Para reducir esas diferencias de delimitación, en este trabajo ubicamos a las subregiones de estudio en su contexto de RH. El mapa 1 muestra la localización geográfica de las tres subregiones hidrológicas de estudio en el contexto de las 37 RH definidas por la Conagua en 2009.

Mapa 1. Localización de las SRH de estudio, cuencas que la forman y clasificación por disponibilidad



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), Conagua (2016).

En los recuadros de la parte superior del mapa 1 se muestran las cuencas que se encuentran dentro de los límites de cada subregión de estudio y su situación general de disponibilidad de acuerdo con los datos oficiales de la Conagua para 2015. Más adelante, en esta sección se detalla esta situación de disponibilidad de agua superficial. Se puede observar que las subregiones tienen, además de extensiones distintas, una composición diferente en cuanto a número y tamaño de cuencas, áreas urbanizadas (mancha urbana en color negro) y situación de disponibilidad. También se observan diferencias en la distribución de las áreas urbanizadas, en las que se realiza el uso doméstico urbano del agua. Enseguida se describen las características de cada subregión.

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva o Grijalva-Villahermosa

La SRH Bajo Grijalva se localiza en el sureste del país, al Noroeste de la RHA 11 Frontera Sur y dentro de la RH 30. Esta SRH tiene una superficie de 9 252.75 km² y abarca parte de los estados de Chiapas (15 municipios) y Tabasco (12 municipios). Esta subregión hidrológica está limitada al norte por el Golfo de México, al este por la subregión Grijalva-Usumacinta, al sur por las Subregiones Hidrológicas Alta Grijalva y Usumacinta, y al oeste por la subregión Coatzacoalcos.

La precipitación en la subregión Bajo Grijalva es una de las más altas del país, con una media anual de 2 143 mm (Conagua, 2012a). La temporada de lluvias abarca la mayor parte del año, en general de mayo a febrero. Sólo la primavera es relativamente seca, en verano llueve con intensidad; sobreviniendo lluvias torrenciales conocidas como turbonadas. El núcleo de población más grande de la subregión y el de mayor importancia económica, principalmente por la industria petroquímica, es la ciudad de Villahermosa. El mayor crecimiento de población en Villahermosa y la subregión se registró en la década de 1980, derivado del auge petrolero. Sin embargo, en 2010 la tasa de crecimiento se estimaba menor a la nacional (0.69 vs. 0.72). La problemática hidrológica principal de la cuenca se deriva de las

inundaciones a consecuencia de la poca pendiente del terreno (en Tabasco el 60 % del territorio tiene un nivel inferior a 20 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.). La región hidrológica se ve afectada, en toda su extensión, por inundaciones propiciadas por ciclones y frentes fríos que en las áreas de escasa pendiente dificultan su drenaje, ocasionando daños materiales y humanos. En octubre de 2007 se registró el desbordamiento del río Grijalva y en menor grado, del río Carrizal, inundando a 70 por ciento del territorio de Tabasco. Esas inundaciones afectaron principalmente a Villahermosa y causaron daños a 19 744 hectáreas de agricultura (Conagua, 2012a). Los ríos Pichucalco, Tacotalpa y Tulija son afluentes del río Grijalva y las principales fuentes de agua asociadas a las inundaciones en la planicie tabasqueña (Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos, 2010). Otro problema grave es la contaminación de las corrientes y cuerpos de agua generada por las descargas de los centros urbanos e industriales.

En el Programa Hídrico Regional Visión 2030 (Conagua, 2012a), se estableció como una de las políticas hídricas necesarias para la región hidrológica Grijalva-Usumacinta la intención de lograr asentamientos seguros contra inundaciones catastróficas a partir de dos objetivos: 1) reducir los riesgos y mitigar los efectos nocivos que producen los fenómenos naturales extremos, particularmente las inundaciones catastróficas; 2) prever los efectos que se puedan presentar con el cambio climático. La mayor inversión se proponía para el Bajo Grijalva-Planicie Tabasco y era de 9 348 millones de pesos, destinados al Programa Integral Hidráulico de Tabasco (PIHT). Según ese mismo documento, las causas de los problemas de cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado no están asociadas a la falta de agua en las fuentes de suministro, sino a la insuficiencia en las capacidades de captación, conducción y distribución en las zonas urbanizadas. Desde el año 2003, los servicios de agua correspondientes a los municipios Centro, Balancán y Macuspana del estado de Tabasco son responsabilidad de

los organismos operadores denominados: Sistema de Agua y Saneamiento de Centro (SAS); Sistema de Agua y Saneamiento de Balancán y el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Macuspana (SAPAMA). En las comunidades rurales la falta de cobertura del servicio se relaciona, según la Conagua, con la dispersión de la población, así como con las dificultades técnicas y económicas para la construcción de infraestructura (Conagua, 2012a).

Subregión Hidrológica Valle de México

La SRH Valle de México se encuentra dentro de la RHA 13 Aguas del Valle de México y dentro de la RH 26 Pánuco. Comprende una superficie total de 9 502 km² que incluye a siete cuencas delimitadas dentro de la subregión (Conagua, 2016). Los acuíferos Cuautitlán-Pachuca y Zona Metropolitana de la Ciudad de México son los más grandes de la subregión (3 850 km² y 2 099 km² respectivamente). Dentro de la subregión Valle de México, los acuíferos Texcoco, Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Cuautitlán-Pachuca y Chalco Amecameca, son reportados por la Conagua como sobreexplotados. La Ciudad de México está completamente comprendida en la subregión y dentro de ésta hay tres estados que se traslanan, Estado de México (48 municipios), Hidalgo (13 municipios) y Tlaxcala (4 municipios). Por su carácter eminentemente urbana, la demanda principal de agua en la subregión es para uso público y para su abastecimiento se ha recurrido a los recursos hídricos de otras subregiones (Lerma, Tula, Cutzamala). La extracción de agua subterránea comenzó en 1847 y fue suficiente para abastecer de agua a la Ciudad de México hasta alrededor de 1965 (Ramírez, 1990, citado en Ezcurra *et al.*, 2006, p. 112). En 2004 cerca de 70 por ciento del agua para uso urbano se obtenía de la propia cuenca y 30 por ciento de cuencas externas (Ezcurra *et al.*, 2006).

El tamaño de la mancha urbana de la Ciudad de México y su zona conurbada ha cubierto casi 50 por ciento de las zonas de recarga de sus acuíferos, lo que implica una deforestación

muy importante en todos los bosques de las partes altas de la cuenca y sobre todo la disminución de recarga de los acuíferos (Conagua, 2012b). De acuerdo con las estadísticas del agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII publicadas por la Conagua en 2016, el volumen medio anual de escurrimiento para la subregión Valle de México era de 746 hectómetros cúbicos (hm^3), mientras que el volumen anual de extracción de agua superficial es de 799 hectómetros cúbicos. La principal fuente de abastecimiento de agua ha sido el acuífero del Valle de México. Esta fuente ha sido sobreexplotada por décadas, extrayendo el doble del agua que se recarga, con efectos negativos que se han acentuado en los últimos años. Por ejemplo, los hundimientos de hasta 30 cm por año que traen consigo grietas y daños a la infraestructura de drenaje (Abedrop, 2012). Existen algunas fuentes superficiales de abastecimiento de agua relativamente menores, pero importantes a nivel local; represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El agua superficial de la cuenca del Valle de México contribuye solo con alrededor de tres por ciento ($1,7 m^3/s$) al abastecimiento de agua urbana de la zona metropolitana del Valle de México. El Sistema Cutzamala es la fuente externa de abasto de agua más importante para el Valle de México; está compuesto de un acueducto que transporta a la capital 19 000 litros de líquido por segundo, procedentes de ríos y presas del Estado de México. La importación de agua requiere de una gran infraestructura, la subregión cuenta con 11 presas derivadoras y dos acueductos que sirven para la conducción de $1\ 072.9\ hm^3/año$, provenientes de los sistemas Lerma y Cutzamala (Conagua, 2012b).

Algunas de las medidas políticas formuladas para contrarrestar la problemática general del agua en el Valle de México son: *a)* la rehabilitación al Sistema Cutzamala; *b)* el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable; *c)* disminuir la sobreexplotación de los acuíferos –con lo cual además se pretende abatir el hundimiento de la zona metropolitana–; y *d)* ampliar la capacidad de drenaje mediante la construcción

del Túnel Emisor Oriente (TEO) para intentar reducir el riesgo de inundaciones (Conagua, 2012b). El TEO tendrá una longitud total de 62 km a profundidades de 30 a 150 m y un diámetro de 7 m. Con este túnel se pretende desalojar 150 m³/s para evitar inundaciones en la Ciudad de México. Paradójicamente, en el Valle de México se utilizan acueductos para transportar a la Ciudad de México grandes cantidades de agua desde el Cutzamala y por otro lado se construye un gran túnel para desalojar agua de lluvias.

Subregión Hidrológica Río San Juan

La SRH Río San Juan forma parte de la RH número 24 Bravo-Conchos, localizada en el norte del país, cuyo cauce principal y frontera con Estados Unidos es el río Bravo. La región está integrada por 37 cuencas hidrológicas (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos, 2011). La región Bravo-Conchos está integrada por cuatro subregiones hidrológicas: Alto Bravo, Medio Bravo, Seis Tributarios y Bajo Bravo. Dentro de ésta última subregión se encuentran tres divisiones denominadas: Álamo, San Juan y Bravo Abajo Falcón (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos, 2011). En la delimitación de subregiones publicada por Conagua se reconoce a la subregión San Juan como una de las 78 subregiones del país. Este trabajo se enfoca a la subregión Río San Juan debido a que concentra la mayor extensión en superficie del Bajo Bravo y agrupa la mayor cantidad de población y las zonas urbanas más importantes de la región. Una ventaja adicional de usar la denominación subregión San Juan es que los documentos de planeación regionales (p. ej. Plan Hídrico de Nuevo León) se refieren también a esta subregión. La subregión Río San Juan Tiene una superficie de 30 847.26 km², abarca municipios de los estados de Coahuila (4), Nuevo León (32) y Tamaulipas (3). Esta subregión incluye las cuencas Río San Juan 1, 2 y 3 y Río Pesquería.

En 2011 se estimaba un volumen de extracción de 1 964 millones de metros cúbicos anuales para la subregión San

Juan; de ese volumen 437 millones correspondía a uso público urbano, equivalente a 53 por ciento del volumen que se extrae en toda la región para ese uso (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos, 2011). Uno de los problemas más fuertes en la región es la insuficiencia en el abastecimiento de agua potable para las ciudades que dependen de aguas superficiales del río Bravo, debido a las sequías y específicamente para la subregión San Juan donde se ubica la ciudad de Monterrey y su área conurbada, así como la ciudad de Saltillo en el estado de Coahuila.

Recientemente se han planteado estrategias en Nuevo León tomando en cuenta la situación de la subregión y las cuencas. En el Plan Hídrico 2030 se propone fortalecer fuentes de abasto a corto plazo y el reforzamiento de las fuentes de los acuíferos Campo Buenos Aires y Área Metropolitana de Monterrey.

Disponibilidad de agua en las subregiones de estudio

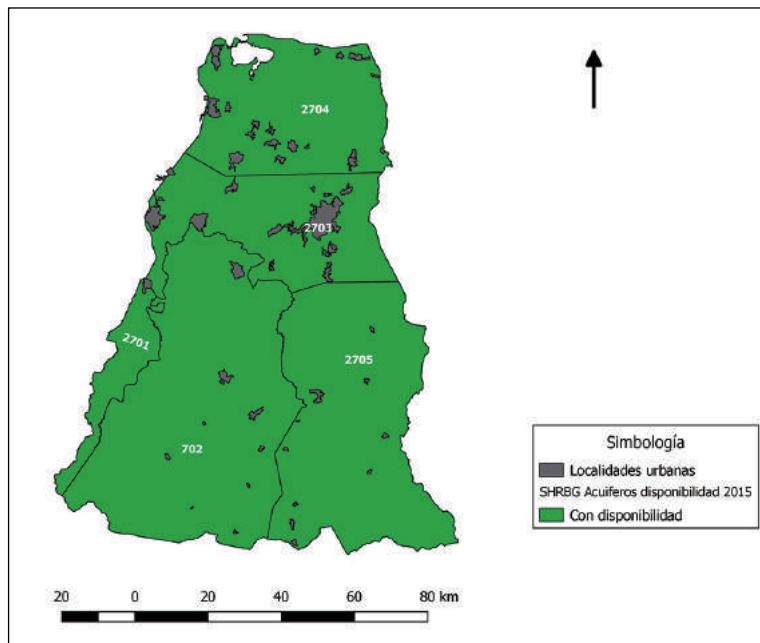
En este apartado se analiza información sobre la disponibilidad de agua superficial y del suelo en las tres subregiones de estudio. La principal fuente de información es el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Conagua; específicamente los estudios de disponibilidad por cuenca hidrológica publicados en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 7 de julio de 2016 y la disponibilidad de los acuíferos en el año 2015; así como los volúmenes concesionados e información sobre volumen consumutivo predominante también por municipio. La disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica se define como: «la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo» (Conagua, 2017, p. 32). En cuanto al agua subterránea, su disponibilidad media anual se define como: «el volumen medio anual de agua subterránea que puede ser concesionada para ser extraída de una unidad hidrogeológica o 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» (Conagua, 2017, p. 262).

La información sobre disponibilidad media anual de agua fue obtenida en capas geográficas por cuenca y acuífero para todo el país, se realizaron cortes definidos por subregiones hidrológicas escala 1:250 000 procesada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para cada tema (p. ej. disponibilidad de agua en acuíferos, volumen concesionado, etc.). Es importante notar que ni la delimitación de cuencas hidrológicas ni de los acuíferos reportados por el SINA corresponde exactamente con la delimitación de las subregiones hidrológicas (definida en 2007 y publicada por Conagua en 2009). Para enfrentar esta limitación en la información se estimó disponibilidad solamente para las cuencas y los acuíferos que se encuentran geográficamente dentro de los límites de cada subregión de estudio, y se excluyeron las cuencas y acuíferos que se traslapaban solo en parte con la subregión hidrológica. Es importante aclarar que éste solamente es un recurso analítico para poder estimar la disponibilidad de agua en las subregiones de acuerdo con los datos oficiales disponibles.

En el caso de la subregión hidrológica Bajo Grijalva, la capa geográfica que delimita a la subregión se traslapa con 27 cuencas hidrológicas definidas por Conagua, todas ellas son clasificadas con disponibilidad de agua (mapa 2). Sin embargo, sólo 16 se encuentran dentro de la subregión. La suma de disponibilidades de las 16 cuencas que pertenecen a la subregión es de 101 949 hm^3 para 2016. Al hacer el recorte de la capa de la subregión Bajo Grijalva sobre la delimitación de acuíferos para determinar la disponibilidad de agua subterránea, ésta toca total o parcialmente diez acuíferos, de los cuales solo cinco se encuentran dentro de la subregión: La Sierra, Samaría-Cunduacán, Centla, Huimanguillo y Reforma. Estos cinco acuíferos se clasifican con disponibilidad y suman un total de 2 555.4 hm^3 (ver cuadro 1). El volumen concesionado en el año 2015, con la información disponible para los 32 municipios dentro de la subregión Bajo Grijalva, fue de 460.9 hm^3 . En el caso del Bajo Grijalva, existe

Mapa 2. Acuíferos y disponibilidad de agua subterránea en la SRH Bajo Grijalva



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

Cuadro 1. Disponibilidad de agua subterránea en acuíferos de la SRH Bajo Grijalva

<i>Clave del acuífero</i>	<i>Nombre del acuífero</i>	<i>Disponibilidad (hm³)</i>
2705	La Sierra	607.95
2703	Samaria-Cunduacán	373.90
2704	Centla	829.24
2701	Huimanguillo	553.35
702	Reforma	190.99

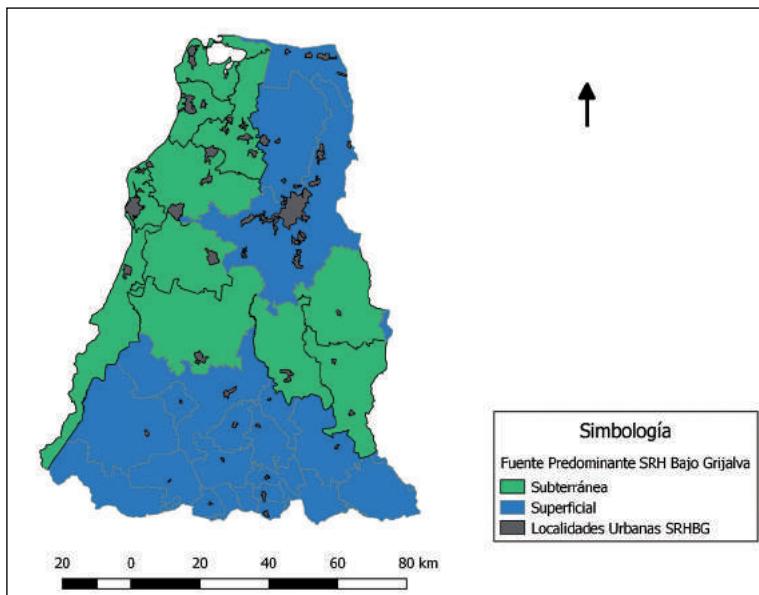
Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea que posibilita el uso del agua adicional a los volúmenes comprometidos o concesionados para su uso.

Es notorio que, de acuerdo con información de la Conagua, las fuentes principales para usos consumtivos en los municipios de la Zona Metropolitana de Villahermosa (mapa 3) son las fuentes subterráneas. Sin embargo, como se verá más adelante, las fuentes específicas para la captación de agua para uso doméstico urbano que el organismo operador reporta son subterráneas.

Para conocer la disponibilidad oficial de agua en el caso de la subregión Valle de México, se repitió el procedimiento de identificación de cuencas hidrológicas y acuíferos dentro de la subregión. La capa geográfica de esta subregión se superpone sobre 19 cuencas

Mapa 3. Fuente de agua predominante para usos consumtivos por municipio en la SRH Bajo Grijalva



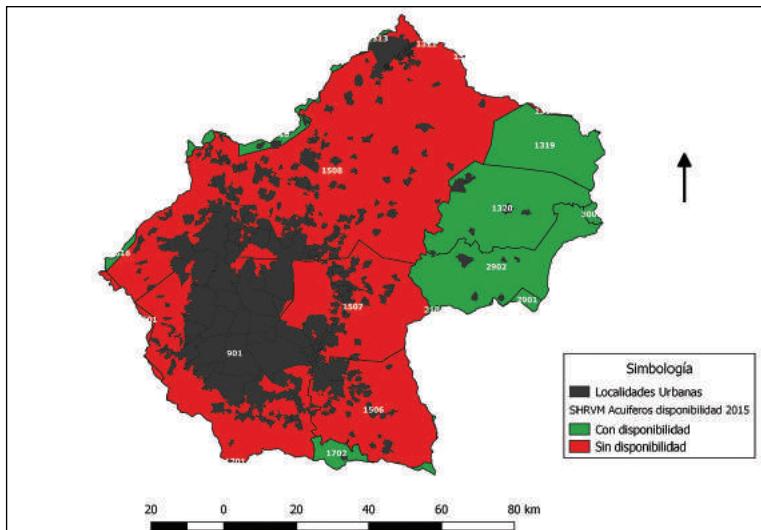
Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

hidrológicas, siete de ellas están dentro de la subregión (Río de las Avenidas, Pachuca; Tochac-Tecocomulco; Río Cuautitlán; Texcoco; Río La Compañía; Xochimilco y Ciudad de México).

El volumen disponible de agua superficial para 2016 se obtuvo simplemente mediante la suma de la disponibilidad de esas cuencas en 3.265 hm^3 . A pesar de que aparentemente, como se vio en el mapa 1, las cuencas de la región tienen disponibilidad, el agua superficial disponible para uso adicional al ya comprometido o concesionado es muy limitada.

Con respecto a la disponibilidad de agua subterránea, los acuíferos se encuentran sobreexplotados, por lo que el registro de los siete acuíferos dentro de la subregión (Soltepec, Texcoco, Chalco, Tecocomulco, Apan, Cuautitlán y Zona Metropolitana de la Ciudad de México) fue deficitario: -711.5 hm^3 para 2015 (mapa 4 y cuadro 2). Esto significa que los volúmenes de agua subterránea comprometida o concesionada exceden la capacidad

Mapa 4. Acuíferos y disponibilidad de agua subterránea en la SRH Valle de México



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

Cuadro 2. Disponibilidad de agua subterránea en acuíferos de la SRH Valle de México

<i>Clave del acuífero</i>	<i>Nombre del acuífero</i>	<i>Disponibilidad (hm³)</i>
3002	Tecolutla	36.49
2901	Alto Atoyac	46.88
2902	Soltepec	34.52
1701	Cuernavaca	23.88
1702	Cuautla-Yautepec	6.51
1507	Texcoco	-111.78
1506	Chalco-Amecameca	-21.63
1317	Valle de Tulancingo	-6.84
1315	Huasca-Zoquital	12.38
1321	Amajac	1.37
1319	Tecocomulco	25.98
1313	Actopan-Santiago de Anaya	87.27
1320	Apan	10.93
1310	Valle del Mezquital	60.50
2104	Valle de Puebla	44.65
1508	Cuautitlán-Pachuca	-58.37
1316	Tepeji del Río	1.46
1501	Valle de Toluca	-136.73
901	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	-591.18

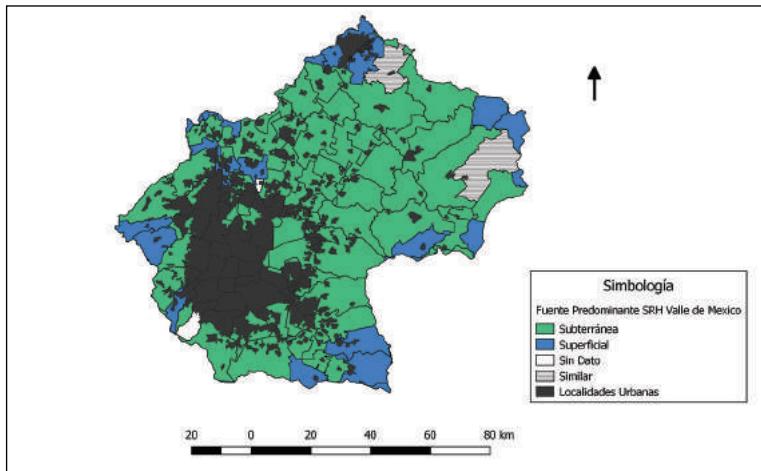
Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

de recarga de los acuíferos de la subregión. El volumen concedido para los municipios de la subregión Valle de México fue de 2 760.6 hm³ en 2015.

La mayoría de los municipios de la SRH Valle de México registran como fuente predominante a las aguas subterráneas (69) aunque varios de ellos (16) recurren a fuentes superficiales (en los estados de México, Tlaxcala, Puebla) y sólo una

delegación (Cuajimalpa) de Ciudad de México reporta como fuente predominante al agua superficial (ver mapa 5). Como puede deducirse, no existe capacidad para usos adicionales a los comprometidos, más aún, los usos actualmente concesionados deberían evaluarse para determinar su viabilidad con base en criterios claros de prelación.⁴

Mapa 5. Fuente de agua predominante para usos consumtivos por municipio en la SRH Valle de México



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

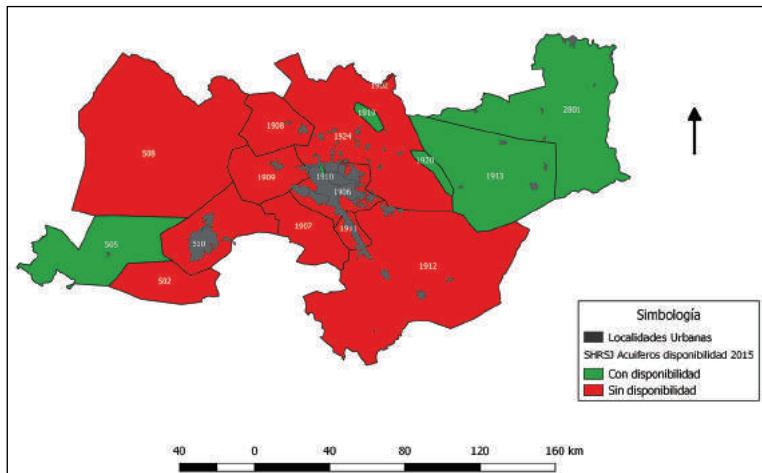
En el caso de la subregión San Juan se observa que ésta es la única de las tres subregiones cuya capa geográfica coincide casi exactamente con los límites de cinco cuencas: Río Pesquería,

⁴ El artículo décimo quinto de la Ley de Aguas Nacionales establece el «orden de prelación de los usos del agua para la concesión y asignación de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales y del subsuelo, aplicable en situaciones normales: 1) doméstico; 2) público urbano; 3) pecuario; 4) agrícola; 5) acuacultura; 6) usos para la conservación ecológica o uso ambiental; 7) generación de energía eléctrica para servicio público; 8) industrial; 9) generación de energía eléctrica para servicio privado; 10) usos para turismo, recreación y fines terapéuticos; 11) usos múltiples y 12) otros usos» (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

Río San Juan 1, Río San Juan 2, Río San Juan 3 y Río Salinas. Esto permite una mejor delimitación para conocer la disponibilidad de agua superficial en la subregión. En el caso de esta subregión, el volumen de agua superficial comprometida o concesionada es superior al volumen esperado de escurrimiento. Las cinco cuencas de la subregión son reportadas sin disponibilidad, con un déficit de 476.67 hm^3 para 2016.

Con respecto a la disponibilidad de agua subterránea, la capa de la subregión San Juan incluye 17 acuíferos, los cuales reportan un déficit general de 67.2 hm^3 . No obstante, seis de ellos se reportan con disponibilidad (Bajo Río Bravo, China-General Bravo, Campo Papagayos, Campo Cerritos, Campo Topo Chico y General Cepeda-Sauceda). El acuífero con mayor disponibilidad es el Bajo Río Bravo (129.7 hm^3), al este de la SRH San Juan en el estado de Tamaulipas (mapa 6 y cuadro 3). La subregión San Juan muestra déficits tanto en disponibilidad de agua superficial como subterránea y, en 2015, tenía concesionados $1\,748.48 \text{ hm}^3$.

Mapa 6. Acuíferos y disponibilidad de agua subterránea en la SRH San Juan



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

*Cuadro 3. Disponibilidad de agua subterránea en acuíferos
SRH San Juan*

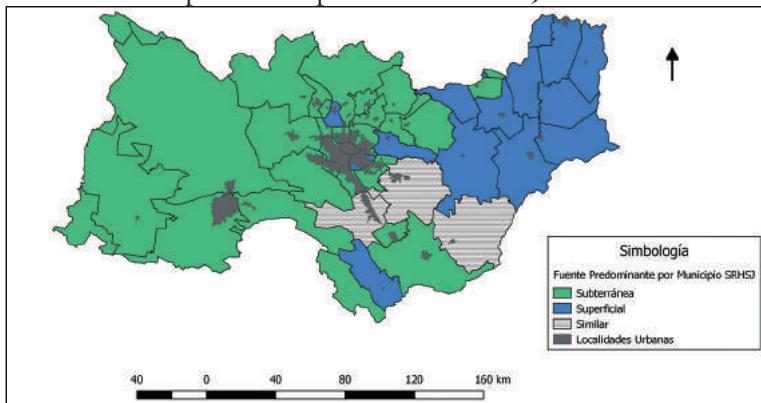
<i>Clave del acuífero</i>	<i>Nombre del acuífero</i>	<i>Disponibilidad (hm³)</i>
2801	Bajo Río Bravo	129.70
1913	China-General Bravo	15.68
1920	Campo Papagayos	0.20
1919	Campo Cerritos	1.41
1924	El Carmen-Salinas-Victoria	-0.45
1910	Campo Topo Chico	0.59
1908	Campo Mina	-7.22
1911	Cañón del Huajuco	-1.75
1907	Campo Buenos Aires	-5.80
1909	Campo Durazno	-0.45
1906	Área Metropolitana de Monterrey	-56.27
1912	Citrícola Norte	-119.51
1902	Sabinas-Paras	-29.45
502	Cañón del Derramadero	-10.53
505	General Cepeda-Sauceda	6.54
508	Paredón	-5.01
510	Saltillo-Ramos Arizpe	-6.29

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

La mayoría de los municipios de la subregión (28 incluidos municipios del Área Metropolitana de Monterrey y Saltillo) tienen a las fuentes subterráneas como principal fuente, mientras que 15 de ellos recurren a fuentes superficiales (mapa 7).

En el cuadro 4 se resumen algunas de las principales características de las subregiones hidrológicas de estudio: población total, volumen de agua concesionado, disponibilidad de agua superficial, agua renovable per cápita para 2015 y agua renovable estimada a 2030. En términos de asentamientos humanos, la SRH Bajo Grijalva muestra una área urbanizada menor, con mayor dispersión espacial y como la única con disponibilidad de agua superficial cuando se compara con las otras dos subregiones de estudio.

Mapa 7. Fuente de agua predominante para usos consumtivos por municipio en la SRH San Juan



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016).

Como se puede ver en el cuadro 4, las dos subregiones con menor disponibilidad de agua superficial, San Juan y Valle de México, tienen un mayor volumen de agua concesionado. En contraste, la subregión Bajo Grijalva registra un volumen concesionado menor con una alta disponibilidad de agua superficial.

Cuadro 4. Características generales de las subregiones hidrológicas de estudio

Subregión hidrológica	Área (Km ²)	Población total 2015 (habs)	Volumen concesionado 2015 (hm ³)	Disponibilidad media anual de agua superficial 2016 (hm ³)	Aqua renovable per cápita al 2015 por RHA (m ³ /hab/año)	Aqua renovable per cápita al 2030 por RHA (m ³ /hab/año)
San Juan	30 847	5 827 614	1 748.48	-877.94	1 003.81	859.66
Bajo Grijalva	9 253	2 270 828	460.907	128 538.79	18 852.05	16 344.14
Valle de México	9 502	19 928 346	2 760.64	19.93	148.42	135.51

Nota: RHA= Región Hidrológico Administrativa / 1 hm³= 1 000 000 m³.

Fuente: SINA, Conagua (2016).

La subregión San Juan tiene una extensión territorial aproximadamente tres veces mayor a las subregiones Valle de México y Bajo Grijalva y su área urbanizada es intermedia; mayor a la del Bajo Grijalva, pero menor al Valle de México. En la subregión Valle de México se observa una mayor área urbanizada en comparación con las otras dos subregiones de estudio. En cuanto a población, la subregión Valle de México muestra una mayor densidad de población. Esta contraste es más fuerte cuando se observa la disponibilidad de agua estimada (alta para el Bajo Grijalva y mucho menor para el Valle de México).

La disponibilidad de agua renovable per cápita se estima como el escurrimiento natural medio superficial interno anual, más la recarga total anual de los acuíferos, más los flujos de entrada menos los flujos de salida de agua a otras regiones (Conagua, 2017). A esta disponibilidad per cápita se le puede clasificar con el indicador de estrés hídrico de Falkenmark en cuatro rangos que definen diferentes grados de estrés (Brown y Matlock, 2011). El rango 1 define a las regiones con menos de $500 \text{ m}^3/\text{hab/año}$ de agua renovable y se califica como escasez hídrica absoluta. El rango 2, de 501 a $1000 \text{ m}^3/\text{hab/año}$, es definido como de escasez hídrica; en el rango 3 la disponibilidad per cápita se encuentra entre $1\,001$ y $1\,700 \text{ m}^3/\text{hab/año}$ y se denomina en situación de estrés hídrico. Finalmente, el rango 4, mayor a $1\,700 \text{ m}^3/\text{hab/año}$, implica que la disponibilidad de agua renovable es alta y por lo tanto no enfrenta estrés hídrico.

De acuerdo con estos criterios, las subregiones de estudio se encuentran en distintas condiciones de estrés hídrico: la subregión Bajo Grijalva se encuentra en el rango 4, no tiene problemas de estrés hídrico; la subregión San Juan se encuentra, en la región 2, bajo estrés hídrico y la subregión Valle de México se halla en el rango 1, situación de escasez hídrica absoluta. Algunas limitaciones de este indicador son que sólo considera agua renovable (podría incluirse por ejemplo las aguas residuales y su reúso); tampoco incluye variaciones estacionales pues es un indicador anual, ni la calidad del agua. Estos aspectos

pueden alterar la disponibilidad real de agua en las regiones de estudio. Por ejemplo, en la subregión Bajo Grijalva, aunque se puede asumir una alta disponibilidad si se considera la calidad del agua, la disponibilidad real puede reducirse. Sin embargo, este indicador proporciona una idea general de la situación de las subregiones. En general, se proyecta que el agua renovable per cápita disminuirá en las tres subregiones, las subregiones San Juan y Valle de México se encuentran ya en situación de estrés hídrico y de escasez absoluta respectivamente (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Captación, volumen concesionado de agua y dotación per cápita por SRH

<i>Subregión hidrológica</i>	<i>Población total 2015 (habs)</i>	<i>Captación total para uso urbano OCTSA 2013 (hm³)</i>	<i>Por ciento del volumen concesionado 2015</i>	<i>Dotación per cápita estimada (l/p/día)</i>
San Juan	5 827 614	518	30%	243
Bajo Grijalva	2 270 828	71	15%	86
Valle de México	19 928 346	1 754	64%	241

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINA, Conagua (2016) y microdatos del cuestionario para los OCTSA aplicado en los censos económicos 2014.

Caracterización del uso doméstico urbano del agua en las tres subregiones de estudio

Como parte de los censos económicos de México, se aplicó en 2014 el cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua (OCTSA), como unidades económicas. Ese cuestionario registra información de 2013 y es la principal fuente estadística de la cual se obtuvieron los datos para caracterizar a los servicios de agua potable y drenaje en las subregiones de estudio.⁵ Para el análisis se asignaron a

⁵ En el año 2000 se realizó en México el 1.^{er} Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua teniendo al Organismo Operador

cada subregión de estudio solamente los municipios cuya cabecera municipal se encuentra dentro de la misma. Este criterio de asignación obedece a que la Constitución señala en los artículos 27 y 115 que son los municipios quienes tienen a su cargo los servicios de agua potable y alcantarillado. En general, las cabeceras municipales concentran a la mayor cantidad de población y los servicios de agua generalmente son provistos desde esa cabecera municipal. De hecho, aproximadamente 70 por ciento de los OCTSA proveen de servicios a la cabecera municipal o a la cabecera y otras localidades del municipio. Finalmente, la asignación de municipios a cada subregión tiene también ventajas prácticas en términos de análisis y planeación. Uno, permite utilizar las estadísticas censales disponibles a nivel de los OCTSA; y dos, permite identificar a los actores político-administrativos (p. ej. municipios y localidades) con mayor influencia en la gestión del agua urbana (Sotelo, Garrido, Ruiz y Cuevas, 2010).

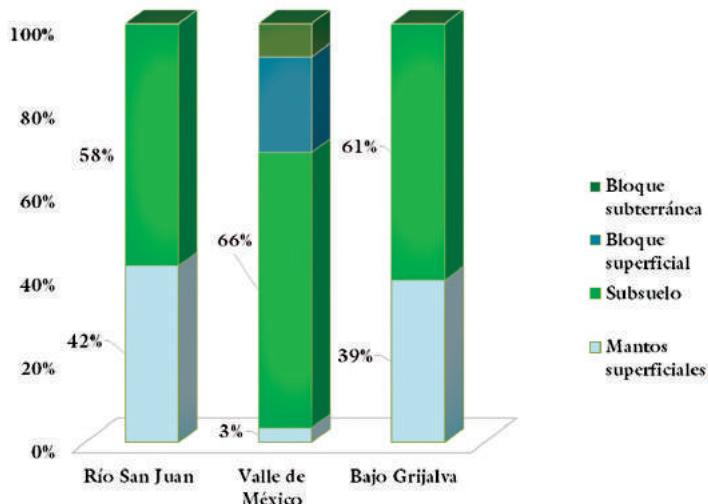
Una función primordial de los OCTSA de cada subregión es captar agua para uso en los centros de población de las distintas fuentes disponibles. La captación en volumen de agua difiere entre las subregiones de estudio. Como es de esperarse, por el tamaño de la población la mayor captación corresponde a la subregión Valle de México ($1\ 754\ hm^3$), le sigue San Juan ($518\ hm^3$) y por último la Bajo Grijalva ($71\ hm^3$). En términos del volumen total concesionado, la subregión Valle de México capta aproximadamente 64 por ciento, San Juan 30 por ciento y Bajo Grijalva 15 por ciento. Si se estima la dotación per cápita que resulta de esa captación, se obtiene que mientras en las subregiones Valle de México y San Juan cada habitante tiene disponibles más de 240 litros por día, en la subregión Bajo Grijalva

como unidad de observación; aunque reconociendo que esta unidad económica puede tomar diversas formas como sistemas de agua, direcciones, comisiones, juntas locales, departamentos, comités, concesionarias, etc. La información utilizada se obtuvo del análisis de microdatos del cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua aplicado en los Censos Económicos 2014.

el promedio es de 86 litros/ per cápita /día, menor al mínimo propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (100 litros/día) para asegurar que no haya problemas de salud.

La gráfica 1 muestra la composición en cuanto a fuentes de agua para uso doméstico urbano por volúmenes obtenidos de cada fuente, según el reporte de los OCTSA para cada una de las subregiones, con clara preponderancia de las fuentes subterráneas. Esta composición es consistente con la que se reporta por la Conagua bajo el criterio de predominancia para uso público urbano, como fuente que aporte más de 50 por ciento del agua.

Gráfica 1. Fuentes de agua para uso doméstico urbano por subregión hidrológica



Fuente: Elaboración propia con base en datos de los Censos Económicos 2014 y el cuestionario aplicado a los OCTSA, Inegi (2014).

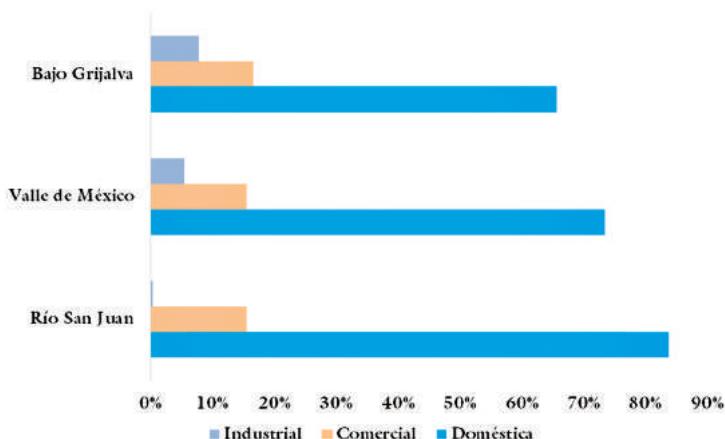
En general, en México, 58 por ciento de los OCTSA reportan como fuentes predominantes a las subterráneas. Por subregión, la del Valle de México registra una menor contribución

en volumen de las fuentes superficiales y una alta dependencia de fuentes externas o importaciones de agua de otras cuencas (cuencas del Cutzamala y Lerma). Este no es un fenómeno nuevo, desde mediados de la década de 1960 la capacidad natural de la cuenca fue superada (Ezcurra *et al.*, 2006).

En el volumen de agua facturado por los OCTSA se refleja la participación de los otros usos adicionales al doméstico (usualmente el principal), que se abastecen mediante la conexión a redes municipales, el uso comercial y el uso industrial. En los OCTSA de las tres subregiones, como era de esperar, el uso doméstico requiere el mayor volumen, registrando un rango entre 64 y 84 por ciento del volumen promedio facturado en cada subregión.

La participación en facturación de volúmenes de agua por tipo de uso en los OCTSA tiene algunas diferencias entre las subregiones de estudio (ver gráfica 2). En el caso de la subregión San Juan, el volumen de agua para uso industrial proveniente de los OCTSA es reducido (menor a 1 %), lo cual es notable dado que esta subregión es altamente industrializada. Como los volúmenes concesionados y uso predominante reflejan, en la SRH San Juan se registra un alto volumen concesionado para la industria autoabastecida, por lo tanto no requiere del sistema público. En el caso del Valle de México el porcentaje es también relativamente bajo (5 %). De manera un tanto paradójica pues se trata de la subregión menos industrializada, la participación en el Bajo Grijalva es la mayor (8 %). Estos datos parecen sugerir que, a mayor peso de la industria en la economía de las subregiones mayor autonomía de ésta con respecto al sistema público y mayor presencia de autoabastecimiento. En el caso del uso comercial, el porcentaje de volumen requerido es muy similar para las tres subregiones, alrededor de 16 por ciento. El uso urbano del agua en viviendas, o uso doméstico, es el más importante en términos relativos del volumen captado por los OCTSA.

Gráfica 2. Volumen de agua facturada por tipo de usuario (%) por subregión hidrológica



Fuente: Elaboración propia con base en datos de los Censos Económicos 2014 y microdatos del cuestionario aplicado a los OCTSA, Inegi (2014).

Consecuentemente, es importante caracterizar a los servicios de agua potable y saneamiento provistos por dichos organismos. El indicador más utilizado en México para evaluar su desempeño es la cobertura, la cual generalmente se mide como el porcentaje de población que tiene acceso a servicios de agua potable y alcantarillado, y se estima usualmente con datos del Censo Nacional de Población y Vivienda. Se cuenta también con la información valida a nivel municipal de la más reciente Encuesta Intercensal 2015. Para obtener información sobre las coberturas de agua y drenaje por subregión, y para los municipios que conforman cada subregión, se siguió el procedimiento de la sección anterior. Se hicieron los recortes de municipios cuya cabecera municipal se encuentra físicamente dentro de la subregión para obtener los datos comparativos por municipio de cobertura de agua y drenaje reportados en la Encuesta Intercensal 2015.

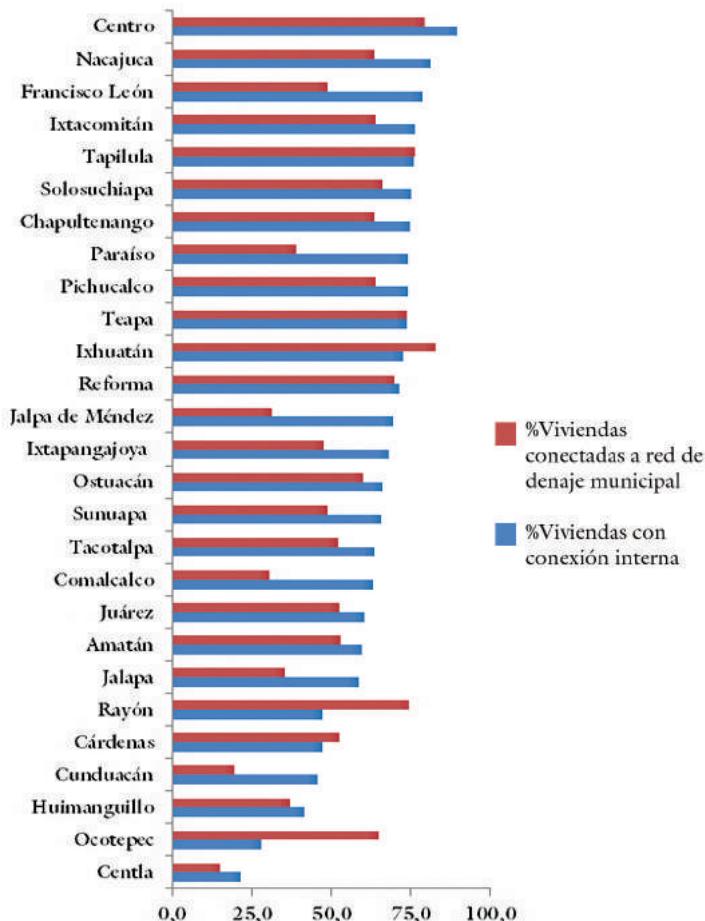
En dicha encuesta, las opciones de respuesta a la pregunta sobre cómo los habitantes obtienen agua de llaves o mangueras

permiten analizar con mayor detalle esa cobertura. Las opciones presentadas fueron: 1) dentro de la vivienda, 2) solo en el patio o terreno, 3) no tienen agua entubada. Generalmente las estadísticas oficiales reportan las opciones 1 y 2 como viviendas que cuentan con agua entubada.

En el caso del drenaje la pregunta es si la vivienda tiene drenaje o desagüe conectado a: 1) la red pública, 2) una fosa séptica o tanque séptico, 3) una tubería que va a dar a una barranca o grieta, 4) una tubería que va a dar a un río, lago o mar, 5) no tiene drenaje. Las estadísticas oficiales consideran a las cuatro primeras opciones como viviendas con acceso a drenaje. Como puede esperarse, las coberturas estimadas con la inclusión de las cuatro opciones son más altas, que cuando se incluye solamente la opción 1, a la red pública.

De acuerdo con los datos de la encuesta intercensal, la subregión Bajo Grijalva registra una cobertura promedio de agua entubada dentro de la vivienda en 67 por ciento de los casos. Este porcentaje es claramente menor al reportado cuando se incluye la obtención de agua de llave o manguera en el terreno (89.7 %) y puede deberse al tipo de vivienda (p. ej. una alta proporción de viviendas con patio en zonas rurales). A pesar de esa consideración, existe una diferencia de 23 por ciento entre el porcentaje de cobertura cuando se considera agua entubada dentro y fuera de la vivienda (ver gráfica 3). Seis municipios de la subregión, cuatro de Tabasco y dos de Chiapas, reportan menos de 50 por ciento de viviendas con agua entubada dentro de la vivienda: Centla (21.3 %); Ocotepec, Chiapas (27.8 %); Huimanguillo (41.5 %); Cunduacán (45.6 %); Cárdenas (47.1 %) y Rayón, Chiapas (47.1 %). La cobertura de alcantarillado muestra mayores deficiencias, solamente 55 por ciento de las viviendas cuentan con conexión directa al drenaje entubado; dos municipios del estado de Tabasco, Cunduacán y Centla, registran la mayor deficiencia en cobertura (con el 20 y 15 % de viviendas conectadas a la red pública).

Gráfica 3. Coberturas de agua y drenaje por municipio en la SRH Bajo Grijalva



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Encuesta Intercensal 2015, Inegi (2015).

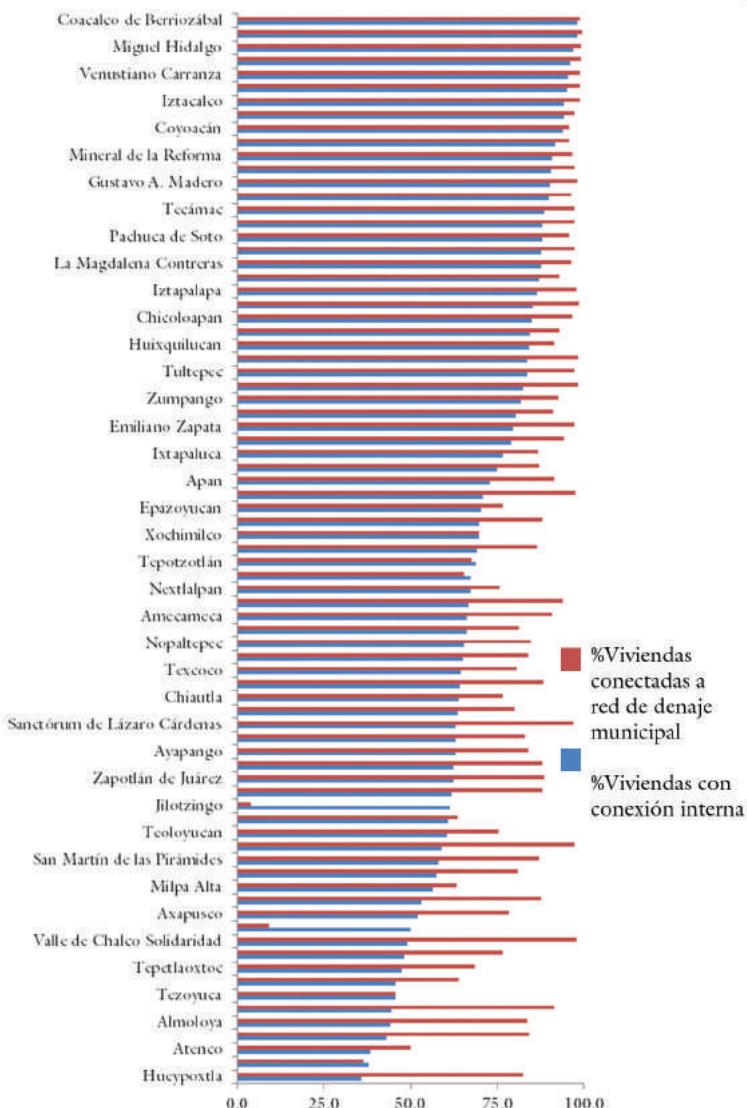
La subregión Valle de México reporta una cobertura promedio de agua potable de 83 por ciento, cuando se incluyen solamente viviendas con agua entubada dentro de la vivienda. Esta cobertura es significativamente menor que cuando se reporta también la conexión a agua entubada dentro del

terreno (96.5 %). Una cobertura menor a 50 por ciento de agua dentro de la vivienda se registra para 12 municipios de la subregión: diez del Estado de México y dos de Hidalgo. La menor cobertura de agua dentro de la vivienda la tiene el municipio de Hueypoxtla, Estado de México, con 37 por ciento. En promedio, 94 por ciento de viviendas de la SRH Valle de México cuentan con conexión al drenaje municipal; sin embargo, en los municipios de Jilotzingo (4 %) e Isidro Fabela (9 %) ambos del Estado de México, menos de una de cada diez de sus viviendas cuentan con servicio de drenaje conectado a la red pública (ver gráfica 4).

La cobertura de agua potable en la subregión San Juan es la más alta de las tres subregiones de estudio y presenta una menor diferencia cuando se reporta como conexiones sólo dentro de la vivienda (96 %) o dentro y fuera de la vivienda (97.4 %). El único municipio con promedio de cobertura por debajo de 50 por ciento es General Cepeda (43 %), Coahuila. De manera similar, la cobertura de drenaje conectado a la red de la subregión es alta (94 %) e igual a la del Valle de México. Sin embargo, ocho municipios del estado de Nuevo León y dos de Coahuila tienen menos de la mitad de sus viviendas conectadas a la red municipal de drenaje (ver gráfica 5). Esto puede deberse a la presencia de municipios rurales alejados del área metropolitana en el caso de Nuevo León (p. ej. Rayones y Dr. Coss). Sorpresivamente, en el caso de Coahuila el municipio de Arteaga, que forma parte del área urbana, reporta 95 por ciento de disponibilidad de drenaje pero sólo 38 por ciento de las viviendas están conectadas a la red pública.

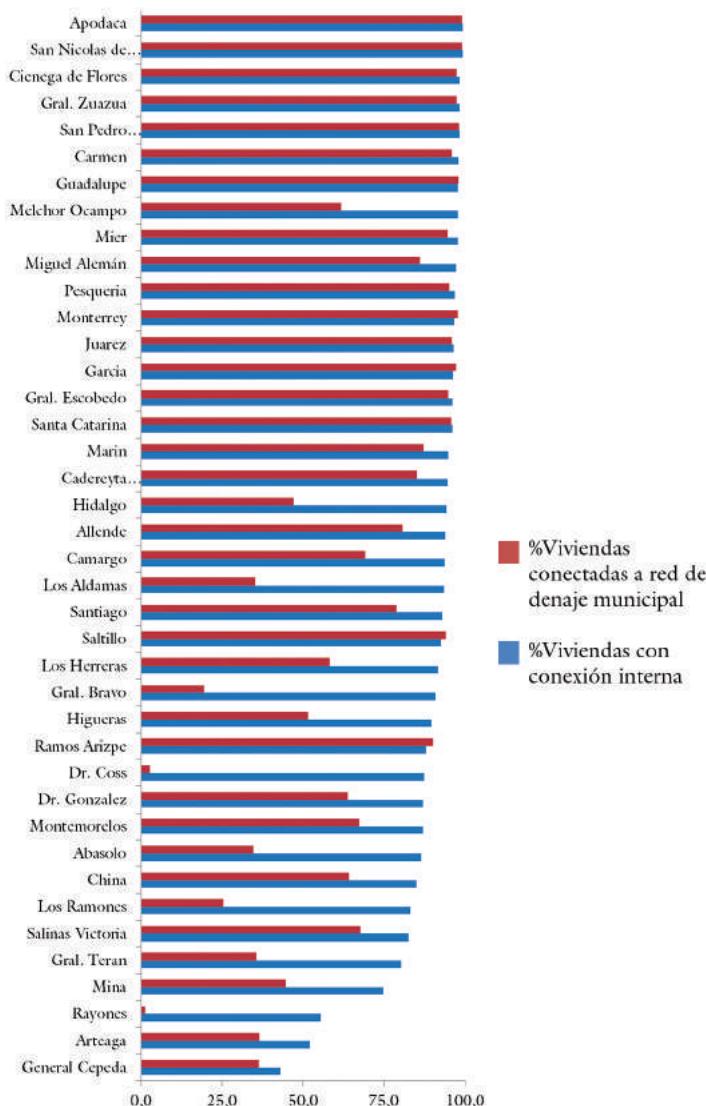
Adicionalmente a los indicadores generales de cobertura de agua y alcantarillado, uno de los aspectos más importantes para evaluar la calidad en el abastecimiento de agua para uso en zonas urbanas es el tratamiento que se le da al agua captada para poder ser utilizada en los hogares; lo cual asegura que el agua suministrada al sistema cumpla con la norma y sea considerada como segura para la salud.

Gráfica 4. Coberturas de agua y drenaje por municipio en la SRH Valle de México



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Encuesta Intercensal 2015, Inegi (2015).

Gráfica 5. Coberturas de agua y drenaje por municipio en la SRH San Juan

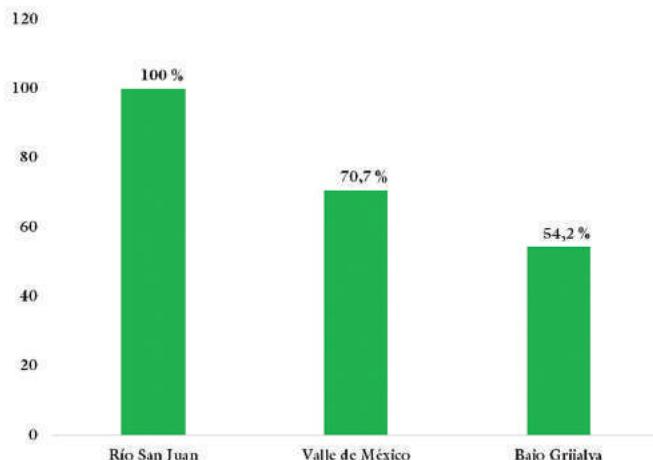


Fuente: Elaboración propia con base en información de la Encuesta Intercensal 2015, Inegi (2015).

Este indicador muestra claras diferencias entre las subregiones de estudio (gráfica 6). Mientras que 100 por ciento del agua recibe tratamiento en la subregión San Juan, sólo 52 por ciento del agua suministrada en la subregión Bajo Grijalva es desinfectada. Aunque en menor proporción que la subregión Bajo Grijalva, el Valle de México muestra también un importante déficit de 29 por ciento de agua sin tratar.

Un indicador operativo relacionado directamente con los niveles de extracción de las fuentes de agua, y por lo tanto con la cuenca, es la medición del volumen de agua suministrado por los sistemas. Este indicador se puede dividir en macro y micro medición, el primero se relaciona con la medición de volúmenes de agua en la red primaria o de captación y la red de distribución; mientras que el segundo se refiere a la medición de consumo en viviendas o establecimientos comerciales e industriales.

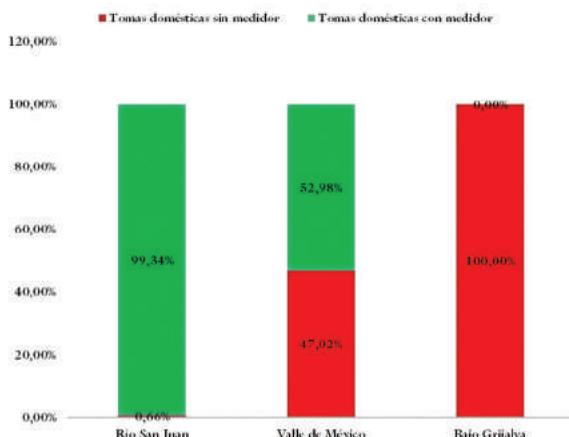
Gráfica 6. Agua desinfectada respecto al total de agua captada (vol. hm³) por subregión hidrológica



Fuente: Elaboración propia con base en datos de los Censos Económicos 2014 y microdatos del cuestionario aplicado a los OCTSA, Inegi (2014).

Las diferencias en el segundo indicador son muy claras entre las subregiones (ver gráfica 7). En cuanto a los medidores, 99 por ciento de las tomas domésticas en la subregión San Juan cuentan con uno, mientras que 47 por ciento no tienen medidor en el Valle de México y 100 por ciento de conexiones del Bajo Grijalva no mide su consumo. La falta de medición puede ser un factor importante para un consumo excesivo, pues no se tiene el incentivo de pagar por volumen de agua recibido.

Gráfica 7. Conexiones domésticas con y sin medición por subregión hidrológica



Fuente: Elaboración propia con base en datos de los Censos Económicos 2014 y microdatos del cuestionario para los OCTSA, Inegi (2014).

Reflexión final

Incluir el contexto de cuenca es necesario para definir la viabilidad de un crecimiento urbano cuyo límite debería estar determinado por la disponibilidad natural de agua en su región hidrológica. Sin embargo, ubicar el uso doméstico urbano del agua en su contexto hidrológico es un proceso complicado debido a la delimitación misma de las cuencas, y por los distintos criterios que se han establecido en México para definir unidades de planeación

y administración del agua como regiones hidrológico-administrativas, regiones hidrológicas, subregiones hidrológicas, cuencas hidrológicas, cuencas hidrográficas y microcuencas, entre otras.

Las tres subregiones descritas en este texto muestran que el uso doméstico urbano de agua tiene distintas condicionantes dentro de las subregiones en que se ubican; dependiendo del tamaño y dispersión de las zonas urbanizadas, las características operativas de los servicios de agua potable y saneamiento, las condiciones de disponibilidad y los volúmenes ya concesionados de agua tanto de manera superficial como subterránea. Como era de esperarse, dados los criterios de comparación determinados, la situación de disponibilidad de agua es significativamente distinta para cada subregión hidrológica. Mientras que la SRH Bajo Grijalva registra suficiente disponibilidad para potenciales usos adicionales del agua, las subregiones San Juan y Valle de México se encuentran, la primera con muy baja disponibilidad de agua y en condiciones de estrés hídrico y la última con un claro déficit de agua o nula disponibilidad. Podría argumentarse entonces, bajo este único criterio, que el suministro de agua para uso doméstico urbano derivado de un probable crecimiento de la población en las zonas urbanas de las subregiones Valle de México y San Juan es inviable, mientras que es completamente viable en el Bajo Grijalva. Sin embargo, si se toma en cuenta que el porcentaje de volumen captado para uso doméstico respecto al concesionado para usos consuntivos en cada subregión difiere (30 % del total para uso doméstico en San Juan, 64 % y 15 % para el Valle de México y Bajo Grijalva respectivamente), se puede concluir entonces que existen posibilidades para ajustes internos en la administración del agua por subregión que permitan el suministro de agua para el consumo doméstico en las zonas urbanas localizadas dentro de cada subregión. Esto aplica sobre todo en el caso de la subregión San Juan, en la que sólo 15 por ciento del volumen concesionado se utiliza para uso doméstico urbano. La subregión Valle de México tiene un menor margen para ajustes

de asignación entre usos, por lo que el énfasis debe hacerse en la eficiencia en los distintos usos.

Es interesante notar que, si bien la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos puede condicionar el abastecimiento de agua para uso doméstico en las ciudades, reflejado en indicadores como la cobertura de servicios de agua, no determina el grado de cobertura ni la calidad de estos. Efectivamente, se observa que la Zona Metropolitana de Villahermosa y las zonas urbanas del Bajo Grijalva, ubicadas en la subregión con mayor disponibilidad de agua superficial y subterránea, reportan los indicadores de cobertura de agua y drenaje, así como de tratamiento y suministro per cápita más bajos de los tres casos. Esta situación puede explicarse parcialmente por el mayor grado de dispersión espacial de las zonas urbanizadas y la existencia de localidades rurales pequeñas. No obstante, es claro que existen deficiencias institucionales y operativas en los servicios de agua de la subregión.

La subregión Valle de México representa el caso extremo, con un crecimiento urbano desmesurado en relación con la disponibilidad de agua en su contexto de subregión, lo que ha obligado a la dependencia de otras subregiones a cubrir el uso doméstico. En este caso, asegurar el suministro de agua en la subregión y la cobertura de servicios no es suficiente, pues habría que mejorar otros aspectos operativos básicos como desinfección y medición del consumo. Otra medida necesaria consiste en reducir las pérdidas de agua en los sistemas que usualmente registran entre 30 y hasta 50 por ciento de la denominada agua no contabilizada, al menos una parte de la cual se debe a fugas en la red.

En la subregión San Juan el panorama general de cobertura y aspectos operativos relacionados con agua entubada y drenaje parecen satisfactorios. Sin embargo, la subregión se encuentra bajo estrés hídrico, con baja disponibilidad de agua para continuar con los consumos actuales bajo los usos concesionados ya comprometidos en el esquema vigente de derechos. Eso ha llevado a plantear alternativas polémicas

como la construcción del acueducto Tampaón-Cerro Prieto (o río Pánuco-Monterrey), dentro del denominado proyecto Monterrey VI. Este proyecto consiste en llevar por bombeo hasta 5m³/s de agua del río Tampaón a la Presa Cerro Prieto para abastecer a la zona metropolitana de Monterrey. Esto implica, de manera similar al Valle de México, la dependencia de fuentes externas sin la optimización de fuentes locales. Una revisión y ajuste de la distribución actual de los volúmenes concesionados para los distintos usos, aunado a la conservación de fuentes actuales y mayor eficiencia podría evitar la dependencia de fuentes externas con los consecuentes impactos dentro de la subregión y en otras regiones, así como los potenciales conflictos con otros usuarios.

Referencias

- Abedrop, S. (Coord.). (2012). *El gran reto del agua en la ciudad de México. Pasado, presente y prospectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. Ciudad de México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de junio de 2011. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192916&fecha=02/06/2011
- Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, jueves 29 de abril de 2010. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5141106&fecha=29/04/2010
- Brown, A. y Matlock, D. (2011). A Review of Water Scarcity Indices. *White paper 106. The sustainability Consortium*. Estados Unidos: University of Arkansas.

- Burgos A. L., Bocco G. y Sosa, J. (Coords.) (2015). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. Ciudad de México: CIGA-UNAM/Fundación Río Arronte.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012a). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur*. Ciudad de México.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012b). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México*. Ciudad de México.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016). Subdirección General de Planeación, Gerencia de Coordinación Interinstitucional. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2017) Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Ciudad de México: Semarnat.
- Consejo Nacional de Población (Conapo). (2012). Catálogo Sistema Nacional Urbano 2012. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Catalogo_Sistema_Urbano_Nacional_2012
- Cotler (2010), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Ciudad de México: Semarnat/INE/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cotler, H. (2015). Incidencia del Enfoque de Cuencas en las Políticas Públicas de México. En A. L. Burgos, G. Bocco y J. Sosa (Coords.), *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas* (pp. 31-43). Ciudad de México: SIGA-UNAM/Fundación Río Arronte.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. y Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Ciudad de México: Semarnat/Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable/Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Domínguez, R. (2015). La cuenca desde el punto de vista hidrológico. *Cuencas de México, I*, 23-25.

- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Ezcurra, E., Mazari, M., Pisanty-Baruch, I. y Aguilar G. (2006). *La cuenca de México. Aspectos ambientales críticos y sustentabilidad* (1.ª ed. en español). México: FCE.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2014). Censos Económicos 2014. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/default.html>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2015). Encuesta Intercensal 2015. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html>
- Landa, R. y Carabias, J. (2008). Los recursos hídricos y la gestión de cuencas en México. En L. Paré, D. Robinson y M. A. González (Coords.), *Gestión de cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas* (pp. 23-40). Ciudad de México: INE/Semarnat.
- Legorreta, J. (2006). *El agua y la ciudad de México de Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. Ciudad de México: UAM-Azcapotzalco.
- Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 1 de diciembre de 1992 (última reforma publicada el 24 de marzo de 2016). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. y Behrens, W. W. (1972). *The Limits to growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Nueva York: Universe Books.
- Monterrosa, G. (2015). Cuencas hidrológicas de México. *Cuencas de México*, 1, 9-12.
- National Research Council. (2000). *Watershed Management for Potable Water Supply: Assessing the New York City Strategy*. Washington, D. C.: The National Academy Press.
- Sachs, J. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Nueva York: Columbia University Press.

- Sotelo, E., Garrido, A., Ruíz, K. y Cuevas, M. L. (2010). Criterios de asignación de Municipios a las Cuencas Hidrográficas de México. En H. Cotler (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Ciudad de México: Semarnat/INE/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Vega, E. (2015). Usos consuntivos del agua y presiones antrópicas sobre las cuencas en México. *Cuencas de México, 1*, 18-22.

PROPUESTA PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MÉXICO CON BASE EN CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD

José Luis Manzanares

Introducción

Fenómenos climáticos globales como las sequías y el constante crecimiento demográfico tienen importantes implicaciones para el uso y manejo eficiente de los recursos hídricos disponibles a nivel global. En particular, el agua proveniente de los acuíferos se ha convertido en una fuente primaria de aprovisionamiento para el soporte de sistemas productivos en el mundo (Badiani, Jessoe y Plant, 2012; Rupérez-Moreno *et al.*, 2017; Smidt *et al.*, 2016). En este contexto actividades económicas estratégicas como la agricultura, que sustenta una creciente demanda por alimentos, enfrentan una intensa competencia por el acceso al recurso. Sin embargo, a pesar de las fuerzas sociales que acompañan los procesos de apropiación y utilización de los recursos hídricos subterráneos en la práctica, se reconoce que un adecuado diseño de los instrumentos regulatorios es una condición necesaria para lograr una gestión integral de los recursos hídricos. Garantizar un acceso ordenado acorde con principios de sustentabilidad ambiental depende en gran medida de un esquema regulatorio

que genere los incentivos necesarios para el otorgamiento de las concesiones por aprovechamiento.

Para lograr esta tarea, actualmente en México se implementan estrategias regulatorias que vinculan las condiciones hidrológicas con esquemas de cobro, considerando una filosofía clásica que alude a la racionalidad de los agentes económicos. Entre estas estrategias, el diseño de zonas de disponibilidad resulta un elemento regulatorio central ya que el otorgamiento de concesiones y la vigilancia sobre los volúmenes del recurso utilizados depende de esta configuración. Actualmente el diseño de estas zonas presenta una configuración cuyos criterios metodológicos recaen en un enfoque estadístico robusto que no obstante es susceptible de incorporar aportaciones dirigidas a privilegiar el objetivo de sustentabilidad como eje rector. En México, el pilar fundamental del marco regulatorio referente a los recursos hídricos se expresa en la Ley de Aguas Nacionales y, en conjunto con este eje regulatorio, la Ley Federal de Derechos (LFD) delinea los mecanismos para garantizar un aprovechamiento ordenado mediante el reconocimiento de un esquema de cuotas por el otorgamiento de concesiones; que a su vez están basadas en la demarcación de zonas de disponibilidad.

En términos teóricos, este marco regulatorio parte de un paradigma que es la norma en términos internacionales, en el que se reconoce la importancia de establecer derechos de propiedad; lo que a su vez permite establecer un vínculo mediante el principio de racionalidad entre los agentes económicos representados por los usuarios y la noción de sustentabilidad.

Este trabajo pretende contribuir al entendimiento de la intensidad en el uso de los recursos hídricos subterráneos en México mediante el análisis de la conformación de las zonas de disponibilidad. La importancia del estudio de la zonas de disponibilidad radica en que las concesiones otorgadas para el aprovechamiento de los recursos hídricos bajo este esquema permiten monitorear los niveles de explotación y establecer medidas preventivas o correctivas ante escenarios de sobre

explotación. Considerando la creciente escasez del recurso, y ante la competencia por el acceso entre usuarios (Díaz, Bravo, Alatorre y Sánchez, 2013; Peñuela Arévalo y Carrillo Rivera, 2013), contar con una adecuada definición de las zonas de disponibilidad, así como con indicadores que contemplen como criterio fundamental el principio de sustentabilidad, resulta de suma importancia para lograr un adecuado seguimiento sobre el grado de utilización de los recursos hídricos.

En segundo lugar, y si bien las consideraciones recaudatorias asociadas a las cuotas y los volúmenes concesionados no son el objetivo primario del establecimiento de zonas de disponibilidad,¹ se entiende que la generación de recursos aportados mediante el pago de concesiones por aprovechamiento que realizan los usuarios depende de dicha configuración. De tal manera que un diseño congruente de dichas zonas no es ajeno a esta correlación entre las señales de mercado emitidas y la estrategia de sustentabilidad, objetivo último del establecimiento de zonas de disponibilidad como instrumento regulatorio.

En este trabajo se proponen indicadores complementarios que permitan rediseñar la estructura actual de zonas de disponibilidad de aguas nacionales subterráneas, considerando como criterio para el diseño el principio de sustentabilidad. Para lograr el objetivo se analiza la construcción del índice de disponibilidad (Idas), instrumento oficial definido en el artículo 231 de la LFD, a partir del cual se establecen actualmente los intervalos que definen a cada una de las cuatro zonas existentes. Se examinan las variables que componen el Idas y la configuración resultante del diseño actual para los 653 acuíferos del país. A partir de dicho análisis se proponen los siguientes indicadores: *a)* índice de volumen concesionado de agua subterránea (en adelante IVCAS), *b)* índice de déficit de agua subterránea (en adelante IDF).

¹ El destino de los recursos recaudados por el sistema de cuotas en México incluye la operación de programas de pago por servicios ambientales a través del Fondo Forestal Mexicano.

La fuente primaria para el análisis son los registros públicos difundidos por la Conagua mediante la gerencia de aguas subterráneas, mismos que se publican anualmente en el sitio web de la institución en conjunto con las tres variables necesarias para la estimación del indicador oficial (Idas).² Disponibilidad, Recarga y Descarga natural comprometida (DNCOM) para los 653 acuíferos del país.

El resto de la investigación se organiza en cuatro secciones. La primera sección documenta las aproximaciones teóricas y estudios previos, seguida por un segundo apartado de métodos y datos en el cual se atienden las consideraciones sobre las estimaciones realizadas, así como las fuentes de datos que permiten reproducir el análisis. La tercera sección se dedica al análisis del caso Chihuahua, mismo que, dado el patrón intensivo de utilización de recursos hídricos subterráneos, se ha convertido en un referente obligado al estudiar el tema en México. En la última sección se realiza un contraste de los resultados respecto a la literatura disponible y se discuten las implicaciones para integrar una conclusión que sintetiza las aportaciones de la investigación.

Aproximaciones teóricas y estudios previos

El interés por el estudio del manejo eficiente de los recursos hídricos subterráneos, en el contexto de la creciente competencia entre agentes económicos por su acceso, se debe en parte al reconoci-

² Las definiciones siguientes serán aplicadas a lo largo de este trabajo. Disponibilidad: volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de un acuífero para diversos usos adicionales a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas. Descarga Natural Comprometida (DNCOM): fracción de la descarga natural de un acuífero que está comprometida como agua superficial para diversos usos, o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo en los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a un acuífero. Recarga: volumen de agua que recibe un acuífero en un intervalo de tiempo específico. Las mediciones se expresan en millones de metros cúbicos.

miento del nexo entre actividades estratégicas para la sociedad, tales como la producción de alimentos, y al mismo tiempo a la necesidad de un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos subterráneos. En México, la actividad agrícola es responsable por el consumo de 73 por ciento de los recursos hídricos concedidos por Conagua, fracción que se incrementa en las cuencas del norte del país donde las condiciones de precipitación y aridez³ implican un patrón intensivo en utilización del agua proveniente de los acuíferos que tiende a rebasar su capacidad de recarga.

El paradigma teórico que se adopta en este trabajo se sustenta en el establecimiento de derechos de propiedad. Es este enfoque el que da fundamento a la estructura regulatoria que se expresa tanto en la Ley Federal de Derechos como en instrumentos operativos como el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), con el cual se tiene una perspectiva sobre el grado de utilización de los recursos en el país. Es pues un abordaje que parte de reconocer la importancia de los mecanismos de mercado a través de la estructura de precios como medio para promover la asignación eficiente de los recursos.

Sin embargo, el paradigma basado en la existencia de derechos de propiedad como medio de acceso a los recursos, es solo una de las propuestas de análisis que actualmente se debaten. Esta perspectiva es complementaria a otros enfoques que consideran una visión más amplia en la que los actores sociales juegan un papel determinante en la práctica. En particular, las capacidades de gestión de estos actores sociales se perciben como un elemento crucial que explica la distribución del recurso entre usuarios, así como los patrones de acumulación observados.

El control del aprovechamiento de los recursos hídricos provenientes de los acuíferos conlleva retos adicionales a otras modalidades de acceso al agua, en particular dos características

³ De acuerdo con la delimitación climática de México, el 60 % de la superficie del territorio está conformado por regiones áridas y semiáridas con regímenes de lluvias anuales promedio inferiores a los 200 y 500 mm, respectivamente.

del agua subterránea son relevantes para el análisis de su manejo y al mismo tiempo dan cuenta de la complejidad inherente a su control. En primer lugar, el agua subterránea está disponible en el sitio y de esta manera la perforación de un pozo permite acceso a una fuente confiable de abastecimiento.

Por otro lado, a diferencia del agua superficial importada desde distancias considerables, los acuíferos permiten un mecanismo de aprovisionamiento de mayor flexibilidad y menor costo (Ostrom, 1965); lo que puede generar un patrón descentralizado de aprovechamiento que requiere un alto grado de coordinación para evitar asimetrías en el acceso por parte de usuarios con menor capacidad de organización.

Para autores como Hoogesteger y Wester (2015), la complejidad que plantea el uso intensivo de los recursos hídricos subterráneos se expresa en procesos de inequidad y pone de manifiesto retos de gobernanza. Su planteamiento, y el de otros autores en esta línea como Prakash (2005), Mukherji (2006) y Birkenholtz (2009), se ubica en la perspectiva teórica denominada ecología política. En este abordaje se pone de manifiesto la diferencia entre el establecimiento de una estructura regulatoria orientada únicamente al reconocimiento de derechos y las condiciones de acceso que dependen en mayor medida de las capacidades diferenciadas de los agentes económicos. Por lo tanto, el problema se percibe como un conflicto de gobernanza (Faysse y Petit, 2012), noción que encuentra una expresión clásica en los trabajos de Elinor Ostrom con el estudio de la gobernanza de los recursos hídricos subterráneos como un proceso de acción colectiva Ostrom (1965, 1990).

En el terreno empírico, la corriente denominada *territorios hidrosociales* retoma el papel que los actores sociales tienen ante la formación de relaciones de poder generadas en torno al acceso por los recursos hídricos. Así, esta corriente que ha tenido recientemente en América Latina diversos exponentes, permite observar consecuencias de un proceso de asignación asimétrico del recurso en el que se observan procesos de desigualdad (Saldi y Petz, 2015).

En el paradigma de territorios hidrosociales, autores como Damonte-Valencia (2015) indagan las trasformaciones motivadas por el auge de procesos intensivos en el uso de los recursos hídricos subterráneos con base en estudios de caso para el contexto latinoamericano. No obstante su aparente lejanía, dicho trabajo de investigación permite notar que la problemática de la gestión de los recursos hídricos subterráneos comparte un denominador común y ciertos rasgos característicos con la experiencia de otros países de la región como México. Además, su abordaje sugiere la necesidad de una participación multidisciplinaria, en la cual la división entre los enfoques ecocéntricos y aquellos orientados hacia los procesos sociales que se originan en torno al aprovechamiento de los recursos hídricos es cada vez más tenue (Castro, 2012).

Tal como lo documentan estudios recientes, el uso sustentable de los recursos hídricos subterráneos es un reto multidisciplinario no solo de hidrología (Aeschbach-Hertig y Gleeson, 2012) y la implementación de métodos cuantitativos como el propuesto por este trabajo. Esto, además, permite complementar otros enfoques que recogen la perspectiva cualitativa en línea con los avances orientados al monitoreo, como lo demuestran los trabajos de Castellazzi *et al.*, 2018, entre otros.

De acuerdo con Hoogesteger y Wester (2015), si bien inicialmente el acceso a recursos hídricos subterráneos puede contribuir al desarrollo de un escenario de bienestar, la sobreexplotación a largo plazo conduce a una etapa de deterioro donde un número cada vez mayor de personas (principalmente agentes económicos con menor capacidad de gestión) pierden el acceso al agua subterránea, y con ello el sustento en su modo de vida.

La transición del estado de bienestar a una etapa de deterioro ha sido caracterizada por esfuerzos académicos recientes. En particular se han considerado cuatro etapas en este proceso: 1) el incremento de la tecnología de perforación detonado por esfuerzos tanto de política pública como por la intervención del sector privado; 2) la inequidad caracterizada por prácticas agrícolas monocultivo intensivas en el uso de recursos hídricos subterráneos;

3) la polarización como síntoma temprano de abatimiento del agua subterránea; 4) el declive en la socioecología de los recursos subterráneos, con impactos adversos para pequeños agricultores y grupos sociales de bajos ingresos (Shah, 2009).

En términos empíricos, si bien en México se observa un incremento en los esfuerzos de investigaciones dirigidas hacia la problemática que presenta el manejo de los recursos hídricos subterráneos (Díaz *et al.*, 2013; Soto Galera, Mazari Hiriart y Bojórquez Tapia, 2000; Hoogesteger y Wester, 2017), también se percibe una necesidad de estudios con una perspectiva espacial, que contribuyan a la implementación de alternativas enfocadas a la consecución de la estrategia de sustentabilidad hacia la que el país busca transitar.

Métodos y datos

La base de datos primaria utilizada en el presente trabajo se construyó a partir de los registros de disponibilidad de agua subterránea que genera la Conagua. La unidad espacial de análisis considerada es el acuífero y se incluyen los 653 acuíferos del marco de referencia único definido por Conagua para el país.

El análisis estadístico se organiza en dos etapas. La primera está basada en análisis exploratorio de datos, y la segunda propone la construcción de indicadores para la reestructuración de las zonas de disponibilidad de agua subterránea.

Actualmente, la conformación de las zonas de disponibilidad a partir de las cuales se fijan las cuotas por el pago de derechos de aprovechamiento por agua subterránea está establecida en la Ley Federal de Derechos a través del artículo 231. Esto tiene como base la definición de variables que se consignan en la NOM-011-CNA-2000 para el cálculo del indicador conocido como Idas. La base para la delimitación de las zonas y el establecimiento de cuotas diferenciadas y su especificación es la siguiente:

$$\text{Idas} = \text{disponibilidad} / (\text{recarga-DNCOM})$$

Con base en la estimación del Idas se establecen las zonas que aparecen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Delimitación de zonas de disponibilidad

Zona de disponibilidad 1. Menor o igual a -0.1

Zona de disponibilidad 2. Mayor a -0.1 y menor o igual a 0.1

Zona de disponibilidad 3. Mayor a 0.1 y menor o igual a 0.8

Zona de disponibilidad 4. Mayor a 0.8

Fuente: Ley de Federal de Derechos (2015).

La importancia del diseño de estas zonas no es trivial, tiene implicaciones tanto recaudatorias como de impacto ambiental que, según la propia ley, es el interés principal de la regulación.

La asignación de un acuífero a una zona de disponibilidad está vinculada con un precio a cambio del recurso, expresado por una cuota mayor a medida que la disponibilidad observada es menor.⁴ Es decir, se observa una relación inversa entre disponibilidad del recurso y el precio pagado por su aprovechamiento. Intuitivamente esta lógica es consistente con un criterio que favorece la sustentabilidad; sin embargo, la elección precisa de los límites para cada rango refleja una asignación estadística susceptible de ser ajustada para reflejar el grado de aprovechamiento de los recursos.

El argumento central de este trabajo es que el indicador Idas y los rangos establecidos no pueden obedecer solamente a un criterio estadístico, pero principalmente a un criterio de sustentabilidad. Esta premisa se fundamenta en la relación teórica que vincula el comportamiento racional de los agentes con las señales de mercado. Por lo que se busca demostrar la pertinencia de su adecuación mediante la propuesta de indi-

⁴ La disponibilidad mayor se presenta en aquellos acuíferos ubicados en la zona 4 y disminuye gradualmente hasta la zona 1, que corresponde con la menor disponibilidad en la clasificación. En 2015 esta cuota osciló en el intervalo 19.8199-1.9418 pesos por metro cúbico para la zona 1 a la zona 4 respectivamente.

cadores complementarios que retoman las variables originales para el cálculo.

Los indicadores propuestos son el IVCAS y el IDF, acorde con la siguiente especificación:

$$\text{IVCAS} = \text{VCAS} / (\text{recarga} - \text{DNCOM})$$

Con base en la definición establecida por la NOM-011-CNA-2000, las variables consideradas son: Volumen Concesionado de Agua Subterránea (VCAS) –inscrito en el REPDA– y Descarga Natural Comprometida (DNCOM). Ésta última hace referencia a la fracción de la descarga natural de un acuífero que está comprometida como agua superficial para diversos usos, o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo en los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a un acuífero. Otra variable considerada es la Recarga, relacionada con el volumen de agua que recibe un acuífero en un intervalo de tiempo específico. Para los tres casos la unidad de medida se expresa en millones de metros cúbicos.

Conceptualmente un umbral de referencia es el valor del $\text{IVCAS} = 1$. Éste indica una situación de equilibrio entre la capacidad de recarga del acuífero y el nivel de aprovechamiento, por lo que los valores en el rango $\text{IVCAS} > 1$ son indicativos de una situación no sustentable en el largo plazo. Por el contrario, valores $\text{IVCAS} < 1$ dan cuenta de un patrón de extracción dentro de la capacidad de recarga del acuífero en cuestión.

Por su parte, el IDF plantea una medida complementaria que captura la proporción que representa el déficit respecto al volumen demandado compuesto tanto por el volumen concesionado (VCAS) como por la fracción necesaria asignada para la DNCOM. Este indicador muestra el grado de explotación de los acuíferos consistente con el IVCAS. La especificación para su cálculo es la siguiente:

$$\text{IDF} = \text{abs}(\text{déficit}) / (\text{VCAS} + \text{DNCOM})$$

Donde abs (déficit) corresponde al valor absoluto de la estimación de disponibilidad cuando ésta es negativa y las variables VCAS y DNCOM fueron definidas previamente.

Con la finalidad de analizar la distribución espacial de los pozos, así como los volúmenes concesionados entre usuarios, con relación a las zonas de disponibilidad actuales, adicionalmente se estudian los datos georeferenciados del REPDA. Estos se aplican al estudio de los acuíferos localizados en Chihuahua, un caso emblemático en el país dada sus características climáticas y los procesos de uso intensivo de recursos hídricos subterráneos que actualmente tienen lugar en esa entidad. Este análisis permite detectar la existencia de patrones asimétricos en el acceso, así como escenarios de monopolización mediante la estimación de indicadores clásicos de concentración como el índice de Gini, relacionando el número de concesiones para extracción de agua subterránea (pozos) con el volumen de agua subterránea concesionado por usuario.

Así mismo, se analiza la configuración espacial de pozos por acuífero a partir del cálculo del cociente de localización (LQ), indicador que retoma los principios teóricos desarrollados por la literatura sobre economía regional (Billings y Johnson, 2012; Isard 1971). La especificación estimada del cociente de localización es la siguiente:

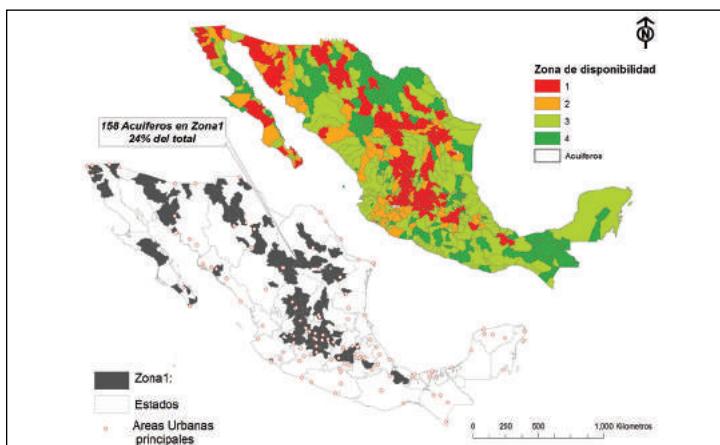
$$LQ = A/B$$

Donde $A = \frac{\text{pozos}}{\text{Área km}^2} i$, y B corresponde al cociente para el ámbito estatal. El subíndice i corresponde a un acuífero particular dentro de la entidad. Así, el indicador permite detectar aquellos acuíferos con una concentración de concesiones para aprovechamiento de agua subterránea (pozos) que excede la proporción observada en el entorno estatal.

Resultados

Como punto de partida se presenta la distribución de las zonas de disponibilidad como actualmente se conforman con la definición del Idas, publicado por Conagua (ver mapa 1).

Mapa 1. Distribución de las zonas de disponibilidad en México, según indicador Idas, 2015



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conagua (2015).

Esta representación permite notar un conjunto de rasgos preliminares, la integración de la zonas presenta la siguiente distribución: zona 1: 158, 24.1 por ciento; zona 2: 94, 14.3 por ciento; zona 3: 245, 37.5 por ciento; y zona 4: 156, 23.8 por ciento.

En términos espaciales, la distribución de los acuíferos de mayor nivel de explotación corresponde con al menos dos rasgos característicos en el país. El primero es la distribución de las principales áreas urbanas de México. En la región centro y bajío, dado el alto crecimiento demográfico urbano, se observa una correspondencia con los elevados niveles de extracción de agua subterránea. Los acuíferos en las áreas metropolitanas de la Ciudad de México, Celaya, León, Querétaro y Aguascalientes son casos emblemáticos de esta configuración.

Sin embargo, este no es el caso en otras regiones del país como el sureste, la región Pacífico y Golfo. El segundo rasgo de interés es la configuración climática del territorio, misma que encuentra un punto de cambio a partir del Trópico de Cáncer que marca la división hacia el clima árido y semiárido en el

norte, y el clima húmedo y semihúmedo hacia el sur (Méndez, Návar y González, 2008).

Así, en los acuíferos localizados en la región sureste se observan los mayores niveles de precipitación media anual con promedios que alcanzan el rango entre 2 000 y 4 000 mm, en contraste con el nivel promedio nacional de 777 mm; o bien lo observado en algunas área del norte como Chihuahua donde solo se observan 454 mm en promedio anual. Esta configuración reduce considerablemente la necesidad por demanda de agua subterránea en la regio sureste, donde tradicionalmente los mecanismos de aprovisionamiento se orientan a los recursos superficiales con el apoyo de obras de infraestructura –como las presas y canales– para el almacenamiento y transporte del líquido.

Por el contrario, en la región norte una combinación de los factores antropogénicos y de forma más acentuada de orden climático, determina la demanda observada por recursos hídricos provenientes de los acuíferos. Esto explica la presencia de acuíferos zona 1 en la región de la Laguna, Mexicali, Tecate, Ensenada y la zona Metropolitana de Monterrey o Hermosillo.

Especial mención merece el caso de los acuíferos localizados en el estado de Chihuahua, que se examinarán con mayor detalle en la siguiente sección, donde se observan importantes concentraciones de volúmenes concesionados de agua subterránea primordialmente explicados por una intensa actividad agrícola especializada en la amplias planicies semidesérticas de la entidad.

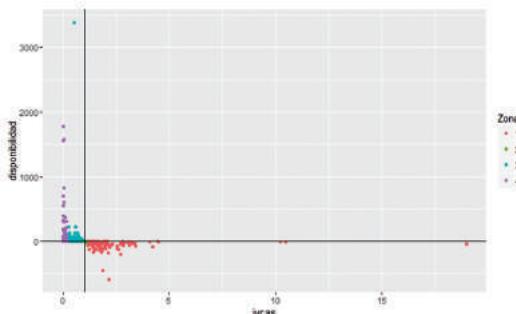
Una vez que se incluye el volumen concesionado en el análisis, notamos que los 158 acuíferos con el mayor nivel de explotación (zona 1) concentran 50.42 por ciento del volumen total concesionado y aún dentro de esta zona, únicamente 131 acuíferos poseen 80 por ciento del volumen total concesionado en el país. Este patrón de notable concentración sugiere la necesidad de una revisión sobre las condiciones de aprovechamiento del recurso, así como de la estructura de la clasificación actual de zonas de disponibilidad.

Estimación del índice de volumen concesionado de agua subterránea

La estimación del índice de volumen concesionado de agua subterránea propuesto centra su atención en la relación entre el volumen concesionado y la capacidad de recarga. Conceptualmente, el umbral IVCAS=1 es un parámetro que permite, con base en un criterio objetivo de sustentabilidad, reconocer aquellos acuíferos con asignaciones que superan su capacidad de recarga.

En esta perspectiva, valores superiores a la unidad indican un patrón de utilización que excede la capacidad de recarga del acuífero. En términos empíricos, su dominio tiene un rango en el intervalo cerrado [0, 18.97]. El valor del límite superior 18.97 implica que el volumen concesionado en el acuífero en cuestión supera 19 veces su capacidad de recarga. Este acuífero es Oriente-Aguanaval (clave 1024) localizado en la zona de la Laguna dentro de los linderos de las ciudades de Torreón, Coahuila; Gómez Palacios y Ciudad Lerdo en Durango. En esa zona una combinación entre la intensa actividad agrícola, el crecimiento demográfico urbano acelerado y las condiciones climáticas de limitada precipitación, tiene un impacto adverso notable sobre el equilibrio hídrico de la región. La gráfica 1 muestra la relación entre el IVCAS estimado y las zonas de disponibilidad generadas mediante el indicador actual Idas.

Gráfica 1. Estimación del índice de volumen concesionado de agua subterránea IVCAS, 2015



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conagua (2015).

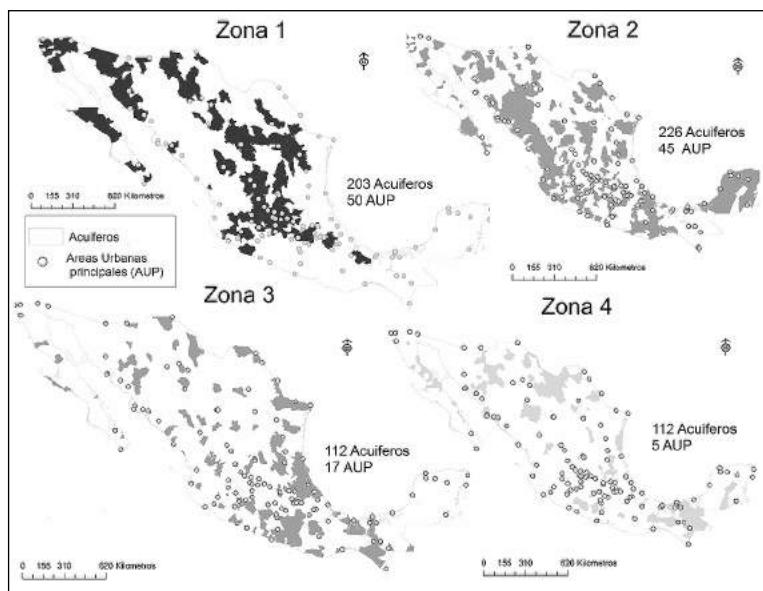
La estimación permite revelar que 203 acuíferos experimentan un patrón de extracción que supera su capacidad de recarga, lo que constituye un elemento de presión sobre su equilibrio en términos ambientales. En contraste, bajo el criterio Idas (criterio actual Conagua) 158 acuíferos equivalentes a 24 por ciento del total, se hallan en zona 1 y corresponden en términos teóricos con aquellos en situación de mayor explotación.

Se observa pues una diferencia para 45 acuíferos (203 frente a 158) que a pesar de rebasar su capacidad de carga no se encuentran clasificados como zona 1. La implicación de esta variación no se limita al aspecto ambiental, pero de manera complementaria tiene implicaciones desde la perspectiva recaudatoria por que la cuota que se cobra en la zona 2 ($7.67 \text{ \$/m}^3$) es 61 por ciento inferior a la que correspondería (zona 1: $19.81 \text{ \$/m}^3$) si se sigue el principio de racionalidad en congruencia con un objetivo ambiental de sustentabilidad.

Siguiendo el principio teórico de racionalidad de los agentes económicos en un contexto de mercado, estos acuíferos podrían enfrentar cuotas correspondientes a la zona 1, con lo que la señal de mercado tendría correspondencia con el objetivo de preservación del equilibrio ambiental.

Considerando la representación cartesiana de los cuadrantes en la figura 1, dos umbrales de referencia son de consideración. El primero es la división horizontal para la variable disponibilidad=0 y el segundo es el umbral de referencia $IVCAS=1$ que marca la división entre aquellos acuíferos que rebasan su capacidad de recarga y los que están dentro de sus parámetros de recarga. Por definición, los cuadrantes I y III son conjuntos vacíos. Por su parte, el cuadrante II (superior izquierdo) indica aquellos con una disponibilidad > 0 y con un $IVCAS < 1$, por lo que son acuíferos en un proceso de aprovechamiento que no rebasa la capacidad de recarga, susceptibles de continuar con asignación del recurso. La atención central de esta representación se ubica en los acuíferos del cuadrante IV, es decir en aquellos cuyo valor $IVCAS > 1$ y que por lo tanto exhiben una situación deficitaria relativa al volumen que actualmente se está concesionando.

Figura 1. Zonas de disponibilidad acorde con la distribución del criterio IVCAS, 2015



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conagua (2015).

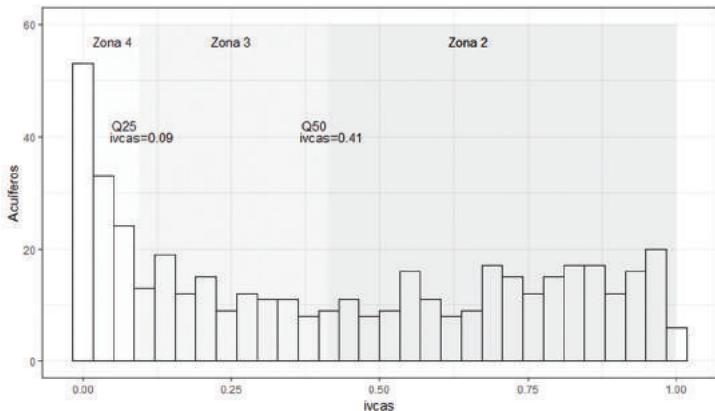
De manera complementaria, se estima enseguida el indicador denominado índice de déficit. Por definición, éste se centra únicamente en aquellos acuíferos que exceden su capacidad de recarga, así el rango estimado se ubica en el intervalo 0-77 con 203 acuíferos distribuidos de la siguiente manera: 158 en zona 1 y 45 en zona 2. Esta medida es consistente con el índice propuesto para el rediseño de la estructura de zonas del disponibilidad, dado que permite identificar aquellos acuíferos que rebasan su capacidad de recarga.

La propuesta para rediseñar la estructura de la clasificación se basa en la distribución por cuartiles de aquellos acuíferos que se ubican por debajo del umbral IVCAS=1, en un enfoque progresivo en el que paguen más aquellos acuíferos que muestren un uso de mayor intensidad e incorporar a la zona 1 los acuíferos que exceden su capacidad de recarga.

El cuadro 2 indica el criterio propuesto y la gráfica 2 muestra la distribución por zonas de disponibilidad resultante.

Un rasgo evidente en el diseño propuesto es su carácter progresivo a medida que los acuíferos tienden a rebasan su capacidad de recarga (zonas 4, 3 y 2), por lo que observamos una mayor ponderación en la zona 2 respecto a las zonas 3 y 4. Así, la zona 2

Gráfica 2. Distribución de los acuíferos según zona de disponibilidad



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conagua (2015).

Cuadro 2. Criterios de clasificación de zonas de disponibilidad de agua subterránea

Zonas	Acuíferos			
	IVCAS	IDAS	IVCAS	Diferencia
Zona de disponibilidad 1	Mayor a 1	158	203	(+) 45
Zona de disponibilidad 2	Menor o igual a 1 y mayor .41	94	226	(+)132
Zona de disponibilidad 3	Menor o igual a .41 y mayor a 0.9	245	112	(-)133
Zona de disponibilidad 4	Menor o igual a 0.9	156	112	(-) 44

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conagua (2015).

integra a los acuíferos contenidos por los cuartiles Q50 y Q75 de la distribución del IVCAS. La siguiente figura muestra la reasignación en términos espaciales de las zonas.

Adicionalmente, la clasificación permite identificar que 43 por ciento de las áreas urbanas principales del país se encuentran sobre acuíferos de alto índice de extracción (zona 1), 38 por ciento de las áreas urbanas principales sobre acuíferos en zonas 2, 15 por ciento en zona 3, y solo 4 por ciento en zona 4. Con esto se valida uno de los determinantes planteados al inicio con relación al impacto que tiene el crecimiento demográfico urbano sobre la demanda por recursos hídricos subterráneos; haciendo la precisión referente a la importancia del factor climático en áreas específicas al norte del Trópico de Cáncer donde las actividades productivas de índole agrícola explican el desbalance hídrico que experimentan los acuíferos de esa región.

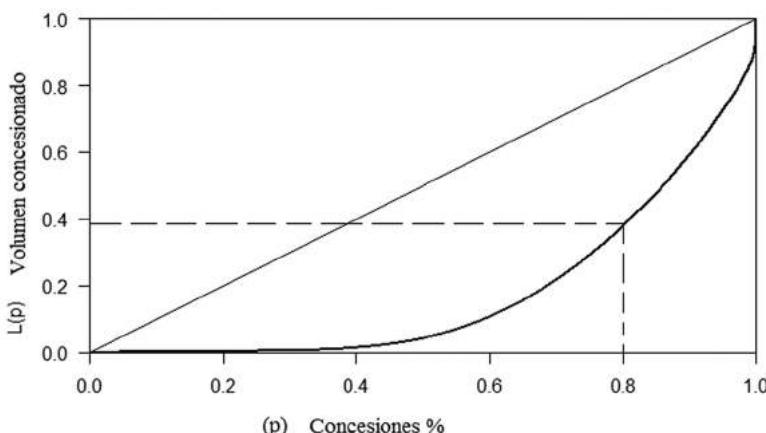
Análisis de caso: Chihuahua

Como se ha discutido, un determinante de los niveles de explotación de recursos hídricos subterráneos en el norte del país está asociado con la realización de actividades económicas que utilizan el agua como insumo en sus proceso productivos. La agricultura especializada es un ejemplo de tales actividades, y el análisis de los patrones de concentración de los volúmenes concesionados de agua entre los agentes permite detectar la existencia de asimetrías en el acceso y escenarios de monopolización que inciden en el nivel de extracción ante la configuración de las zonas de disponibilidad establecidas. El caso de Chihuahua resulta de interés por su especial orientación a la realización de actividades agrícolas del tipo monocultivo basadas en extracción de agua de los acuíferos.

En Chihuahua se localizan 62 acuíferos que en conjunto albergan 21 567 concesiones de aprovechamiento para agua subterránea oficialmente registrados (REPDA, 2015) y, acorde con la clasificación actual, 18 (29.5 %) se ubican en zona 1, 6 (9.8 %) en zona 2, 16 (16 %) en zona 3 y la mayoría, 21, en zona 4 (34 %).

Se estima, en primera instancia, el grado de concentración con la relación entre el número de concesiones de aprovechamiento de agua subterránea (pozos) y el volumen concesionado. El cálculo del coeficiente de Gini estimado, que mide el grado de concentración de las concesiones es $GI=0.64$, lo que implica que 20 por ciento de los pozos capturan 60 por ciento del volumen concesionado, la representación gráfica mediante la curva de Lorenz se muestra en la gráfica 3.

*Gráfica 3. Curva Lorenz concesiones contra volumen
Chihuahua, 2015*

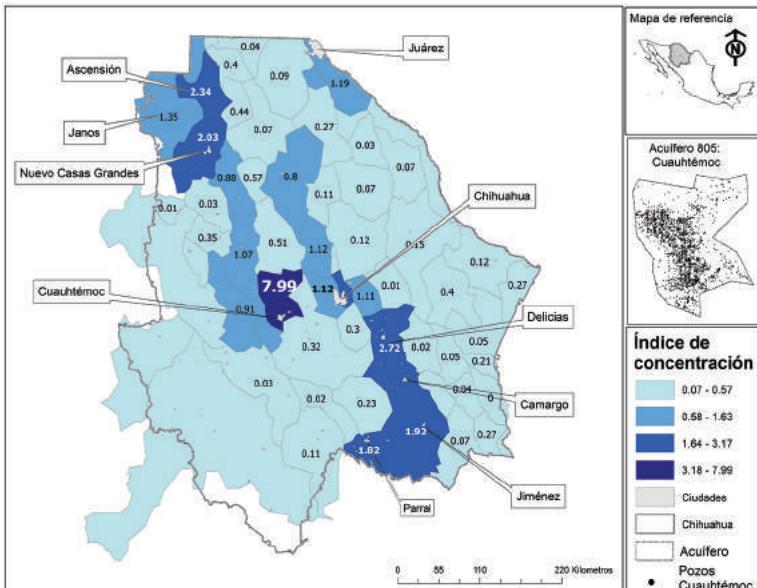


Fuente: Elaboración propia con base en datos de REPDA, Conagua (2015).

En términos geográficos, el escenario de concentración se expresa por el abatimiento de los niveles del recurso en acuíferos que abastecen fundamentalmente la demanda del sector agrícola. Así, se encuentra que el acuífero Cuauhtémoc (clave 805) concentra el mayor número de concesiones en la entidad con 4 017 pozos, muy por arriba de la cantidad de pozos concesionados en las mayores urbes de la entidad como Juárez, donde se tiene registradas 605 concesiones, o el acuífero Chihuahua-Sacramento (clave 830), que abastece a la capital del estado con 318 concesiones únicamente.

Para analizar la densidad de concesiones en términos espaciales en los acuíferos de la entidad, se estima a continuación el cociente de localización LQ considerando el área expresada en km^2 como unidad de contraste. Los resultados se muestran el mapa 3.

Mapa 3. Cociente de localización LQ para pozos por km^2 , Chihuahua, 2015



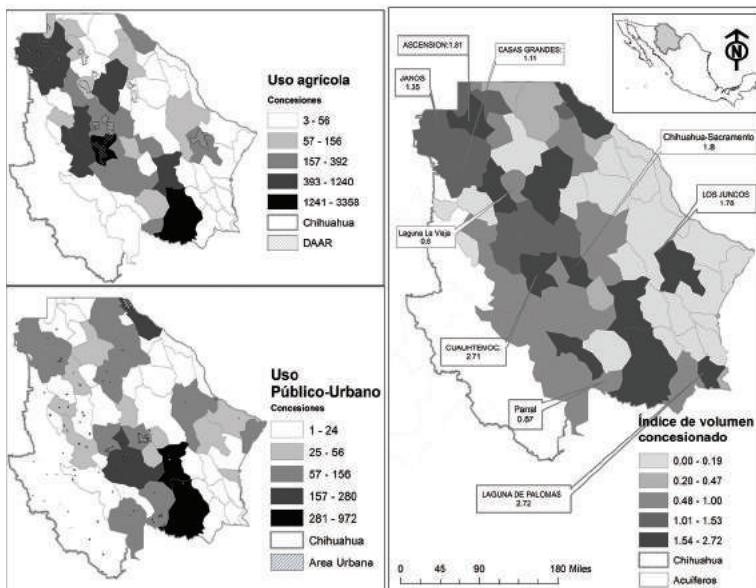
Fuente: Elaboración propia con base en datos de REPDA, Conagua (2015).

Se encuentra que la concentración de pozos por km^2 registrada por el acuífero 805: Cuauhtémoc es ocho veces superior a la observada en los acuíferos en el resto del estado. Así, en una superficie de 3 390 km^2 se han perforado 4 107 pozos (lo que implica que uno de cada cinco pozos perforados se localiza en esta área). Esto se traduce en una densidad sin precedentes en la entidad, que ejerce una presión evidente sobre la disponibilidad de los recursos hídricos para la región a largo plazo.

Con la finalidad de analizar el contraste entre el impacto que tiene la actividad agrícola y otros usos de importancia

tradicionalmente, como el destinado para consumo público y abastecimiento urbano, se considera la distribución del volumen concesionado, variable que complementa el análisis de concentración del número de pozos concesionados. Si bien estas variables exhiben una correlación positiva estadísticamente significativa ($\rho=.93$, $p.$ value =.0023), la integración del volumen concesionado permite matizar la distinción entre el tipo de usuario como elemento adicional para el rediseño de las zonas de disponibilidad. El resultado se muestra en la figura 2.

Figura 2. Índice de volumen concesionado por acuífero y concesiones por tipo de uso, Chihuahua (2015)



Nota: DAAR significa Desarrollos Agrícolas de Alto Rendimiento.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de REPDA, Conagua (2015).

La estimación permite destacar la diferencia que ejerce la actividad agrícola en la entidad y ubicar las zonas de mayor presión como Cuauhtémoc, Casas Grandes, Asención y Janos; mismas que se caracterizan por la presencia de usuarios orientados

a la producción de monocultivo, por lo que no necesariamente coinciden con los principales centros de población del estado.

En particular, el desequilibrio en términos del contraste en los parámetros de volumen concesionado y capacidad de recarga del acuífero 805 Cuauhtémoc, muestra un índice IVCAS=2.71, lo que implica que el volumen concesionado representa 2.7 veces la capacidad de recarga del acuífero, siendo el acuífero con el mayor déficit (equivalente a 197:03 hm³ y con el indicador IVCAS de mayor magnitud en todo el estado. Lo anterior confirma el escenario de extrema sobreutilización, e indica el riesgo para la consecución de un manejo sustentable de los recursos hídricos en esa región del estado.

El impacto del rediseño en la estructura de zonas de disponibilidad, propuesto en la sección anterior, para Chihuahua implicaría la siguiente distribución: 19 (31%) acuíferos ubicados en zona 1, 18 (29 %) en zona 2, 8 (13 %) en zona 3 y 16 (26 %) en zona 4; lo que refleja un esquema de mayor énfasis en la sustentabilidad.

Discusión y conclusiones

El análisis presentado mediante los indicadores propuestos permite detectar aquellos acuíferos que rebasan su capacidad de recarga y, en consecuencia, permite un criterio alternativo para rediseñar la estructura de zonas de disponibilidad acorde con objetivos de sustentabilidad. En particular, los rangos propuestos para el IVCAS, como referencia desde la perspectiva que privilegia el equilibrio ambiental, permiten integrar los principios de racionalidad de agentes en un esquema de cuotas progresivo. Así mismo, los resultados del análisis presentado sugieren que el Idas que actualmente se emplea por Conagua para delimitar las zonas de disponibilidad de agua subestima el grado de explotación de los acuíferos. Esto plantea un reto para la consecución de la estrategia de sustentabilidad hacia la que el país busca transitar.

Adicionalmente, se observó un carácter regresivo en el diseño actual, donde la zonas de mayor y menor explotación tienen la misma representación en términos proporcionales. En contraste el diseño propuesto recupera un carácter progresivo en el que aquellos acuíferos de mayor intensidad en la utilización se ubiquen en zonas de mayor costo.

Por su parte, el caso de Chihuahua permite evidenciar el surgimiento de patrones de acumulación asociados con actividades económicas como la agricultura especializada, consistentes con lo que estudios recientes en el terreno de la teoría sobre ecología política, como los realizados por Hoogersteger y Wester (2015), Birkenholtz (2009) y otros advierten. Esto da cuenta de los retos que plantea el manejo integral de los recursos hídricos subterráneos, y permite reconocer al mismo tiempo la necesidad del diseño de instrumentos regulatorios que enfrenten tales desequilibrios. Tal como lo han planteado otros trabajos de connotación empírica para México, como Wilder y Romero (2006), el manejo de los recursos hídricos requiere el involucramiento del estado para garantizar la rendición de cuentas, la transparencia y la equidad (Wilder y Romero 2006, p. 1977).

En este sentido, la propuesta de este trabajo que examina el rediseño de zonas de disponibilidad vinculado a una estructura de precios como mecanismo para emitir señales, consistente con un enfoque de mercado, constituye uno de los elementos disponibles para aproximar el problema.

Referencias

- Aeschbach-Hertig, W. y Gleeson, T. (2012). Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion. *Nature Geoscience*. 5, 853–861.
- Badiani, R., Jessoe, K. K. y Plant, S. (2012). Development and the Environment: The Implications of Agricultural Electricity Subsidies in India. *The Journal of Environment & Development*, 21(2), 244-262. doi:10.1177/1070496512442507

- Billings, S. B. y Johnson, E. B. (2012). The location quotient as an estimator of industrial concentration. *Regional Science and Urban Economics*, 42(4), 642-647. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2012.03.003>
- Birkenholtz, T. (2009). Groundwater Governmentality: Hegemony and Technologies of Resistance in Rajasthan's (India) Groundwater Governance. *The Geographical Journal*, 175(3), 208-220.
- Castro, J. E. (2012). Luchas sociales por el agua y el proceso de democratización en América Latina. En M. Perevochtchikova (Coord.), *Cultura del agua en México, conceptualización y vulnerabilidad social* (pp. 99-108). México: Porrúa.
- Castellazzi, P., Longuevergne, L., Martel, R., Rivera, A., Brouard, C. y Chaussard, E. (2018). Quantitative mapping of groundwater depletion at the water management scale using a combined GRACE/InSAR approach. *Remote Sensing of Environment*, 205, 408-418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.025>
- Acuerdo por el que se dan a conocer los valores de cada una de las variables que integran las fórmulas para determinar durante el ejercicio fiscal 2015 las zonas de disponibilidad, a que se refieren las fracciones I y II, del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos, vigente a partir del 1 de enero de 2014. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 27 de febrero de 2015. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5383775&fecha=27/02/2015
- Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C. y Sánchez Flores, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82, 93-103. doi: <https://doi.org/10.14350/ig.32452>
- Faysse, N. y Petit, O. (2012). Convergent Readings of Groundwater Governance? Engaging Exchanges Between

- Different Research Perspectives. *Irrigation and Drainage*, 61, 106-114. doi: 10.1002/ird.1654
- Hoogesteger, J. y Wester, P. (2015). Intensive Groundwater Use and (in)equity: Processes and Governance Challenges. *Environmental Science & Policy*, 51, 117-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.004>
- Hoogesteger, J. y Wester, P. (2017). Regulating Groundwater Use: The Challenges of Policy Implementation in Guanajuato, Central Mexico. *Environmental Science & Policy*, 77, 107-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.002>
- Isard, W. (1971). *Métodos de análisis regional. Una introducción a la ciencia regional*. Barcelona: Ediciones Aries.
- Méndez, J., Návar, J. de J. y González, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 65, 38-55. Recuperado de <http://www.ejournal.unam.mx/rig/RIG065/RIG000006503.pdf>
- Mukherji, A. (2006). Political Ecology of Groundwater: The Contrasting Case of Water-Abundant West Bengal and Water-Scarce Gujarat, India. *Hydrogeology Journal*, 14, 392–406.
- Ostrom, E. (1965). Public Entrepreneurship: A Case Study in Ground Water Basin Management (tesis doctoral). University of California, Los Ángeles.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Inglaterra: Cambridge University Press.
- Peñuela Arévalo, L. A. y Carrillo Rivera, J. J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 81, 18-32. doi: <https://doi.org/10.14350/rig.30518>
- Prakash, A. (2005). The Dark Zone: Groundwater Irrigation and Water Scarcity in Gujarat (tesis doctoral). Wageningen University, Holanda.

- Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). (2015). *Aprovechamientos subterráneos por estado*. Recuperado de <http://siga.conagua.gob.mx/repda/Menu/Framekmz.htm>
- Rupérez-Moreno, C., Senent-Aparicio, J., Martínez-Vicente, D., García-Aróstegui, J. L., Calvo-Rubio, F. C. y Pérez-Sánchez, J. (2017). Sustainability of Irrigated *Agriculture with Overexploited Aquifers: The Case of Segura Basin (SE, Spain)*. *Agricultural Water Management*, 182, 67-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.008>
- Saldi, L. y Petz, I. (2015). Aguas ajenas, tierras extrañas. Desigualdad hídrica al sur de la cordillera de los Andes en Mendoza (Argentina) a principios del siglo XXI. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(75), 123-144. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/10125>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. (2015). Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015. Ciudad de México: Autor. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106744/Ley_Federal_de_Derechos_2015.pdf
- Shah, T. (2009). *Taming the Anarchy? Groundwater Governance in South Asia*. Nueva York: Routledge. doi: <https://doi.org/10.4324/9781936331598>
- Smidt, S. J., Haacker, E. M. K., Kendall, A. D., Deines, J. M., Pei, L., Cotterman, K. A., ... Hyndman, D. W. (2016). Complex water management in modern agriculture: Trends in the water-energy-food nexus over the High Plains Aquifer. *Science of The Total Environment*, 566-567, 988-1001. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.127>
- Soto Galera, E., Mazari Hiriart, M. y Bojórquez Tapia, L. A. (2000). Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. *Investigaciones geográficas* (43), 60-75.

Wilder, M. y Romero, P. (2006). Paradoxes of Decentralization: Water Reform and Social Implications in Mexico. *World Development*, 34(11), 1977–1995.

EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN EL MANEJO DEL AGUA DEL SECTOR AGRÍCOLA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO REGIONAL

Óscar Alberto Pombo

Introducción

En la actualidad, en el estado de Baja California se está desarrollando un conflicto de intereses por el uso del agua. El agua se ha convertido en el factor limitante para el desarrollo del estado, por lo que entender las causas que llevaron a la situación presente es fundamental para planear el futuro de la entidad. Los dos sectores fundamentales en el estado son la agricultura, que utiliza un poco más de 80 por ciento del agua disponible, y los centros urbanos que necesitan del agua para poder seguir desarrollándose. Si bien parte del problema es la escasez o, mejor dicho, que se ha llegado al límite de disponibilidad del recurso, la verdadera causa de las disputas por el acceso al agua que se están presentando en el estado radica en la distribución del recurso. El desarrollo del estado, tanto de sus centros urbanos como en su actividad agropecuaria se produjo con escasa planificación estatal; por lo que la evolución del uso del agua se puede asimilar a la situación descripta en la *Tragedia de los comunes* por Garrett Hardin (1968), en la que todos los sectores tratan

de maximizar su acceso al recurso prestando escasa atención a las necesidades de los demás y a la condición del recurso mismo. Se han desarrollado varios marcos conceptuales y prácticos para analizar los sistemas socioecológicos (SES en inglés) y su sostenibilidad (o falta de ella) (Lior, 2017; Matson, Clark y Andersson, 2016; Pulver *et al.*, 2018). Los sistemas socioecológicos están marcados por su complejidad y requieren «muchos módulos y subsistemas; muchos, muchos estados, ramas y ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) no lineales; el uso de agentes; y modeladores inteligentes e informados» [traducción propia] (Northrop y Connor, 2013, p. 13). Como tales, muchos marcos para analizar sistemas socioecológicos adoptan un enfoque Crude Look at the Whole (CLAW) o Mirada Cruda al Conjunto [traducción propia] que se refina gradualmente para identificar el valor predictivo (Gell-Mann, 2010).

Si bien la amplitud y la profundidad de la literatura sobre el análisis de sostenibilidad socioecológica es demasiado extensa para ser revisada en su totalidad aquí, vale la pena proporcionar un breve resumen de algunos de los marcos de análisis principales. Pulver *et al.* (2018) proporcionan una valiosa visión general y comparación de seis marcos de análisis clave: 1) el marco del ecosistema humano; 2) enfoque de resiliencia; 3) evaluación integrada del enfoque de servicios ecosistémicos; 4) marco de vulnerabilidad; 5) enfoque de sistemas humano-naturales acoplados; y 6) marco de sistemas socioecológicos. Pulver *et al.* catalogan las similitudes y divergencias entre estos marcos y encuentran que todos los marcos incorporan los elementos comunes de componentes, conexiones, escala y contexto, aunque estos elementos pueden tener más o menos peso. En particular, el marco de los sistemas socioecológicos (Ostrom 2007, 2009) proporciona una de las consideraciones de contexto más sólidas, que define como «el entorno socioeconómico, político y ecológico más amplio que rodea el sistema de SE [socio-environmental por sus siglas en inglés] en estudio» [traducción propia] (Pulver *et al.*, 2018, p. 9).

Muchos estudios se han centrado principalmente en el costo económico de la desalinización y en cómo esto provoca una variación

en diferentes contextos, según la tecnología utilizada, del costo de los insumos y la salinidad del agua de origen. Karagiannis y Soldatos (2008), por ejemplo, ofrecen una revisión de varios estudios y encuentran que el costo económico privado del agua desalinizada varía desde un mínimo de 0.26 a 0.54 pesos / m³ para la desalinización a gran escala del agua salobre usando energía convencional, y como alto a 15 euros / m³ cuando se usan tecnologías de energía removible de alto costo. Es de destacar para el pilar ambiental, tanto Karagiannis y Soldatos (2008) como en Afgan, Dawish y Carvalho (1999) encuentran que la desalinización por Osmosis Inversa (OI) utilizando energía solar renovable implica mayores costos que el uso de energía convencional. Esto se debe, en gran parte, a los altos requerimientos de energía, por lo que muchos documentos destacan el alto costo económico del agua desalinizada frente a otras fuentes de agua convencionales (Samit, 2001; Feitelson y Rosenthal, 2012; Gude, 2016). Además de esto, la desalinización también incurre en costos externos (emisiones de gases de efecto invernadero, costos de oportunidad en términos de otras fuentes de agua potencialmente más asequibles que se están desarrollando, así como daños en el hábitat marino y terrestre) que no se reflejan en las estimaciones de costos económicos privados (Lavee, 2011). Estos son elementos ambientales y sociales importantes que se entrecruzan con el análisis de sostenibilidad económica.

De los tres pilares, el pilar social es quizás el más descuidado en la literatura sobre la sostenibilidad de la desalinización. Sin embargo, hay implicaciones sociales claras y evidentes en los artículos centrados en la economía y el medio ambiente. De particular importancia es cómo el agua desalinizada de alto costo puede impactar el mercado de agua más amplio de un área determinada, con el potencial de crear *ricos y pobres* que pueden provocar disturbios sociales e incluso la reestructuración de las comunidades (Feitelson y Rosenthal, 2012). La distribución de los impactos ecológicos también puede ser desigual. Ejemplo de esto puede ser el daño a los ecosistemas marinos, de los que dependen las industrias pesqueras locales, o la construcción de

plantas de desalinización que afectan el bienestar de comunidades específicas. Por estas razones, son de particular importancia las estructuras de gobierno que determinan quién toma las decisiones sobre la adopción, construcción y operación de la planta de desalinización, así como la distribución final de costos y beneficios.

En Baja California los centros urbanos reclaman mayores volúmenes de agua para poder seguir creciendo, mientras que la agricultura debe enfrentarse al límite impuesto por la disponibilidad del recurso. Por ser la agricultura el principal consumidor del recurso agua en el estado, la tecnología en la producción agrícola se convierte en la clave para el desarrollo de la región. En el estado de Baja California existen dos regiones agrícolas claramente diferenciadas: el Valle de Mexicali que recibe casi toda su agua del río Colorado ya sea mediante canales de irrigación o mediante pozos del acuífero local abastecido principalmente por el río Colorado; y la zona de la Costa, que depende de acuíferos locales. Las estrategias tecnológicas que han adoptado las dos regiones son totalmente diferentes.

En el Valle de Mexicali, debido a que el recurso todavía no ha llegado a la etapa crítica de la escasez se han desarrollado muy poco las tecnologías que impliquen un manejo de alta eficiencia del recurso. En la zona de la costa, donde la mayoría de los acuíferos que dependen de la escasa precipitación pluvial de la región se encuentran sobreexplotados y en muchos casos con la presencia de intrusión salina por agua de mar, la tecnología se ha transformado en la pieza clave en el desarrollo de la región, y se ha desarrollado de manera considerable. Este capítulo analiza el papel de la tecnología agrícola en el desarrollo de la región costera más productiva del estado de Baja California, el Valle de San Quintín, donde la evolución de la tecnología se produjo de manera orgánica (sin dirección o estímulos estatales), guiada únicamente por las fuerzas de mercado en un escenario análogo al descripto por Hardin (1968) en el artículo «La tragedia de los comunes».

Antecedentes

La agricultura de San Quintín en el contexto de la producción nacional

La producción agrícola de la región se encuentra en el segundo lugar a nivel nacional en productos como el tomate, cebolla y fresa. Con información obtenida de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y de la Subsecretaría de Alimentación y Competitividad durante 2012, y con datos publicados en el Atlas Agroalimentario 2017 (Sagarpa, 2017), se observa que México se ubica en el primer lugar de exportadores de tomate rojo a nivel mundial con una producción de 2 838 370 tons. Los estados que encabezan las exportaciones de tomate rojo son Sinaloa con 1 039 378 tons., seguido por Baja California con 189 636 tons., donde el Valle de San Quintín aporta 99.4 por ciento de la producción de la entidad (SIAP, 2018). En lo que respecta a la producción nacional de cebolla, que en 2012 alcanzó 1 238 602 tons., encabezando la lista de principales estados exportadores se encuentra Chihuahua con 206 044 tons., seguido de Baja California con 166 894 tons., el municipio de Ensenada (zona costa) –donde se ubica el Valle de San Quintín– produce 55 por ciento de la producción estatal. En la producción de fresa, México ocupa el quinto lugar en exportaciones y ha incrementado la producción en los últimos años alcanzando en 2012 un total de 360 426 tons. Las entidades federativas que encabezan la lista nacional son Michoacán con 203 314 tons. y Baja California (en particular el municipio de Ensenada), donde el Valle de San Quintín aporta 100 por ciento de la producción de 111 708 tons. (SIAP, 2018). Además, Baja California se encuentra en los primeros lugares en el rendimiento de trigo y algodón (Corrales, 2010). Esta alta producción agrícola es casi paradójica debido a que los climas predominantes, que según la clasificación de Köppen son del tipo áridos y semiáridos. Para conseguir tan altos rendimientos en los cultivos de tomate y fresa, la agricultura

bajo riego es indispensable ya que el agua de lluvia es insuficiente para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En el estado se definen claramente dos regiones agrícolas. La primera es la zona del Valle de Mexicali que obtiene su agua para irrigación del río Colorado, cuyos volúmenes se encuentran regulados mediante el Tratado Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos –firmado el 3 de febrero de 1944– que otorga a México el derecho a un total de 1 850 234 hm³ por año (Escoboza, 2009). Por otro lado están las zonas costeras, en las que existen cultivos de temporal y donde la irrigación se realiza principalmente mediante agua extraída de acuíferos que se recargan colectando las escasas precipitaciones que recibe la región en grandes áreas aéreas destinadas a esto. De acuerdo a los datos de la Conagua (2015), el estado de Baja California cuenta con 48 acuíferos que en conjunto aportan un volumen de 1 265 millones de metros cúbicos.

La zona agrícola de la costa forma parte del Distrito de Desarrollo Rural 001, que comprende las zonas del Valle de Guadalupe, Maneadero, Ojos Negros, San Quintín y El Rosario, y cuenta con 234 435 hectáreas susceptibles de cultivo, de las cuales 108 451 son de riego y 125 984 de agricultura de temporal. Los principales cultivos son tomate, cebolla, uva, fresa, olivo y hortalizas.

La agricultura de San Quintín en el contexto regional

A diferencia de la zona agrícola del Valle de Mexicali, en la que predomina la agricultura tradicional o a cielo abierto, en la zona costera desde aproximadamente la década de 1990 se viene realizando una transformación de la agricultura, reemplazando los cultivos a cielo abierto con agricultura protegida. Estas estructuras varían en su nivel tecnológico y van desde el más bajo –en las que el control ambiental es mínimo– hasta estructuras con alto nivel, donde es posible controlar completamente los principales parámetros ambientales (radiación solar y temperatura) que influyen en la producción agrícola.

En la agricultura de temporal la precipitación pluvial es la fuente exclusiva de agua para los cultivos. En los sistemas de agricultura bajo riego, el agua de lluvia abastece los ríos, cuencas y acuíferos, los cuales posteriormente abastecerán los canales de riegos y/o pozos de los diferentes distritos de riego.

Las tecnologías de manejo del agua en el Valle de San Quintín

En general la introducción de técnicas avanzadas de manejo del agua solo se produce cuando el agua disponible no permite continuar con el desarrollo de las operaciones comerciales. Cuando el agua se convierte en el factor clave limitante del desarrollo, la adopción de tecnologías que permitan maximizar la productividad de los volúmenes de agua solo ocurre cuando se llega o se supera el límite de la capacidad de carga de un sistema. Cada paso tecnológico requiere inversiones considerables por parte de los productores quienes (obviamente) van a resistirse a realizar las inversiones a menos que sea estrictamente necesario; es decir cuando, no sea posible continuar con la actividad económica debido a la escasez del recurso. Se ha podido observar que en las regiones en las que se produce un desarrollo económico, ya sea agrícola, inmobiliario u hotelero, a medida que se avanza hacia el límite de la explotación del agua comienzan a producirse conflictos entre los diferentes usuarios, especialmente entre los usuarios urbanos y comerciales. La eficiencia en el aprovechamiento del agua está en relación directa con la disponibilidad del recurso, tal como lo demuestra el ejemplo de la agricultura de Baja California. En la zona del Valle de Mexicali, donde la provisión de agua del río Colorado todavía es suficiente para mantener la producción con métodos tradicionales, predomina el riego por inundación de los surcos. Con esta tecnología de riego se evapora aproximadamente la mitad del agua. Si a esto le sumamos las perdidas por conducción en los canales de riego, resulta que una gran parte del agua destinada a los cultivos agrícolas termina desperdiciada. Este gran desperdicio de agua se

podría reducir mediante algunas tecnologías que permitan un uso más eficiente del recurso, como el riego por aspersión que permite irrigar las parcelas en el momento justo que las plantas lo necesitan reduciendo así las grandes pérdidas por evaporación provocadas al usar el sistema por inundación. También se podría utilizar el sistema de riego por goteo por ser éste el método más eficiente en el aprovechamiento del agua, ya que permite a los cultivos aprovechar al máximo el recurso obteniendo ahorros de entre 60 y 80 por ciento en el consumo de agua por unidad de superficie. Sin embargo, debido a que la disponibilidad del agua en el Valle de Mexicali todavía es lo suficientemente abundante como para permitir continuar con las prácticas tradicionales, prácticamente no se han realizado inversiones sustantivas en sistemas de riego más avanzados para un mejor aprovechamiento del recurso, ni se han producido cambios significativos en la calidad de los cultivos con el fin de ahorrar agua y obtener mejores rendimientos por hectárea. No obstante, dada la tendencia de uso del agua del estado, está muy cercano el momento en que deba comenzar la tecnificación para reducir el consumo de agua para continuar con el desarrollo agropecuario y liberar volúmenes para otros usos como el urbano o industrial. El análisis del desarrollo tecnológico del Valle de San Quintín puede ayudar a realizar la transición tecnológica con mayor efectividad y reduciendo a un mínimo los efectos negativos.

Cuando la disponibilidad de agua se vuelve crítica, cuando ya no es posible continuar con la expansión de la economía debido a que se llegó al límite de explotación del recurso, una solución que está generando cada vez más interés es generar nuevos volúmenes de agua potable mediante tecnologías de reúso o desalación de aguas no aptas para usos humanos o agrícolas. En la península de Baja California encontramos dos claros ejemplos en los que la tecnología de la desalación de agua permitió el desarrollo económico regional: Cabo San Lucas en Baja California Sur (Pombo 2007, Pombo, Breceda y Valdez, 2008) y el Valle de San Quintín en Baja California (Pombo, 2015; Pombo y Santes, 2016).

En Cabo San Lucas, Baja California Sur, se contaba con un acuífero aislado al borde de la sobreexplotación y la fuente alternativa más cercana de agua estaba situada a mucha distancia de donde se la necesitaba para abastecer al gran desarrollo hotelero que se estaba construyendo en la región. Cuando la extracción llegó al límite de la disponibilidad de agua, la respuesta para continuar con el crecimiento económico provino de los propios inversores privados quienes comenzaron a invertir en tecnologías tanto de desalación de agua marina, así como técnicas de reúso de aguas residuales para irrigar jardines y campos de golf satisfaciendo totalmente sus necesidades (Pombo, 2007; Pombo *et al.*, 2008). La inversión privada en estas tecnologías solucionó el problema de abasto de agua de los emprendimientos turísticos sin necesidad de intervención estatal. Sin embargo, el estado se vio obligado a invertir en una planta desalinizadora de agua de mar para poder cubrir la demanda de agua potable de los trabajadores que se asentaron en la entidad como consecuencia del desarrollo hotelero construido gracias al uso de plantas desaladoras individuales que cubren la totalidad de las demandas de esa industria. El estado proporciona un subsidio indirecto a la actividad hotelera sin que ésta participe aportando fondos directamente para la solución del problema (Pombo, 2007; Pombo *et al.*, 2008).

En el manejo de los acuíferos del Valle de San Quintín se produjo una situación semejante a la que se presentó en Cabo San Lucas: el acuífero local que permitió el asentamiento de grandes operaciones agrícolas llegó a la sobreexplotación. Por tratarse de un acuífero costero, se produjo una intrusión salina que redujo aún más la disponibilidad de agua para los cultivos. Los pozos de los desarrollos agrícolas más importantes, situados cerca del mar por razones estratégicas de mejor infraestructura (electrificación rural, comunicaciones, carreteras, etc.), fueron los primeros afectados. Debido al aumento de la salinidad del acuífero y por la imposibilidad práctica de acceder a otras fuentes de suministro de agua, los productores se vieron forzados a invertir en plantas desaladoras individuales y así poder convertir las aguas salobres del

acuífero en aptas para cultivo. (Pombo, 2015; Pombo y Santes, 2016). Estas inversiones fueron realizadas de forma privada por los productores individuales con escasa o nula intervención estatal.

Consecuencias socioeconómicas de los cambios tecnológicos en el manejo del agua

El agua es el principal factor limitante para la expansión de la agricultura en la zona costera de Baja California. Dado que no es posible aumentar la extracción de los acuíferos por hallarse en equilibrio en el mejor de los casos, o sobreexplotados con intrusión salina en la mayoría de los casos, el valor de cada gota de agua aumenta considerablemente. Ya sea por la escasez o por los costos derivados de producirla a partir de agua de baja calidad, el agua para la agricultura está dando forma a la evolución tecnológica de la agricultura de la zona costera.

Desde hace un tiempo viene llevándose a cabo en la zona agrícola del Valle de San Quintín la desalación de aguas salobres del acuífero local. Debido al alto costo de producir agua con salinidad adecuada para los cultivos paralelamente a la desalación, se produjo una acelerada tecnificación en los métodos de cultivo que incluyen los invernaderos, el fertiriego por goteo, el cultivo en camas elevadas de composta y la hidroponía. Todas estas tecnologías permitieron maximizar la eficiencia en el uso del agua para mantener e incluso aumentar la producción con menores volúmenes de agua. Por la escasez del recurso, y debido a los altos costos asociados a la desalación, va en aumento la tendencia por controlar artificialmente las condiciones en que se desarrollan los cultivos para conseguir incrementar la producción sin utilizar más agua.

Cambios tecnológicos en los sistemas de cultivo producto de la adopción de nuevas tecnologías en el manejo del agua

Debido al gran valor económico de los cultivos del Valle de San Quintín en el estado de Baja California, y por ser el agua el

factor limitante de la economía de la región, han habido incentivos muy poderosos para mejorar la eficiencia del uso del agua en los cultivos de la región costera. El acuífero local que sostiene toda la agricultura del Valle de San Quintín está sobreexplotado y es evidente una intrusión salina en la zona costera del acuífero con un aumento de la salinidad que hace que el agua ya no sea apropiada para el riego de los cultivos locales más valiosos. La desalinización de las aguas salobres del acuífero local ha hecho posible el riego de cultivos de alto valor en las zonas próximas a la costa, caracterizado por tener la mejor infraestructura vial, eléctrica y de servicios del valle, pero donde el acuífero es más propenso a la intrusión marina. Actualmente, las operaciones con tecnologías agrícolas más avanzadas han aumentado su volumen de producción con la misma cantidad de agua que se utilizaba antes de las mejoras tecnológicas; es decir, han aumentado su productividad consumiendo la misma cantidad de agua que en el pasado.

La escasez de agua en el Valle de San Quintín se comenzó a hacer sentir seriamente a partir de la década de 1990 y los agricultores debieron adaptarse a las nuevas condiciones de escasez para continuar con sus actividades. La adopción de cultivos resistentes a la salinidad –como la cebolla o el brócoli– fue la solución inmediata adoptada principalmente por pequeños productores. Desafortunadamente esos productos tienen bajo valor en el mercado. Los medianos y grandes productores ya tenían un mercado establecido para productos de alto valor como tomates o fresas, por lo que les resultaba prácticamente imposible cambiar de cultivos. El resultado fue la adopción de instalaciones que permitieran desalar las aguas salobres del acuífero y técnicas de cultivos que maximicen la eficiencia del uso del agua. En los comienzos se utilizó la malla sombra para reducir la evaporación, pero pronto ésta fue reemplazada por los invernaderos ya que en ellos se consigue un mayor control de las condiciones ambientales y en consecuencia una mayor eficiencia en el uso del agua. Los cultivos intensivos trajeron aparejados otros cambios importantes, especialmente en el uso

de pesticidas, ya que el ambiente controlado reduce sustancialmente la necesidad de su uso. A mediados de la década 1980, una de las cosas que más llamaba la atención en esos días era el número de aviones de fumigación trabajando a todas horas sobre los cultivos, práctica que ha desaparecido por completo en la actualidad. Sin embargo, se deberían analizar las consecuencias para la salud de los nuevos trabajadores permanentes de los invernaderos; ya que si bien los sistemas reducen sustancialmente la cantidad de agrotóxicos por unidad de superficie, al ser ciclos de producción continuos la frecuencia de aplicación y por ende de exposición de los trabajadores aumenta.

Conflictos de usuarios urbanos-rurales

A diferencia de Cabo San Lucas, donde el conflicto por el uso de agua se planteó entre los sectores urbano-industria hotelera, en San Quintín se presentó un conflicto urbano-rural por el uso del agua del acuífero que surte la región. Una parte muy importante de la población recibe agua potable en su domicilio mediante una red administrada por la CESPE (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada). Como en casi todas las otras regiones del estado, debido a la baja calidad y al alto contenido de sales, la población en general solo utiliza el agua de tubería para usos domésticos como limpieza, lavar ropa y utensilios de cocina e higiene personal, pero nunca para beber o cocinar. Las personas que no están conectadas a la red compran el agua de camiones tanques (pipas), algunos son propiedad de la CESPE y otros de compañías privadas que cobran de 8 a 15 pesos el barril de 200 litros (Pombo 2015). Por otra parte existe un mercado paralelo de agua para beber purificada mediante osmosis inversa que se vende en garrafones de 5 galones y cuyo uso es universal. Este mercado diferencial del agua es común en todo el estado de Baja California, lo que significa que el agua de uso doméstico-no potable puede tener una calidad inferior y todavía cumplir con las expectativas de los usuarios, ya que en ningún caso se

la destina para beber o cocinar. Para solucionar este conflicto de usuarios, y liberar los volúmenes de agua que hoy utiliza la población para ser utilizados por la agricultura, el estado siguió el ejemplo de Cabo San Lucas en Baja California Sur y licitó la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar para suplir las necesidades de la población. Esto constituye una forma velada de subsidio a la producción agrícola de la región, ya que aparte de liberar volúmenes de agua que van a ser utilizados por la agricultura, resuelve con fondos del estado la falta de agua potable de los trabajadores de las mismas empresas agrícolas que fueron las causantes de la sobreexplotación del acuífero.

Cambios sociales producto de los cambios tecnológicos

En la región de Cabo San Lucas, la introducción de plantas desaladoras de agua de mar para permitir un acelerado desarrollo hotelero de la región produjo un considerable aumento en los puestos de trabajo y esto atrajo a una gran cantidad de migrantes, principalmente del sur de México para cubrir la demanda laboral. La población aumentó considerablemente trayendo aparejados todo tipo de demandas de servicios como agua, educación, vivienda, etcétera; los cuales deben ser cubiertos con fondos públicos, constituyendo una forma velada de subsidio a la industria del turismo.

En San Quintín, el cambio tecnológico que significó pasar de cultivos extensivos con irrigación de inundación al uso de desaladoras de agua salobre, y el fertirriego de invernaderos de ciclo continuo, significó un cambio radical en las relaciones laborales. Se redujeron drásticamente los puestos de trabajo estacionales que eran cubiertos por jornaleros migrantes, mientras que aumentó el número de posiciones permanentes. Sin embargo, el balance neto de creación de puestos de trabajo fue negativo. Mientras la población creció aceleradamente durante los años en que predominó el cultivo estacional a cielo abierto, al introducirse las tecnologías de desalación y los cultivos protegidos, el crecimiento poblacional

se detuvo e incluso llegó a ser negativo; es decir, hubo años en los que la población decreció para estabilizarse en la actualidad (Pombo, 2015). Los censos del Inegi muestran un inicio con un crecimiento poblacional alto en la década de 1990, para luego estabilizarse alrededor de 2005. Pero el censo de 2010 muestra una disminución de la población con respecto al censo anterior. En su mayor parte eso puede atribuirse a un cambio en las tecnologías de cultivo. De cultivos extensivos estacionales con abundante uso de mano de obra migrante se evolucionó a cultivos en condiciones controladas de invernadero con alta tecnificación y alta producción que requieren menos mano de obra estacional y una mayor especialización por parte de los empleados rurales. Entrevistas con actores clave coinciden en señalar que se han producido cambios muy importantes en las características de las relaciones laborales, así como en la dinámica poblacional de la región. Mientras en el pasado era necesario el uso abundante de mano de obra migrante, especialmente para la recolección de las cosechas estacionales, en la actualidad la mayoría de los cultivos intensivos producen todo el año; por lo que cambió la demanda de trabajo y ahora los trabajadores son locales porque se necesitan en todas las estaciones del año.

Existen en la teoría principios sobre uso eficiente de agua que debemos analizar remitiéndonos a estudios realizados por Donald M. Tate (2014), quien los resume de la siguiente manera:

- 1) La eficiencia en el uso del agua incluye cualquier medida que reduzca la cantidad por unidad, que se utilice en una actividad dada, y que sea consistente con el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua.
- 2) El uso del agua en la mayoría de las actividades socioeconómicas puede variar ampliamente, dependiendo ello de la interacción de muchos factores.
- 3) La cantidad de atención prestada a la eficiencia del uso del agua es directamente proporcional a los precios cobrados por el servicio.

- 4) El alza de precios conduce a un aumento en la atención a las características del uso del agua y, a largo plazo, a un uso más eficiente.
- 5) Cuando los precios del agua reflejan todos los costos sociales del desarrollo de suministros, se crean incentivos para la utilización eficiente y racional del recurso, reflejando su valor en la producción o en sus varios otros usos.
- 6) Las actitudes, los gustos y las preferencias del pueblo originan consideraciones de importancia para alcanzar un incremento en la eficiencia del uso del agua.
- 7) La eficiencia en el uso del agua es en parte una respuesta a los derechos de propiedad que prevalecen en la sociedad. Mientras más propiedad privada exista, más se utilizan las prácticas de la eficiencia del agua.
- 8) Cuando los recursos son evaluados correctamente en proporción a su contribución y su productividad, existe el incentivo, a través de las fuerzas de la oferta y demanda, para utilizar esos recursos eficientemente a través de la introducción de cambios tecnológicos.
- 9) La calidad y cantidad del agua están estrechamente entrelazadas, de tal forma que las acciones dirigidas hacia el incremento de la eficiencia del uso del agua pueden tener un impacto sobre su calidad, y viceversa.
- 10) Los pasos tomados para el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua deben ser formalmente evaluados comparándolos con los múltiples criterios existentes.

Estos principios de Tate (2014) básicamente dicen que la disponibilidad y el costo del agua condicionan su manejo. En Baja California se pueden observar dos escenarios totalmente diferentes con respecto al manejo de los recursos hídricos para la agricultura. En el Valle de Mexicali, donde predomina el riego por inundación y que utiliza la mayor parte del agua del estado de Baja California, no se están realizando grandes esfuerzos para optimizar el uso del recurso. Por otra parte, en la zona costera, donde la escasez se hace sentir y los costos de obtener

agua de calidad son elevados, se está avanzando aceleradamente en la tecnificación agraria.

*El agua como factor limitante del crecimiento económico
Baja California*

Recordemos que el consumo humano representa solo 8 por ciento del volumen total, mientras que la agricultura consume aproximadamente 80 por ciento del agua que se utiliza en el estado. La ciudad de Tijuana se abastece en 87.3 por ciento del agua del río Colorado y en general la zona costera depende en 54.4 por ciento del agua este mismo río y el resto de acuíferos regionales sobreexplotados. Para permitir el crecimiento de los centros urbanos costeros, el Estado debe estar capacitado para abastecer de agua a dichas comunidades. Por mucho tiempo, la ciudad de Ensenada utilizó el agua subterránea del acuífero del valle agrícola de Maneadero. Aunque al menos en los papeles a la ciudad de Ensenada le corresponde una parte del agua del río Colorado, durante mucho tiempo esta cuota no fue utilizada por carecer de un acueducto que le permitiera transportar el recurso. Debido a que el acuífero del que se surte ya se encuentra sobreexplotado, Ensenada ha comenzado a recibir agua del río Colorado a través de Tijuana mediante el llamado Acueducto de Flujo Inverso, ya que antes servía para llevar agua de Ensenada a Tijuana. La política por el momento parece centrarse en el uso de desaladoras de agua de mar para abastecer el crecimiento de los centros urbanos de la zona costera, con plantas desaladoras planeadas o en algún grado de construcción en San Quintín, Ensenada y Rosarito. No existe un plan de tecnificación de la agricultura que permita optimizar el uso del agua en la región del Valle de Mexicali, que es justamente donde más se produce el desperdicio del agua del estado.

La agricultura de la zona costera se ha tecnificado por cuenta propia, debido al deterioro de los acuíferos principalmente debido a la sobreexplotación. La solución a largo plazo

va a depender de la tecnología, y muy probablemente tendrá que incluir el reúso de aguas servidas con altos niveles de tratamiento y la tecnificación de los sistemas de riego del Valle de Mexicali para reducir las pérdidas de los sistemas actuales de irrigación agrícola a fin de aprovechar esos volúmenes para uso urbano. Un ahorro de 10 por ciento del agua que actualmente se utiliza para la agricultura permitiría duplicar la población urbana de la zona costera.

Sumado a lo anterior, actualmente existe incertidumbre del impacto del cambio climático en la disponibilidad del agua en el mundo. En el tema de uso sostenible del agua, los gobiernos se están volviendo cada vez más conscientes de su vulnerabilidad ante la escasez de agua debido al crecimiento demográfico, al crecimiento económico, a los nuevos patrones de consumo y al cambio climático, entre otros factores (FAO, 2014).

El modelo propuesto por Herrero (2015) para España propone las siguientes formas de asegurar un futuro sostenible en materia hídrica de una determinada región:

- 1) Concientizar a los ciudadanos sobre la importancia del uso responsable del agua mediante la implantación de planes integrales orientados al establecimiento de objetivos de ahorro de agua. Incluyendo un consumo responsable que apuesta por los alimentos que consumen menos agua, aprovechando mejor los alimentos y no tirándolos, ahorrando agua de uso doméstico.
- 2) Fomentar la agricultura eficiente: en agricultura es posible ser más eficientes y ahorrar más agua haciendo uso de la tecnología, mediante la elaboración de planes de cultivos para los agricultores y la utilización de sensores para medir la humedad del suelo, el estado de la planta, las variables climáticas, etcétera; todo ello para ajustar el agua que hay que aportar a los cultivos, enviando información al agricultor con las recomendaciones de riego. También se pueden mejorar los rendimientos empleando sistemas que generen sombra para reducir la temperatura y la evaporación y

conservar la humedad del suelo, y sensibilizar a los agricultores sobre el valor del agua por falta de una estructura de precios y un marco normativo adecuados.

- 3) Captar y almacenar el agua de lluvia y del ambiente representa una opción real para abastecer con agua de calidad y de manera constante, viable y económica a las personas, especialmente en aquellas regiones donde las fuentes de agua superficiales y subterráneas se encuentran sobreexplotadas o contaminadas. Para ello hay que captar el agua, almacenarla y aplicar los tratamientos necesarios de potabilización y purificación.
- 4) Reutilizar las aguas. Si las inversiones en infraestructura de reutilización se hacen cada vez más rentables y los precios de obtención del metro cúbico de agua regenerada disminuyen, puede ser una solución muy interesante para el futuro.
- 5) Desalar el agua de mar permite incrementar los recursos hídricos disponibles y mejorar la calidad de las aguas. Tal es el caso de España, donde se aplica como un complemento para combatir la escasez de agua en la vertiente mediterránea. La optimización de los costos energéticos es prioritaria para hacer la desalación cada vez más rentable. Se están produciendo avances importantes ya que se ha conseguido pasar de consumir 5 a 3 kWh para desalar 1 m³ de agua salobre del acuífero en las nuevas desaladoras. Sin embargo, en la región de San Quintín al tratarse de numerosas pequeñas plantas individuales no se consiguen las economías de escala tanto energéticas como en inversiones de capital que se conseguirían de existir una sola planta desaladora capaz de abastecer a todos los productores. Aun considerando que las plantas desaladoras funcionan por unas horas al día, la capacidad instalada para desalación en el Valle de San Quintín superaba en 2014 la recarga anual del acuífero (Pombo, 2015), y desde entonces ha seguido aumentando el número de plantas desaladoras privadas.
- 6) Medir adecuadamente el agua que se consume y poner un precio justo al agua: una adecuada medición es importante

para alcanzar una gestión eficiente del recurso. Un precio real del agua estimula la eficiencia y permite la recuperación de costos. En el caso de España sería necesario implantar una metodología nacional de obligado cumplimiento para el cálculo de las tarifas del agua urbana y del agua para el regadío.

- 7) Planificar: una correcta planificación hídrica, energética, agraria y urbanística permite que el crecimiento y el desarrollo no vayan por delante de la disponibilidad de recursos hídricos o energéticos o de la capacidad de depuración y de reutilización de los recursos hídricos, una vez que han sido utilizados.
- 8) Gestionar eficazmente. Es necesario un marco normativo eficiente y que se lleve a la práctica para regular los usos del agua en las cuencas hidrográficas.
- 9) El concepto de ciudad inteligente trata de una evolución en los modelos de gestión de las ciudades para tener presente en el día a día el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de los recursos. Haciendo uso de la tecnología más avanzada se optimizan los procesos de la gestión integral del agua, logrando la disminución del consumo de agua mediante la mejora de las redes de distribución, la detección de averías, fugas, etcétera.
- 10) Favorecer el acceso al agua potable y al saneamiento pues son fundamentales para que la población pueda salir de la pobreza. Tener acceso al agua potable en cantidad y calidad es un derecho fundamental del ser humano. La escasez de agua puede superarse, pero tiene un costo relacionado con la construcción de nuevas infraestructuras para mejorar la eficiencia de los sistemas existentes de abastecimiento y saneamiento, etcétera. En ausencia de una política para guiar y orientar un manejo integral del recurso, las tecnologías adoptadas por la agricultura de San Quintín para maximizar la eficiencia fueron impulsadas estrictamente por las fuerzas del mercado. Como consecuencia directa, las nuevas tecnologías adoptadas, en especial invernaderos y plantas de desalinización, crearon un nuevo patrón de productividad,

donde la producción extensiva y de temporada dio paso a cultivos intensivos con cosechas escalonadas a lo largo de todo el año. Estos nuevos modelos de producción generaron grandes cambios en las características del empleo. De trabajadores migrantes temporales de baja calificación se pasó a trabajadores permanentes especializados. Las protestas laborales del mes de marzo de 2015 reflejan estas nuevas relaciones laborales y económicas, y los reclamos se orientaron hacia la necesidad de realizar las adaptaciones necesarias en los contratos de trabajo que permitieran continuar con el crecimiento económico de la región.

Marco legal y gobernanza del agua en Baja California

El marco legal de México en general considera el agua como una herramienta de desarrollo económico, pero carece de disposiciones específicas para el manejo adecuado a nivel local, lo cual es particularmente evidente en regiones con escasez de agua como el noroeste de México. El enfoque verticalista del manejo del agua en México ha dado como resultado el agotamiento de los acuíferos, la concentración de la riqueza y los derechos de agua en pocas manos. Las políticas actuales estimulan la inversión en tecnología principalmente mediante la provisión de energía eléctrica altamente subvencionada al sector mediante la tarifa 09.

Mediante la Ley de Energía para el Campo (2002), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2002, se establece un subsidio a manera de tarifa eléctrica preferencial, conocida como tarifa 09, destinada a los servicios que ocupan energía para el bombeo de agua para el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado local de la zona donde se encuentre instalado dicho equipo de bombeo. Mediante la tarifa 09 los agricultores pagan un precio muy inferior al costo de producción de la energía. De acuerdo con el INE, la tarifa 09 es uno de los factores más importantes en la sobreexplotación de los acuíferos mexicanos «por su naturaleza, el subsidio actual a la tarifa 09 es

regresivo: beneficia más a quien tiene más», modificarlo «puede ser una oportunidad para convertir el subsidio en un apoyo progresivo o bien para promover políticas de mejora tecnológica, aumento de la productividad o simplemente evitar el incentivo perverso a utilizar más agua y electricidad de la necesaria» (Ávila, Muñoz, Jaramillo y Martínez, 2005).

Conclusiones

La tecnología de manejo del agua en el sector agrícola es la clave para el desarrollo de todo el estado de Baja California. De no mediar intervención estatal, el modelo de tecnificación que se desarrolló en el Valle de San Quintín con alguna variante muy probablemente sea el que se adopte en el Valle de Mexicali. Consecuentemente, los problemas sociales y económicos que se van a producir en el Valle de Mexicali por la adopción de nuevas tecnologías van a ser semejantes a los que ocurrieron en San Quintín. De aplicarse el modelo de San Quintín, se produciría una concentración de capital como resultado de la salida del mercado de los campesinos que no puedan costear las inversiones en las nuevas tecnologías, quienes se verán forzados a vender sus tierras (y derechos de agua) a los medios y grandes capitales. En este caso, se generaría una reducción de empleos estacionales al mismo tiempo que se crean empleos permanentes, pero el balance final indicaría una reducción general de empleos. En caso de no tomarse medidas que prevean dicho cambio al cambiar la forma de empleo de temporal a permanente, se corre el riesgo de generar conflictos sociales como los que tuvieron lugar en San Quintín durante 2015. De cualquier forma, el estado tendrá que realizar inversiones en servicios sociales que funcionarán como un subsidio velado a los productores que consigan adaptarse a las nuevas condiciones.

Para realizar una tecnificación del agro que evite la concentración de capital y que permita a los pequeños productores permanecer en el mercado se requiere una política nacional dirigida específicamente a ese sector. Podría tratarse de una ayuda eco-

nómica a los que menos tienen para permitir una explotación del agua de manera más equitativa y eficiente, lo cual redundará en una mejor distribución de la riqueza y mejores condiciones de trabajo para miles de trabajadores rurales. Otra opción podría ser la instalación de grandes unidades tecnológicas que permitan aprovechar las economías de escala como, por ejemplo, grandes plantas desaladoras para uso agrícola que vendan su producción a todos los productores, reduciendo así la necesidad de los pequeños productores de invertir en tecnología de desalación. En ausencia de políticas específicas dirigidas a los pequeños productores agrícolas, la adopción de las tecnologías orientadas por las fuerzas de mercado tiende a favorecer a los medianos y grandes productores. Mientras que los pequeños productores, al carecer de capacidad económica para invertir en tecnologías de vanguardia, se ven obligados a salir del mercado.

Referencias

- Afgan, N. H., Darwish, M. y Carvalho, M. G. (1999). Sustainability assessment of desalination plants for water production. *Desalination*, 124(1-3), 19-31.
- Ávila, S., Muñoz C., Jaramillo, L. y Martínez, A. (2005). *Un análisis del subsidio a la tarifa 09*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Munoz-Pina/publication/28253705_Un_analisis_del_subsidio_a_la_tarifa_09/links/0fcfd5076f46ec32a4000000.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015). Atlas del agua en México. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- Corrales, F. J. (2010). *Diagnóstico Sectorial Baja California*. Baja California: JICOMEX S.A. de C.V. Baja California.
- Escoboza, G. L. F. (2009). *Agua e infraestructura hidroagrícola. Estudio diagnóstico del Valle de Mexicali para su desarrollo agropecuario*. Mexicali: ICA-UABC.

- Feitelson, E. y Rosenthal, G. (2012). Desalination, Space and Power: The Ramifications of Israel's Changing Water Geography. *Geoforum*, 43(2), 272-284.
- Gell-Mann, M. (2010). Transformations of the Twenty-First Century: Transitions to Greater Sustainability. *Global Sustainability—A Nobel Cause*, 1-7.
- Gude, V. G. (2016). Desalination and Sustainability – An Appraisal and Current Perspective. *Water research*, 89, 87-106.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248.
- Herrero, R. (2015). Hacer un uso sostenible del agua ¿utopía o realidad? [mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/hacer-uso-sostenible-agua-utopia-o-realidad>
- Karagiannis, I. C. y Soldatos, P. G. (2008). Water Desalination Cost Literature: Review and Assessment. *Desalination*, 223(1-3), 448-456.
- Lavee, D. (2011). A Cost–Benefit Analysis of Alternative Wastewater Treatment Standards: A Case Study in Israel. *Water and Environment Journal*, 25(4), 504-512.
- Lior, N. (2017). Sustainability as the Quantitative Norm for Water Desalination Impacts. *Desalination*, 401, 99-111. doi: 10.1016/j.desal.2016.08.008.
- Ley de Energía para el Campo. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 30 de diciembre de 2002 (última reforma 28 de diciembre 2012). Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/246.pdf>
- Matson, P., Clark, W. C. y Andersson, K. (2016). *Pursuing Sustainability: A Guide to the Science and Practice*. Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Northrop, R. B. y Connor, A. N. (2013). Review of Complexity and Complex Systems. *Ecological Sustainability*, 17(56), 40.
- Ostrom, E. (2007). *Sustainable social-ecological systems: an impossibility?* Estados Unidos: Arizona State University. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.539.5428&rep=rep1&type=pdf>

- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Marco de Prioridades de País de la FAO en México 2014-2018*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-be794s.pdf>
- Pombo, O. A. (2007). Gli Impatti dello Sviluppo Turistico nei Centri Aridi del Messico. Alternative Tecnologiche per L'Approvvigionamento Idrico nella Regione di Los Cabos. *Archivio di Studi Urbani e Regionali*, 38(89), 181-191. ISSN: 0004-0177.
- Pombo, O. A. (2015). Adaptaciones tecnológicas en el manejo del agua y sus consecuencias en la población de la zona agrícola de San Quintín. En Riemann (Coord.), *El agua en la región agrícola Camalú-El Rosario, Baja California. Un recurso sobreexplotado con repercusiones sociales y ambientales* (pp. 81-94). Puebla: Red Nacional de Investigación Urbana.
- Pombo, O. A., Breceda, A. y Valdez, A. (2008). Desalination and Wastewater Reuse as Technological Alternatives in an Arid Tourism Booming Region of Mexico. *Frontera Norte*, 20(39), 191-216. ISSN: 0187-7372.
- Pombo, O. A. y Santes-Álvarez R.V. (2016). A Social and Institutional Framework Analysis of Desalination as a Technical Solution for Agriculture in the San Quintin Valley, Baja California, Mexico. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 02(04), 80-89. ISSN: 2149-9314.
- Pulver, S., Ulibarri, N., Sobocinski, K. L., Alexander, S. M., Johnson, M. L., McCord, P. F. y Dell'Angelo, J. (2018). Frontiers in Socio-Environmental Fesearch: Components, Connections, Scale, and Context. *Ecology and Society*, 23(3).
- Samit, R. (2001). The Future of Desalination in Israel. *Irrigation and Water Engineering*, 12(8), 45-49.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2017). *Atlas Agroalimentario*

El papel de la tecnología en el manejo del agua del sector agrícola de Baja California

2017. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/prensa/atlas-agroalimentario-2017>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tate, D. M. (2014). *Principios del uso eficiente del agua*. Recuperado de <http://www.desastres.hn/docum/Honduras/PRINCIPIOSDELUSOEFICIENTEDELAGUA.pdf>

Vínculo agua y energía

EL VÍNCULO AGUA-ENERGÍA-DESARROLLO URBANO EN CIUDADES DE LA FRONTERA NORTE

Gabriela Muñoz Meléndez

Introducción

La comprensión y caracterización de las vinculaciones entre agua y energía en las ciudades puede ayudar a explicar los procesos internos urbanos y, en consecuencia, encontrar soluciones simultáneas a problemas comunes al identificar causas que influyen en la producción, uso y consumo en ambos sistemas. Cuantificar dichas relaciones puede guiar la toma de decisiones al revelar implicaciones e impactos de las diferentes estrategias de planeación y gestión urbana.

El nexo entre el agua y la energía ha sido objeto de estudio en diversas dimensiones, escalas, ubicaciones y herramientas metodológicas; uno de los recuentos más completos es «The connection between water and energy in cities: a review» publicado por Kenway, Lant y Daniels (2011). Este trabajo identificó 29 estudios realizados en un período de 44 años (de 1965 a 2009) distribuidos en Europa, Asia, Australia y Estados Unidos (país donde fueron realizados la mayoría de los trabajos). Los objetivos de las investigaciones se centraron en tres grandes grupos en

orden descendente de número de estudios: 1) uso energético en plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales, 2) uso residencial del agua y su asociación con consumo energético, y 3) uso de agua en plantas generadoras de energía. Por otro lado, las dimensiones de los estudios fueron: la influencia de la tecnología y el impacto ambiental; así como los aspectos económicos, políticos y regulatorios; siendo la primera la que contó con más investigaciones. Por su parte, las escalas fueron de niveles micro (producto/accesorio) a macro (nación), aunque la mayoría de los estudios se centró a la escala de los sistemas de agua.

De todas las publicaciones incluidas en el recuento de Kenway *et al.* (2011), solo siete se identificaron en el ámbito urbano con cinco enfocados en el uso energético en plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales. Aunque se reportó que las investigaciones se hicieron como estudios de casos aislados y que había considerables vacíos tales como la falta sistemática y clasificada de los puntos de interconexión directos e indirectos dentro y fuera de las ciudades, la definición de los límites del sistema bajo estudio y sobretodo la ausencia de un marco metodológico comprensivo, sistemático y homogéneo.

Retamal, Abeyseuriya, Turner y White (2008) realizaron una investigación sobre el nexo agua-energía en ciudades de Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Los autores encontraron que la intensidad energética en sistemas hídricos urbanos se había estudiado satisfactoriamente, usando mayoritariamente la metodología de análisis de ciclo de vida (en adelante ACV). Los investigadores, sin embargo, señalaron que hace falta estudiar las implicaciones urbanas energéticas en sistemas hídricos distribuidos, in-situ, centralizados y sus combinaciones.

La cuantificación detallada del nexo agua-energía se ha hecho en ciudades desérticas estadounidenses del suroeste, en particular California (Ngo y Pataki, 2008) y Arizona (Ferrel, Spierre y Chester, 2012), donde se analizaron tendencias de consumo de agua y su inversión energética y viceversa. Se estimaron también los costos que conllevaría la implementación de estrategias de

reducción del uso de agua; utilizando las metodologías de metabolismo urbano y análisis del ciclo de vida. En el segundo caso también se estimó al agua *contenida* en la infraestructura y se hicieron comparaciones con otras metrópolis aledañas. Ambos estudios expresan la necesidad de considerar el nexo a fin de enfrentar escasez hídrica presente y futura.

En Latinoamérica la publicación reciente «El nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe. Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias» de Embid y Liber (2017) quizás sea el estudio del nexo más extenso en la región; si bien no se aboca exclusivamente a ciudades, sí las considera de manera tangencial. Los autores encontraron que los países de la región no han incorporado hasta el momento el enfoque del nexo agua-energía y sus vínculos en el diseño de sus políticas, ni en la planificación y tampoco en la regulación de servicios públicos ni gestión de los recursos naturales; perdiendo así la oportunidad de atender los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular ODS 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible; ODS 6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos; y ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.¹

Aunque Embid y Liber también apuntaron que ignorar al nexo repercutiría en mantener ineficiencias, pérdidas financieras e inseguridad hídrica, energética y alimentaria. Si bien se anotó que existen dificultades para poner en práctica el enfoque de

¹ De manera adicional se reconoció que de forma indirecta el nexo agua-energía también atendería el ODS 11 relativo a las ciudades y los asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; el ODS 12 referente a modalidades de consumo y producción sostenibles; el ODS 13 sobre las medidas para combatir el cambio climático y sus efectos; el ODS 15 que busca proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres; y el ODS 17 sobre los medios de implementación.

vínculo en la región, entre éstas se identificaron la falta de información clave, la mala planificación y la heterogeneidad regional.

En México el único trabajo de investigación sobre el nexo agua-energía urbano se realizó para la Zona Metropolitana del Valle de México (Delgado, 2014). En dicha investigación se hicieron estimaciones sobre el nexo y su contribución a la generación de gases de efecto invernadero; y el autor concluyó que existe una necesidad urgente de una planeación metabólica integral.

La revisión bibliográfica revela la falta de estudios en México y de manera preocupante en la región norte, zona reconocida por su escasez hídrica y sequías periódicas. En esta región se comparten de manera binacional sistemas energéticos y cuerpos de agua superficial y subterránea que albergan una economía en constante crecimiento y 14 de las 59 zonas metropolitanas del país. La población de esta zona ya enfrenta escasez hídrica, misma que podría verse agravada debido tanto al crecimiento poblacional y económico, como al cambio climático. Ante esta problemática cabe preguntarse ¿cuán importante es el nexo agua-energía en los estados de la zona norte? Y ¿cómo podría el conocimiento de esos vínculos conducir a una mejor planeación urbana que atienda no sólo el soporte actual de las ciudades sino que también busque su desarrollo sustentable?

El presente trabajo surge como respuesta a las dos preguntas anteriores, partiendo de la hipótesis que el conocimiento y caracterización del vínculo entre recursos hídricos y sistemas energéticos podría ayudar a presentar estrategias de optimización simultánea en ámbitos urbanos bajo estrés hídrico. Así, el objetivo general fue caracterizar el vínculo agua-energía en la zona norte de México y detallarlo en particular en la zona metropolitana de Tijuana. El escrito resultante se compone de cinco secciones, en la primera se presenta el marco teórico, conceptual y metodológico recurrentemente aplicado en la explicación y caracterización del vínculo entre agua y energía en ciudades. La segunda parte describe el crecimiento urbano en la frontera norte junto a sus demandas hídricas y energéticas. La tercera parte presenta

la caracterización detallada del vínculo agua-energía-desarrollo urbano para la ciudad de Tijuana, sus implicaciones y diferencias esperadas con otras zonas metropolitanas fronterizas. La cuarta parte presenta brevemente los escenarios futuros que la región norte podría enfrentar y que estresarían los sistemas de agua y energía por igual, los vacíos existentes para afrontarlos y las recomendaciones que ahora se vislumbran. Por último, la quinta parte ofrece comentarios finales.

Marco teórico conceptual y metodológico

El metabolismo urbano ha sido usado ampliamente como el marco conceptual necesario para definir a los sistemas urbanos (Decker, Elliott, Smith, Blake y Rowland, 2000). La acepción define a «la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos» (Kennedy, Cuddihy y Engel-Yan, 2007 citados en Díaz, 2014). En su forma más simple, el concepto considera los balances de todos los materiales, agua y energía en las urbes (Sahely, Dudding y Kennedy, 2003).

El concepto de metabolismo urbano se fundamenta en la teoría general y dinámica de sistemas (Díaz y Pulecio, 2016). La Teoría General de Sistemas (TGS) fue desarrollada por Von Bertalanffy en 1940, quien se interesaba particularmente por describir sistemas abiertos. En la TGS el enfoque se da en el estudio de las interacciones entre las partes, así como entre éstas y su entorno; y es idealmente aplicable a cualquier sistema real o imaginable con cualquier número de variables de carácter continuo o discreto (Von Bertalanffy, 1989). Hacia 1961, Forrester propone el uso de ecuaciones en diferencias finitas o ecuaciones diferenciales para entender el cambio en sistemas complejos sentando una ruptura en la forma de concebir la modelización de los sistemas, hasta entonces típicamente lineal.

Se ha apuntado a que el concepto de metabolismo urbano se deriva directamente de la aplicación de la ecología industrial

a los sistemas urbanos y que puede servir como marco dentro del cual se representan las interacciones entre humanos, sistemas urbanos y ambiente; y las reacciones de tales interacciones, recurriendo a la definición básica y tomado los balances de estadísticas de agua y energía en las urbes (Ferrão y Fernández, 2013).

Si bien es cierto que para la cuantificación de los nexos entre el agua y la energía, y sus vínculos con otros sistemas en las ciudades, se ha recurrido a la metodología ACV. También se han usado análisis deterministas, modelos mecanicistas y dinámicos, modelos de entrada-salida, análisis de optimización, monitoreo, modelo dinámico de sistemas, análisis de escenarios, análisis elásticos y análisis de gastos en hogares (Keyway *et al.*, 2011).

Finalmente, es importante mencionar que la definición y primera aplicación del concepto de metabolismo urbano la hace Wolman en 1965 al describir los flujos de agua, energía y contaminación atmosférica en una ciudad estadounidense hipotética de un millón de habitantes. En ese ejercicio se reveló que el agua constituyó más de 95 por ciento de los flujos materiales urbanos, seguidos por los combustibles y los alimentos.

Para esta investigación se adoptó el concepto de metabolismo urbano a fin de definir los puntos de interconexión entre los sistemas hídricos y energéticos y sus vínculos con otros sistemas dentro y fuera de la ciudad. Dada la falta de información clave y datos se optó por aplicar el método determinista sugerido por Wilkinson (2000), mediante el cual se caracterizó el consumo energético por segmentos del sistema hídrico urbano.

El crecimiento urbano en la frontera norte

La población en la frontera norte tiene una dinámica demográfica particular influenciada por la migración interna. Los mexicanos han emigrado a la región porque la perciben próspera o porque van rumbo a los Estados Unidos. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, la población era de 19 894 418 habitantes en los seis estados de la frontera norte, lo que represen-

taba 18 por ciento de la población total en México. En comparación con las cuentas nacionales del 2005 cuando la población era 7 089 185; es decir siete por ciento de la poblacional nacional total (González, 2009). El crecimiento acelerado de la población ha causados que los centros de población y su conjunto integrado de elementos de índole físico natural, socioeconómico y cultural cambien de forma rápida y drástica (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Características demográficas básicas de los estados de la frontera norte

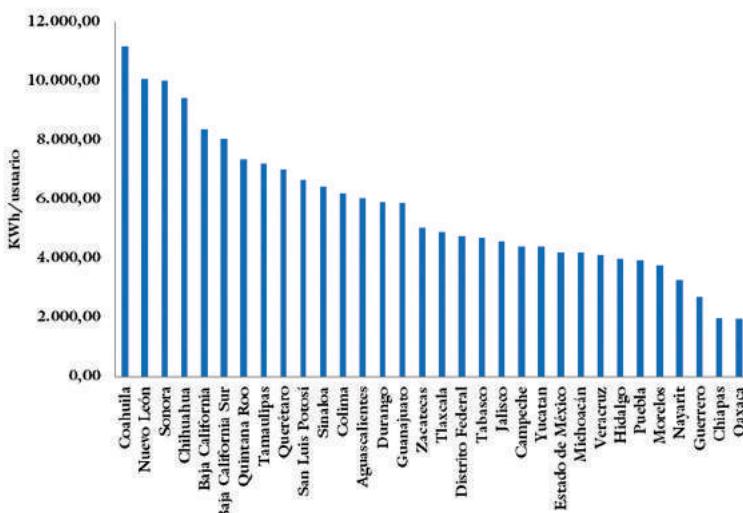
	<i>Baja California</i>	<i>Sonora</i>	<i>Chi-huahua</i>	<i>Coahuila</i>	<i>Nuevo León</i>	<i>Tamaulipas</i>
Población 2010, número de personas.	3 155 070	2 662 480	3 406 465	2 748 391	4 653 458	3 268 554
Tasa de crecimiento, %.	2.3	1.8	1.1	1.8	1.9	1.7
Población 2030, número de personas.	4 169 239	3 476 929	4 177 815	3 427 879	6 097 769	1 992 224
Superficie de áreas urbanas (kilómetros cuadrados), 2010.	678.77	730	1 078.82	854.81	1 007.64	858.5
Densidad de población (habitantes por kilómetro cuadrado), 2010.	44.16	14.84	13.77	18.13	72.53	40.73
PIB, 2012.	2.82	2.93	2.75	3.39	7.16	2.98
Municipios	5	72	67	38	51	43

Fuente: Inegi (2015).

Demanda de energía eléctrica

El acelerado crecimiento poblacional ha sido acompañado por rezagos en el suministro de viviendas, infraestructura y servicios básicos, así como por el aumento en la degradación ambiental. A fin de visualizar la dimensión de dicho crecimiento, más adelante podremos ver que en la gráfica 1 se muestran las ventas de energía eléctrica por usuario y entidad federativa en 2014. Como puede observarse, los seis estados de la frontera norte se encuentran entre las diez entidades federativas con mayores ventas de energía eléctrica por usuarios atendidos por el servicio público. En 2014 las ventas nacionales fueron 5412.3 kWh/usuario, el consumo eléctrico por habitante en todos los estados de la frontera norte fue mayor, con usuarios en Coahuila consumiendo hasta dos veces más que el valor promedio nacional.

Gráfica 1. Ventas de energía eléctrica por usuario y entidad federativa, 2014



Fuente: Sener (2015).

La demanda de electricidad en la región, sin embargo, no es reciente. Los estados de la frontera norte han mostrado un consumo histórico creciente de energía. En el cuadro 2 se muestran las ventas de energía eléctrica del servicio público en los seis estados de la frontera norte durante el período 2004-2014. Sonora y Baja California tienen un alto consumo de energía eléctrica que está asociado al uso de sistemas de aire acondicionado, ventiladores o sistemas de refrigeración usados por condiciones geográficas y climáticas. Por su parte, el consumo de energía eléctrica en los estados de Nuevo León, Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas se ha relacionado al alto crecimiento económico; en particular el desarrollo industrial y manufacturero, donde las ramas siderúrgica, cementera, química, de vidrio, entre otras, emplean intensamente la energía eléctrica, en particular en el estado de Nuevo León (Sener, 2015).

El consumo de energía eléctrica en los estados de la frontera norte ha sido creciente para el período 2004-2014, y se proyecta que siga creciendo para el período 2015-2029. Se espera que Baja California registre el mayor crecimiento con 5.9 por ciento, seguido de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, con 4.3 por ciento.

Respecto a los usuarios de electricidad en los estados de la frontera norte; se espera que estos sigan el patrón nacional, en el cual para 2014 el sector industrial concentró 58.2 por ciento (121 129.6 GWh) de las ventas internas de energía eléctrica, debido al crecimiento de las grandes y medianas industrias a consecuencia de los impulsos económicos que se han presentado, siendo el sector manufacturero uno de los más favorecidos (ver gráfica 2).

Demanda de agua

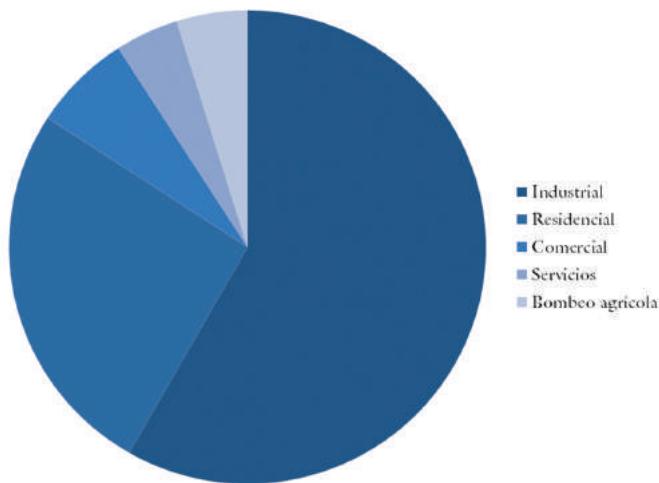
En relación con el consumo de agua, tres estados de la frontera norte –Sonora, Chihuahua y Tamaulipas– se encuentran entre las diez entidades federativas con las mayores demandas del recurso hídrico (ver la gráfica 3). Considerando a los seis estados norteños, se encuentra que juntos poseen 27 por ciento del volumen total concesionado a nivel nacional.

*Cuadro 2. Ventas de energía eléctrica del servicio público en los seis estados de la frontera norte,
2004-2014 (GWh)*

<i>Entidad federativa</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>TM-CA, %</i>
Baja California	8 390.58	8 496.39	9 105.29	9 223.10	9 408.90	9 090.30	8 948.90	9 316.90	9 681.50	9 426.20	9 815.60	1.60
Sonora	8 522.00	9 030.20	9 081.10	9 496.70	9 312.10	9 122.80	9 174.70	10 528.90	11 049.00	11 032.60	9 878.10	1.50
Chihuahua	8 134.30	8 773.90	9 122.80	9 332.30	9 190.70	9 097.20	9 623.90	10 515.70	10 744.00	10 836.10	11 283.60	3.3
Coahuila	8 228.40	8 372.50	8 552.30	8 690.00	8 928.50	9 006.90	9 244.80	10 242.20	10 190.00	10 455.70	10 551.60	2.5
Nuevo León	13 034.40	13 703.10	14 536.30	14 719.30	15 084.10	14 857.80	15 512.90	17 187.50	17 967.60	16 926.50	17 500.30	3
Tamaulipas	7 565.40	7 774.90	8 084.50	8 182.70	8 219.50	8 210.20	8 330.40	8 866.90	8 906.90	8 726.40	8 709.30	1.4

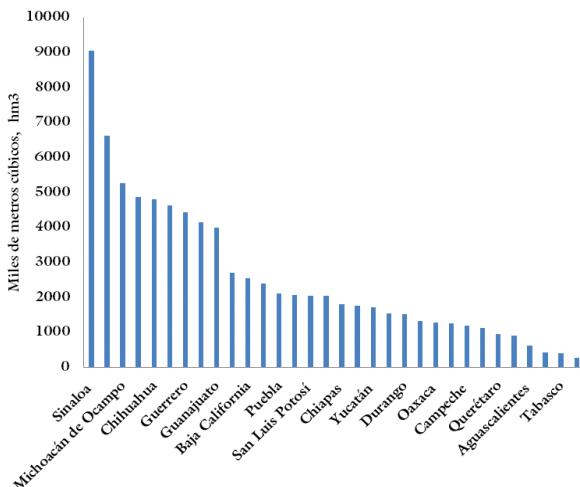
Fuente: Inegi (2015).

Gráfica 2. Ventas internas de energía eléctrica por sector, 2014



Fuente: Sener (2015).

Gráfica 3. Volumen concesionado de agua por entidad federativa, 2013



Fuente: Conagua (2014).

Si el volumen de agua concesionada a los estados de la frontera norte es dividido entre los usos consuntivos (véase cuadro 3), se puede apreciar que siguen el mismo patrón (de usuarios) que el nacional, con la agricultura como mayor consumidor con más de 70 por ciento de la concesión, seguido por el volumen destinado ($> 7\%$) al abastecimiento público, y por el agua destinada a la industria ($> 1\%$). Es de notarse, sin embargo, que el uso dedicado a la energía eléctrica es distintivo en cinco de los seis estados de la frontera norte, una cifra relevante si se considera que sólo 17 entidades tienen este tipo de concesión en todo el país.

Se estima que para el período 2013-2030 los estados de la frontera norte, debido al mayor crecimiento poblacional, incrementarán su demanda de agua. Esto pone a la región en una situación vulnerable dado que en la actualidad ya existe un grado mayor que el nacional de alta presión sobre el recurso hídrico.

Cuadro 3. Usos consuntivos del agua en los estados de la frontera norte, 2013 (las unidades están dadas en millones de metros cúbicos, hm³)

Entidad federativa	Volumen concesionado	Agrícola	Abastecimiento público	Industria autoabastecida	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	Tamaulipas
Coahuila de Zaragoza	2033.0	1642.8	240.1	75.2	74.9	3 268 554
Nuevo León	2067.3	1472.1	511.9	83.3	0.0	1.7
Baja California	2541.1	2079.6	184.4	81.9	195.3	1 992 224
Tamaulipas	4131.4	3642.8	319.0	115.5	54.0	858.5
Chihuahua	4792.1	4220.9	489.7	53.9	27.5	40.73
Sonora	6612.0	5137.4	764.3	119.6	590.6	43

Fuente: Conagua (2014).

Desarrollo urbano y el vínculo agua-energía

De acuerdo con Alegría (2010) la urbanización de la frontera norte de México ha tenido tres características particulares: 1) un elevado crecimiento urbano particularmente durante el siglo XX, 2) concentración de la población urbana en pocas ciudades, y 3) características geográficas y económicas particulares tales como clima árido, baja actividad agropecuaria y carácter binacional.

Debido al crecimiento poblacional y económico, algunas de esas pocas ciudades norteñas han rebasado sus límites municipales originales y se han transformado en Zonas Metropolitanas (ZM);² de hecho 14 de las 59 ZM existentes a nivel nacional se encuentran en los estados de la frontera norte (véase cuadro 4).

Se han hecho esfuerzos por entender el fenómeno de expansión urbana en la frontera norte a fin de identificar elementos que confirmen una planificación eficaz de los recursos naturales que contribuyen a un desarrollo sostenible en la ciudad (Herrera y Olivares, 1976, pp. 83-120; Schmidt y Castro, 1995; García, 2007; Mendoza y Sánchez, 2009; por nombrar algunos). Sin embargo, las interrelaciones entre el agua y la energía no han sido consideradas como elementos relevantes en la planificación urbana.

² Los dos principales criterios para delimitar una ZM son:

¹⁾ La zona metropolitana se define, como «el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 000 o más habitantes, cuyas funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos predominantes urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica» (Inegi, 2014).

²⁾ Adicionalmente, se definen como zonas metropolitanas todos aquellos municipios que concentran a un millón de habitantes o más, así como aquellos con 250 000 o más habitantes que comparten procesos de conurbación con ciudades de Estados Unidos.

Cuadro 4. Zonas metropolitanas por municipio de los estados de la frontera norte de México, 2010

Zona metropolitana	Entidad(es) federativa(s)	Población, número de habitantes	Tasa de crecimiento medio anual (%) 2000-2010	Superficie (km ²)	DMU1 (bab/ba)
ZM de Monterrey	Nuevo León	4 106 054	1.9	6794.0	109.1
ZM de Tijuana	Baja California	1 751 430	2.5	4422.7	85.0
ZM de Juárez	Chihuahua	1 332 131	0.9	3547.5	67.9
ZM de La Laguna	Coahuila de Zaragoza-Durango	1 215 817	1.8	5078.9	77.1
ZM de Mexicali	Baja California	936 826	2.0	15654.1	59.3
ZM de Tampico	Tamaulipas-Veracruz de Ignacio de la Llave	859 419	1.4	5281.7	80.5
ZM de Chihuahua	Chihuahua	852 533	2.0	18093.7	65.9
ZM de Saltillo	Coahuila de Zaragoza	823 128	2.5	14009.3	81.3
ZM de Reynosa-rio Bravo	Tamaulipas	727 150	3.2	4730.6	70.6
ZM de Matamoros	Tamaulipas	489 193	1.5	4633.3	69.9
ZM de Nuevo Laredo	Tamaulipas	384 033	2.1	1224.0	70.9
ZM de Monclova-Frontera	Coahuila de Zaragoza	317 313	1.1	5052.0	53.7
ZM de Guaymas	Sonora	203 430	1.2	8543.9	52.3
ZM de Piedras Negras	Coahuila de Zaragoza	180 734	1.7	1382.4	56.2

Fuente: Inegi (2010).

Energía demandada por los sistemas hídricos

A fin de demostrar la importancia de la relación entre los recursos hídricos y los sistemas energéticos en el crecimiento poblacional, se estimó el consumo de energía eléctrica para abastecer, potabilizar y tratar agua en la zona metropolitana de Tijuana durante 2015. Los resultados se muestra en el cuadro 5.

Como se ve a continuación en el cuadro 5, el nexo energía-agua existe y no es menor. La cantidad de energía consumida para hacer funcionar los sistemas hídricos en la ZM de Tijuana representó 5.9 por ciento del total de ventas de electricidad en todo el estado en 2014 (ver cuadro 2) o lo equivalente a 10 por ciento del consumo eléctrico por habitante en Baja California. Por otro lado, y en términos financieros, es importante considerar que el monto de 510 millones de pesos es cubierto enteramente por los organismos municipales operadores mediante la recaudación de fondos por un sistema de tarifas diferenciadas, la prestación del servicio de alcantarillado sanitario, tratamiento y disposición final tanto para usuarios domésticos como para aquellos no domésticos.

Cuadro 5. Energía eléctrica demandada por los sistemas hídricos en la Zona Metropolitana de Tijuana

Sistema	Volumen de agua transportada o tratada, m^3	Consumo eléctrico, KWh^4	Costo, $\5
Abastecimiento público mediante el Acueducto río Colorado-Tijuana. ¹	137 850 798	523 833 032	350 968 132
Potabilización. ²	129 671 976	30 835 996	56 707 396
Tratamiento de agua residual. ³	91 467 014	31 097 467	57 188 241
Alcantarillado.	90 296 143	21 472 423	39 487 786
Bombeo de aguas subterráneas para abastecimiento público.	14 644 788	3 482 530	6 404 373
Total.	463 930 719	579 885 452	510 755 928

Notas: 1) Existen otros siete acueductos en la zona metropolitana, aunque de menor capacidad. 2) Volumen generado por siete plantas potabilizadoras municipales con características tomadas de Conagua, 2011. 3) Volumen tratado por 20 plantas con características tomadas de Conagua, 2011. 4) Datos tomados de la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC), 2016 o estimado usando Electric Power Research Institute (EPRI), 2002. 5) Datos tomados de la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC), 2016 o estimados considerando la tarifa de CFE para diciembre 2015.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC) y Conagua (2014).

De manera adicional habría que mencionar que en la ZM de Tijuana la provisión de agua potable se encuentra arriba de 90 por ciento; la cobertura del alcantarillado sanitario, por su parte, varía de 65, 82 y 91 por ciento para Rosarito, Tecate y Tijuana; respectivamente. En tanto que el volumen de recolección para saneamiento varió 73.7, 84.8 y 100 por ciento para Tecate, Tijuana y Rosarito; respectivamente. En contraste, el porcentaje de uso de agua tratada fue de alrededor de 6.8 por ciento para Rosarito y Tijuana, y de 28.7 por ciento en Tecate. Finalmente, hay que señalar que el organismo también reporta pérdidas totales del sistema hídrico de 17.4 por ciento.

Es de notar que la única fuente de abasto confiable de agua para la ZM en general y en especial para Tijuana, es el acueducto procedente del río Colorado, Tijuana siendo la ciudad más poblada del Estado, depende en 87.3 por ciento de esa fuente y en 12.7 por ciento de acuíferos locales.

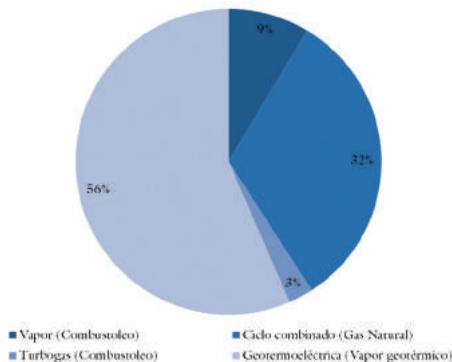
Agua demandada por los sistemas eléctricos

La energía consumida por los sistemas hídricos mostrada en el cuadro 5 fue generada en plantas de electricidad que usan turbinas movidas por vapor, éstas usan grandes cantidades de agua de enfriamiento particularmente durante los procesos de condensación. El agua de enfriamiento saliente del proceso se descarga a un cuerpo de agua cercano o bien es enfriada en una torre o laguna de enfriamiento para ser reusada (EPRI, 2002). En cualquier caso, una fracción de agua de enfriamiento se pierde por evaporación.

A fin de estimar el volumen de agua de enfriamiento usado por una planta de electricidad es necesario conocer su tecnología de generación, tipo de combustible y sistema de enfriamiento. Es relevante anotar que las plantas generadoras de electricidad tienen unidades con edades mayores a la década y con eficiencias de generación entre 28 y 40 por ciento.

La gráfica 4 muestra la participación de tecnología y el tipo de combustible que se usó para generar la electricidad consumida en la ZM de Tijuana durante 2013. Considerando dicha tecnología se asumió que el sistema de enfriamiento fue un circuito abierto.

Gráfica 4. Porcentaje de participación de tecnologías en la generación de electricidad durante 2013 (GWh)



Fuente: Elaboración propia con base en Sener (2015).

Considerando esta información, el cuadro 6 muestra el volumen de agua usada en los sistemas de enfriamiento de las plantas generadoras de la electricidad consumida para abastecer o tratar agua en la ZM de Tijuana.

Del cuadro 6 se observa que el nexo agua-energía vuelve a ser relevante, solo por el uso de agua en los sistemas de enfriamiento se destina 20 por ciento del total de agua asignada para generar energía eléctrica en el estado (ver cuadro 3).

Implicaciones del vínculo entre el agua y la energía

Si bien los cálculos realizados en los cuadros 5 y 6 develan la magnitud de la relación directa entre el agua y la energía, no se puede soslayar que el nexo tiene otras implicaciones directas importantes. Ejemplo de eso son las emisiones de contaminantes atmosféricos (Kumar y Saroj, 2014), gases de efecto invernadero (GEI), la generación de desechos líquidos y sólidos asociados a

la producción de energía eléctrica; así como la vulnerabilidad hídrica de las plantas generadoras de electricidad.

Cuadro 6. Volumen de agua usada en los sistemas de enfriamiento de las plantas generadoras de energía eléctrica consumida en la Zona Metropolitana de Tijuana

<i>Sistema</i>	<i>Consumo eléctrico, MWh</i>	<i>Agua de enfriamiento, hm³</i>
Abastecimiento público mediante el Acueducto río Colorado-Tijuana. ¹	523 833	27
Potabilización+Tratamiento+Alcantarillado+Bombeo. ²	86 888	12
Total.	610 721	39

Notas: 1) Se asumió que la energía eléctrica fue generada por una planta de ciclo combinado de gas natural y un sistema de enfriamiento abierto con un requerimiento promedio de agua 52 MWh/m³. 2) Se supuso que la electricidad fue generada por una planta termoeléctrica convencional de combustible fósil y un sistema enfriamiento abierto con un requerimiento promedio de agua 132 MWh/m³.

Fuente: Elaboración propia usando factores del Electric Power Research Institute (EPRI) (2002).

A manera de dimensionar algunas de estas relaciones se tomaron las unidades de electricidad considerando el combustible usado para la generación y se procedió a estimar emisiones atmosféricas y GEI; los resultados se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Emisiones atmosféricas y gases de efecto invernadero generadas por el consumo de electricidad en sistemas hídricos de la Zona Metropolitana de Tijuana

	<i>Toneladas</i>				
<i>Consumo eléctrico, MWh</i>	<i>SO²</i>	<i>NO^x</i>	<i>CO²</i>	<i>CO</i>	<i>PM¹⁰</i>
610 721.	409	339	68 045	220	90

Fuente: Elaboración propia con base en factores de emisión de Miller, Van Atten y Bradley (2004); Nieblas y Quintero (2006).

Si bien el cuadro 7 ejemplifica un impacto directo del nexo agua-energía; esta relación tiene implicaciones indirectas en su forma virtual para el abastecimiento de alimentos, construcción y transporte.

Especificidades del vínculo agua-energía

En los tres apartados anteriores de esta sección se caracterizó el vínculo entre la energía y el agua para sostener el crecimiento de la Zona Metropolitana de Tijuana. Es de esperarse que la magnitud, más que la relación, varíe en función de las especificidades para cada zona metropolitana y sus actividades económicas. Por ejemplo, las emisiones atmosféricas serán mayores para electricidad generada por carboeléctricas o serán menores en ciudades que transporten menos agua.

Sin embargo, en general puede observarse que el vínculo agua-energía es crucial no sólo para que una ZM crezca, sino que se sostenga. Además, dado el clima semi-árido de los estados del norte y la frecuente presencia de sequías en la región, es de esperarse que el traslape entre el agua y la energía se vuelva crucial dada la limitada disponibilidad de agua para operar los sistemas de enfriamiento de plantas eléctricas y otras actividades relacionadas con la energía. Es importante anotar que la alteración de patrones del clima introduce un elemento adicional de alta incertidumbre al desempeño de actividades económicas dependientes de agua y energía. Por último, las tendencias de crecimiento poblacional en la región indican que las zonas metropolitanas seguirán creciendo y con ello también lo hará la demanda de agua y energía.

Potenciales escenarios, vacíos y recomendaciones

Ante el actual escenario es conveniente identificar que la tendencia creciente a un mayor consumo de energía eléctrica y agua, y sus traslapes, conducirá al crecimiento de infraestructura energética en las zonas metropolitanas de los estados fronterizos. Es posible que la generación de energía eléctrica continúe su crecimiento usando gas natural y parcialmente

usando fuentes de energía renovable –posiblemente solar– como resultado de subastas eléctricas iniciadas por la reforma energética, sobretodo en el noroeste.

Un factor adicional de presión sobre el vínculo agua-energía es el eventual establecimiento de plantas desaladoras para abastecimiento agrícola y público de agua particularmente en la zona noroeste (CEABC, 2016), o la fracturación hidráulica y perforación de pozos para la producción de gas de lutitas en especial en el noreste. Ambas actividades adicionan complejidad a la relación no estudiada del vínculo entre recursos energéticos y de agua. Otro factor que puede impactar el traslape de la relación entre el agua y la energía es la potencial conexión a la Red Eléctrica Nacional del Sistema eléctrico –hasta ahora aislado– de Baja California.

Ante este intrincado escenario, actual y futuro, la eficiencia se presenta como la respuesta inmediata y básica para preparar a la región ante el enfrentamiento de los traslapes entre los sistemas hídricos y energéticos. Aunque de manera adicional también se identifica que la conservación del recurso hídrico, la administración de la demanda de agua y electricidad, la producción sustentable de energía renovable, la diversificación de las fuentes de agua y el reuso de agua tratada podrían ser soluciones efectivas al reto de reducir la magnitud del impacto producido por los traslapes de los sistemas hídricos y energéticos en la región.

Es importante agregar que ver a un par de sistemas de manera conjunta y no por separado ha revelado impactos de magnitud considerable. Por lo mismo, cada una de las opciones que se implemente para sostener el crecimiento de las ciudades debe incluir un análisis concienzudo e integral, incluyendo impactos socioambientales y de discordancias territoriales e institucionales.

Comentarios finales

Este documento inició con un par de preguntas acerca de la relevancia del nexo entre agua y energía en los estados de la frontera

norte de México, y si el conocimiento de éste y sus vínculos podría ser útil para apoyar el sostenimiento de las ciudades fronterizas. La caracterización particular de vínculo en la Zona Metropolitana de Tijuana confirma la hipótesis de que en verdad el conocimiento y caracterización del nexo podría proveer información estratégica para sostener el crecimiento de la ciudades e incluso volver sustentable su desarrollo. Aún a pesar de que la caracterización aquí presentada fue más bien básica y no incluye importantes puntos de conexión directa entre la energía y el agua, por ejemplo los flujos de combustibles fósiles tales como gasolina y diésel en sectores residenciales, comerciales e industriales. Y las ligas indirectas del nexo, es decir con los alimentos y la infraestructura urbana.

Con todo, se comprobó que la relación entre el agua y la energía tiene impactos considerables en el sostenimiento de las ciudades, las condiciones de cambio climático posiblemente aumenten el estrés en ambos en modos que aún no comprendemos. Así, la integración del nexo agua-energía es un asunto urgente de incluir en los asuntos fronterizos, aún más si se considera que la escasez, variabilidad e incertidumbre se están convirtiendo en estados permanentes para los recursos hídricos en la región.

Adicionalmente, la relación entre el agua y la energía tiene importantes repercusiones en muchas otras áreas tales como producción de comida, emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo urbano, entre otras. El vínculo entre agua y energía fue caracterizado de manera detallada para la Zona Metropolitana de Tijuana como medidor del estado de la relación en las zonas metropolitanas de los estados del norte, aunque puede esperarse que la magnitud más que la relación misma variará en función de las especificidades para cada metrópolis y sus actividades económicas. Las estimaciones mostraron la urgente necesidad de mejorar la eficiencia en energía y agua; y cómo la relación puede ser usada en la planeación urbana a fin de volver sustentable el desarrollo de las urbes fronterizas.

Referencias

- Alegría, T. (2010). Estructura de las ciudades de la frontera norte. En G. Garza y M. Schteingart, *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional. T-II* (pp. 259-304). Ciudad de México: Colmex.
- Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC). (2016). *Informe mensual junio 2016. Indicadores de Gestión*. Mexicali: Gobierno del Estado de Baja California.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2011). *Inventario Nacional de plantas municipales y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2014). *Estadísticas del Agua en México*, edición 2014. Ciudad de México: Semarnat
- Decker, E. H., Elliott, S., Smith, F. A., Blake, D. R. y Rowland, F. S. (2000). Energy and Material Flow through the Urban Ecosystem. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 685-740.
- Delgado, G. C. (2014). Nexo agua-energía en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Impluvium*, 2, 6-15.
- Díaz, C. J. y Pulencio, C. (2016). Metabolismo y Entropía en las Ciudades: Análisis y Gestión para la Sustentabilidad. En L. Álvarez, G. C. Delgado y A. Leal (Coords.), *Los desafíos de la ciudad del siglo XXI* (1.^a ed.). Ciudad de México: UNAM.
- Díaz, C. J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2(2), 51-70.
- Electric Power Research Institute (EPRI) (2002). *Water and Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half-Century*. Palo Alto, California: Autor.
- Embíd, A. y Liber, M. (2017). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe. *Planificación*,

- marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias. Santiago de Chile: Cepal.
- Ferrão, P. y Fernández, J. E. (2013). *Sustainable Urban Metabolism*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Ferrel, J., Spierre, S. y Chester, M. (2012). *Urban Metabolism and the Energy-Water Nexus in Phoenix, Arizona*. Estados Unidos: Arizona State University.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- García, M. L. (2007). Ciudades fronterizas del norte de México. *Anales de Geografía*, 27(2), 41-57.
- González, R. S. (2009). Aspectos sociodemográficos de la Frontera Norte. En G. Rangel y M. Hernández (Coords.), *Condiciones de salud en la frontera norte de México* (pp. 17-38). Tijuana: Secretaría de Salud/Comisión de Salud Fronteriza México-Estados Unidos/INSP/El Colef.
- Herrera, P. W. y Olivares, F. (1976). *Crecimiento Urbano de América Latina. Santiago de Chile y San José*, Costa Rica: BID/Celade.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2010). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010. México. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2014). Minimonografía. Las zonas metropolitanas de México. Censos Económicos 2014. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2014/doc/minimonografias/m_zmm_ce2014.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2015). Encuesta Intercensal 2015, México. Recuperado de [219](http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/214/related_materials?idPro=Kenway, S., Lant, P. y Daniels, P. (2011). The Connection between Water and Energy in Cities: A Review. <i>Water Science & Technology</i>, 63(9), 1983-1990.</p></div><div data-bbox=)

- Kumar, P. y Saroj, D. P. (2014). Water–Energy–Pollution Nexus for Growing Cities. *Urban Climate*, 10(5), 846-853.
- Mendoza, C. y Sánchez, E. (2009). Crecimiento urbano disperso en la frontera norte de México. Organización espacial y eficiencia de los patrones de crecimiento urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua [presentación]. En *V Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. “Estrategias de transformación y gestión de la ciudad: perspectivas y nuevas tecnologías”*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11347/01_PROCEEDINGS_M1_08_0032.pdf
- Miller, P. J., Van Atten, Ch. y Bradley M. J. (2004). *Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas de América del Norte*. Montreal: Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.
- Ngo, N. S. y Pataki, D. E. (2008). The Energy and Mass Balance of Los Angeles County. *Urban ecosystems*, 11, 121-139.
- Nieblas, E. C. y Quintero, M. (2006). Planeación ambiental del sector eléctrico en el contexto fronterizo de California (EU) – Baja California (México). En M. Quintero Nuñez (Coord.), *Contaminación y Medio Ambiente*. Ciudad de México: UABC/Porrúa.
- Retamal, M., Abeysuriya, K., Turner, A. y White, S. (2008). Water Energy Nexus. Literature Review (prepared for CSIRO). Sydney: Institute for Sustainable Futures, University of Technology.
- Sahely, H. R., Dudding, S. y Kennedy, C. A. (2003). Estimating the Urban Metabolism of Canadian Cities: Greater Toronto Area Case Study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(2), 468–483.
- Schmidt, G. J. y Castro, J. (1995). El desarrollo urbano en la Frontera México-Estados Unidos. Estudio Delphi en ocho ciudades fronterizas. *Frontera Norte*, 7(13), 49-66.
- Secretaría de Energía (Sener). (2015). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*. México: Autor.

- Von Bertalanffy, L. (1989). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Ciudad de México: FCE.
- Wilkinson, R. C. (2000). Methodology for Analysis of the Energy Intensity of California's Water Systems, and an Assessment of Multiple Potential Benefits Through Integrated Water-Energy Efficiency Measures. Recuperado de <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/spearin1/docs/wilkinson.pdf>
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. *Scientific American*, 213, 179-190.

GAS DE LUTITAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO: EFECTOS AL MEDIO AMBIENTE Y CONFLICTO SOCIAL

Gustavo Córdova Bojórquez

Introducción

La Reforma Energética en México, puesta en operación formalmente con la Ley de Hidrocarburos de 2014 y la Ley de Transición Energética de 2015, trajo a la mesa de los debates nacionales el tema de la explotación del gas de lutitas (gas de esquisto o gas shale), un gas de tipo seco, no convencional, que no está asociado a yacimientos petroleros y que se extrae por medio de la técnica de fracturación hidráulica o *fracking*.

En las últimas dos décadas, la información y las expectativas de esta actividad extractiva por muchos actores sociales ha crecido, principalmente por lo que se está haciendo en Estados Unidos gracias a la documentación y publicitación de los beneficios económicos y sociales, pero en especial, por los impactos al medio ambiente. El fenómeno puede ser explicado por el paradigma del desarrollo sustentable.

El paradigma del desarrollo sustentable nace en la década de 1980 y se consolida como tal en la Cumbre de Río en 1992 organizada por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y

Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Del documento Nuestro Futuro Común, elaborado por Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega, se obtiene la siguiente definición: «la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» (ONU, 2016). Esto nos lleva necesariamente a una noción de prudencia y equilibrio. Se trata de apostar al crecimiento económico pero sin afectar a las comunidades ni al medio ambiente circundante y, al mismo tiempo, mantener el equilibrio entre la dimensión ambiental, la social y la económica.

Desde la dimensión medioambiental, se puede documentar que con la técnica de fracturación hidráulica, y el trabajo que se tiene que hacer para extraer este gas –como actividades de almacenamiento y transporte de gas y desechos–, se producen efectos en el aire, el suelo y el agua. En materia de aire, se ha comprobado la generación de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, metano y ozono, entre otros. En cuanto al suelo, hacemos alusión a la contaminación por residuos sólidos y líquidos, y la alteración de las capas inferiores con posibles movimientos telúricos. Con relación al agua, documentamos la contaminación pero nos detenemos en analizar la disponibilidad que existe para sostener una industria de este tipo en los estados en cuestión.

Desde la dimensión social y económica, tenemos como referencia algunos datos que evidencian lo dinámico de esta actividad y lo que puede implicar desarrollarla en el norte del país. Por ejemplo, en la cuenca de Eagle Ford en el estado de Texas, Estados Unidos, ha habido grandes beneficios para las comunidades locales. Para el año 2013 ya se habían otorgado cerca de 3 400 permisos de perforación en esta cuenca petrolera, y ya se tenía una producción de más de 2 686 millones de pies cúbicos (mmpc) de gas natural no asociado. Además, se habían generado cerca de 80 000 empleos directos con salarios por encima del promedio nacional. Por ejemplo, un técnico de campo podría ganar alrededor de 72 000 dólares por año y un geólogo hasta

161 000 dólares en un año. La derrama económica entre 2008 y 2013 fue de 60 000 millones de dólares y los 14 condados habrían recibido cerca de 1 000 millones de dólares en impuestos y otras contribuciones, así como más de 1 760 millones de dólares para las arcas estatales con en este lapso de tiempo (Calderón-Porter, 2013).

Tomando en consideración o no estas dimensiones, el Estado mexicano, está perfilado hacia el desarrollo de esta actividad lo antes posible por siete razones:

- 1) Contrarrestar la dependencia del gas natural que se importa de los Estados Unidos.
- 2) La demanda energética en México se incrementará sustancialmente y el gas natural se estará ofertando cada vez más a los hogares en grandes centros urbanos, industria en general y centrales eléctricas (Prosener, 2013).¹
- 3) El compromiso de México ante la comunidad internacional en razón del esfuerzo para combatir el cambio climático se ha plasmado en la Estrategia Nacional de Cambio Climático de 2013, al sostener la idea de que para 2050 el país reducirá los gases de efecto de invernadero (GEI) en un 50 por ciento en relación con la línea base del año 2000 (DOF, 2013). En este punto, el uso de gas natural es un elemento sustancial de esta estrategia.
- 4) Hay grandes reservas de gas de lutitas documentadas por las autoridades.
- 5) Las leyes derivadas de la Reforma Energética apuntan hacia una regulación de la explotación del gas de lutita.
- 6) En cuanto a los compromisos internacionales, la Ley de Transición Energética busca alinear a las dependencias, actores y sectores para favorecer la generación de electricidad con energía limpia y renovable. De tal suerte que se plantea que 35 por ciento de la electricidad del país provenga del uso de energía limpia (OECD-IEA, 2016).

¹ Entre el año 2000 y el 2013 el uso de gas natural para la generación de electricidad con base en la tecnología de turbo gas y de ciclo combinado, pasó de 12 a 50 % (Prosener, 2013).

En este contexto, se describe hasta donde es posible el fenómeno que se está gestando en México con base en las expectativas sobre los efectos al medio ambiente y el conflicto social con relación al incipiente movimiento social y el avance en materia legal e institucional. Las preguntas que acompañan este trabajo son: ¿hasta qué punto la actividad extractiva de gas de lutita en México puede ajustarse a los postulados del desarrollo sustentable? ¿Será posible manejar el conflicto social con el riesgo que representa usar el método de fracturación hidráulica con base en el avance que se tiene en materia legal e institucional en el país? Para tratar de contestar estas preguntas, se ha enfocado el estudio en aquellos territorios que podrían estar siendo explotados para extraer gas de lutita en los próximos años y en tres temas que se complementan para tratar de responder ampliamente estos cuestionamientos.

Sobre la delimitación territorial, hay evidencia de que este gas se encuentra en cinco estados: Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz y Chihuahua (mapa 1). En esta ocasión, se analizan los tres primeros por tres razones:

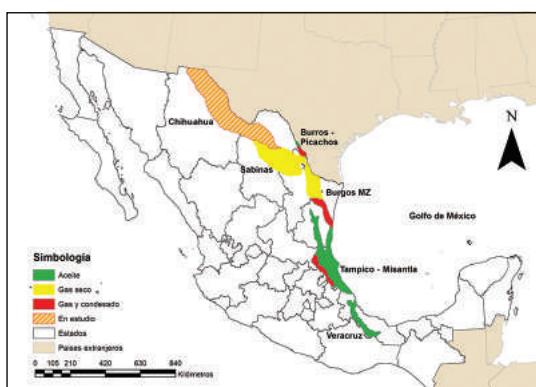
- 1) El avance en exploración por parte de la Secretaría de Energía (Sener) y de Petróleos Mexicanos (Pemex) en estas entidades federativas. De tal suerte que se tienen plenamente identificadas las formaciones geológicas esquistosas de Burros-Picacho en Coahuila y de la Cuenca de Burgos en Nuevo León y Tamaulipas.
- 2) La colindancia con la formación de Eagle Ford en Texas como referencia de una primera aproximación a este tema y futuras investigaciones.
- 3) Estos tres estados forman parte del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET) de la Cuenca de Burgos, decretado por autoridades mexicanas en 2012.

La Cuenca de Burgos es una formación geológica altamente productora de gas natural no asociado y se han producido más de ocho trillones de pies cúbicos (Tcf, por sus siglas en inglés) de gas en 60 años de explotación (Eguiluz de Antuñano, 2011). Se han

realizado licitaciones para la explotación de gas natural húmedo no asociado a yacimientos petroleros, lo que representa 31.4 por ciento de la producción bruta total de gas natural del país. Esto ha redundado en la generación de empleos bien remunerados y en la diversificación de la actividad económica en estos estados (Dávila, 2013). Debido al impacto en el territorio durante 2012, se decretó el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos con ratificación de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Semarnat, 2016).

Por otro lado, Estados Unidos mantiene una política de producción exportación agresiva en las zonas del Barnett e Eagle Ford (Texas), Woodford (Oklahoma), Haynesville (Texas-Luisiana) Utica-Marcellus (Nueva York, Pensilvania, Ohio) y Bakken (Montana y Dakota del Norte) (EIA, 2016), por lo que debemos elevar la producción de gas natural en el país para que la dependencia sea cada vez menor. En cuanto a la demanda energética, se calcula que para 2040, 25 por ciento de la oferta de gas natural provendrá del gas de lutitas producido de los yacimientos en las mencionadas zonas productoras de Estados Unidos (OECD-IEA, 2016).

Mapa 1. Provincias identificadas con potencial de generación de gas de lutita en México



Fuente: Elaboración propia con base en CNH (2015).

Sobre los tres temas a tratar. El primer tema llamado «La fracturación hidráulica», describe el proceso de explotación de gas de lutita con la técnica de fracturación hidráulica. El segundo ha sido titulado «Los efectos al medio ambiente», y expone las consecuencias producidas en el aire, suelo y agua. En el tercer tema, «El conflicto social», se expone de manera resumida el movimiento social creado y el marco legal e institucional. Al final, se hacen algunas consideraciones a manera de conclusión.

La fracturación hidráulica

La técnica de fracturación hidráulica para recuperar gas metano (CH_4) de rocas de lutitas o esquistosas, consiste en general, en la perforación de pozos profundos de más de 1 000 metros que en cierto momento, dependiendo del espesor de la capa de la roca de lutita, se dirige de forma horizontal por aproximadamente un kilómetro (Urresti y Marcellesi, 2012; EPA, 2016). Posteriormente se inyecta a gran presión una mezcla de agua, arena y aditivos químicos para provocar la liberación del gas que sale a la superficie por la misma tubería, para después ser almacenado y/o distribuido por medio del autotransporte o por la red de gasoductos (Swartz, 2011). La mayor parte de lo que se inyecta al pozo es agua, sólo 5 por ciento es aditivo y arena, pudiendo reciclar hasta 80 por ciento del agua usada. Paralelo a esto, en las cuencas de producción se instalan equipos, se trazan caminos, se expone a la población cercana a las obras de extracción a contaminación del agua, aire, ruido y vibraciones (Ziemkiewicz, Quaranta y McCawley, 2014).

Los aditivos que se inyectan constituyen una preocupación. Puede haber reacciones en el subsuelo al escaparse gas a un acuífero y/o por los fluidos lodosos de retorno que se van a la superficie y entran en contacto con el ecosistema circundante. El agua de retorno puede contener incluso radón (Ra 226 y Ra 228) y bario (Ba) en concentraciones que sobrepasan con mucho la norma para agua potable (Haluszczak, Rose y kump, 2013). Un

pozo con una perforación de 3 700 metros de profundidad puede generar hasta 500 toneladas de suelo y agua altamente contaminados en su vida útil por sustancias inorgánicas como cloro, sulfato (SO_4), fierro, sodio, aluminio, entre otras, y compuestos orgánicos como el m, p-Xileno, o-Tolueno, Etil-benceno, benceno, estireno (Ziemkiewicz *et al.*, 2014), 2-Metil-1-buteno, hexano, heptano, octano, entre otros (Maguire-Boyle y Barron, 2014).

El agua es clave en el proceso, junto con los aditivos y arena se inyecta a una presión de 16 000 litros por minuto. Desde el punto de vista de su uso, se pueden encontrar sustancias que sirven como: disolventes en grietas (ácido clorhídrico), agentes antibacterianos (glutaraldehído), dilatadores de descomposición del polímero (persulfato de amonio), inhibidores de corrosión (dimetil formamida), conservadores de la viscosidad del fluido (sales de borato), reductores de fricción (poliacrilamida), apoyos del puntal (hydroxyethyl celulosa), controladores del hierro (ácido cítrico), portadores de salmuera (cloruro de potasio), excavadores de oxígeno (sulfato de amonio), ajustadores de PH (carbonato de sodio), inhibidores de hidratos (etilenglicol) o agentes tensoactivos (isopropanol), entre otros (Estrada, 2013).

En muchos emplazamientos (*plays* o regiones productoras de gas de lutita) como el Barnett (Texas), Marcellus (Nueva York y Pensilvania) y Fayetteville (Arkansas), la fracturación hidráulica normalmente requiere de 8 000 a 80 000 m^3 de agua para un solo pozo, de este volumen, 25 por ciento se asocia típicamente con la perforación. El promedio de uso de agua en Estados Unidos es de 14 500 m^3 por pozo y la generación de agua residual es de 7 200 m^3 . Por ejemplo, en la Cuenca del Barnett, el uso de agua por pozo es de 10 600 m^3 con una generación de agua residual de 12 400 m^3 (Jackson *et al.*, 2014) (véase cuadro 1).

El uso del agua y su impacto en las regiones y los territorios es relativa, dependiendo de la disponibilidad de agua subterránea o superficial que exista, y que puede ser llevada a las obras de extracción. La extracción de gas de esquisto en las comunidades de Johnson, Parker y otros de la Cuenca del Barnett

consistió en el uso de entre 10 y 30 por ciento del uso total de agua superficial y subterránea respectivamente de esa región. En los condados de las cuencas de Haynesville, Eagle Ford y Barnett, la extracción del gas esquisto fue responsable de 11, 38 y 18 por ciento de la disponibilidad del agua subterránea, respectivamente. Sin embargo, es posible que en momentos de alta extracción se pueda demandar hasta 100 por ciento del agua de los acuíferos de una región (Jackson *et al.*, 2014).

*Cuadro 1. Uso de agua y generación de agua residual en fracturación para extracción de gas de lutitas en cuencas subterráneas (*plays*) en Estados Unidos*

<i>Emplazamiento (región productora)</i>	<i>Uso de agua en fracturación por pozo en m³</i>	<i>Generación de agua residual por pozo en m³</i>
Bakken	8 700	No disponible
Barnett	10 600	12 400
Denver	10 600	4 000
Fayetteville	19 700	No disponible
Haynesville	21 500	No disponible
Marcellus	14 800	5 200
Woodford	15 700	No disponible
Promedio	14 500	7 200

Fuente: Elaboración propia con base en Jackson *et al.* (2014).

Los efectos al medio ambiente

El desarrollo sustentable plantea la idea del progreso de manera amigable con el entorno y considera que lo bueno que tenemos ahora debe seguir perdurando para que otros, también disfruten de lo mismo y así al infinito. Desafortunadamente, la actividad de extracción del gas de lutita tiene efectos en el aire, el suelo y el agua.

En el aire, los efectos adversos se atan a escape o formación de varias sustancias químicas en el proceso de extracción del gas de esquisto. De esta manera destacan por su nivel de peligrosidad en

el ambiente y la salud humana, los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (VOC's), el metano (CH_4), el ozono (O_3)² (Weinhold, 2012a; Urresti y Marcellesi, 2012; McDermont, Kaktins y Sattler, 2013; Konschnik y Boling, 2014; García, 2015) y el benceno.³ Destaca, en particular, el O_3 por ser 33 veces más contaminante que el dióxido de carbono (CO_2) (Lave y Lutz, 2014).⁴

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) puso varias multas en 2012 por violar la norma de 75 ppb (partes por billón) de O_3 a establecimientos de Bakersfield, California; Jamestown, New York; varios condados alrededor de Denver, Dallas, Fort Worth, Pitsburg, Columbus, Cleveland y tres condados en el suroeste de Wyoming. En estos lugares hay operaciones de explotación de gas de lutita y se sospecha que esta actividad es la responsable de estas alteraciones a la atmósfera (Weinhold, 2012b). Si bien en México se ha avanzado en la regulación con una gestión de comando y control en materia de calidad del aire, habría que reforzar la normatividad siendo más específicos para el caso de la explotación de gas de lutita en términos de prevenir el escape de NO_x , VOC's y CH_4 . La EPA espera tener una mayor regulación de la explotación del gas natural con la entrada en vigor de una actualización a la *Clean Air Act* (Ley de Aire Limpio), la cual surtió efecto apenas el 1 de junio de 2015 para los nuevos establecimientos de pozos de gas natural, mismos que deberán tener mayor cuidado en el manejo de los compuestos orgánicos volátiles y el metano (Weinhold, 2012a).

² El ozono se genera a nivel de superficie cuando hay presencia de sustancias como los NO_x , CH_4 y VOC's en presencia de radiación solar (Tapia y Andrade, 2011).

³ Un estudio de la escuela de salud pública de Colorado, en el Condado de Colorado, advirtió de la presencia de benceno y xileno en muestras de calidad del aire. Estos compuestos son causantes de irritación en los ojos y dificultades para respirar (Beaver, 2014).

⁴ Varios estudios muestran una fuerte correlación entre la presencia del ozono superficial y la aparición de síntomas como cefaleas e irritación ocular, además del agravamiento de patologías referidas a las vías respiratorias, por ejemplo el asma y la bronquitis (Tapia y Andrade, 2011).

En suelo, la atención se centra en la contaminación y en los movimientos telúricos. La práctica habitual, es perforar varios pozos a pocos metros de distancia entre sí, para producir de manera simultánea y aprovechar de mejor manera la infraestructura construida. En este sentido, hay de 1.5 a 3.5 plataformas por km^2 , además, la ocupación de suelo de cada una de estas plataformas suele rondar las 2 hectáreas (Urresti y Marcellesi, 2012).

En México es posible instalar alrededor de 27 000 pozos para extracción de gas de lutitas (Vargas y Barrios, 2013) y con ello se afectarían de manera directa 54 000 hectáreas donde se almacenarían una serie de insumos como sustancias químicas que significan riesgo al estar en estos lugares o al ser transportadas por los caminos y las carreteras (Konschnik y Boling, 2014; Valdez, 2013).

Por el lado de los movimientos telúricos, se ha comprobado que el *fracking*, dependiendo de la geología local, puede desestabilizar las capas geológicas y manifestarse como pequeños temblores locales y regionales (Weinhold, 2012b). El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) no descarta la posibilidad de que haya una relación directa entre temblores y la explotación de gas de lutitas. Por ejemplo, esta agencia se pregunta ¿por qué hay más temblores desde 2001 en Oklahoma que en California, donde existe la falla de San Andrés? (USGS, 2016).

En el agua los efectos deben de verse en dos vertientes: la contaminación y la disponibilidad. En cuanto a la primera, el mayor temor es que se contaminen los mantos acuíferos que son fuente de agua potable de miles de centros urbanos y comunidades rurales (Konschnik y Boling, 2014).⁵ En el estado de Pennsylvania se han documentado varios casos de contaminación de agua potable por metano y el riesgo es latente (Beaver, 2014; Holzman, 2011;

⁵ Un modelo de estudio del riesgo identificó cinco vías de contaminación del agua: derrames de transporte, fugas de la carcasa del pozo, fugas a través de roca fracturada, descarga del sitio de perforación y disposición de aguas residuales (Rozell y Reaven, 2012).

Rozell y Reaven, 2012).⁶ No obstante, la EPA –organismo encargado de vigilar que no se contamine el agua potable– ha determinado, al menos para las principales regiones productores de gas de lutitas de Dakota, Texas, Pennsylvania y Colorado, que no hay violaciones a las normas establecidas sobre agua potable (EPA, 2012, 2016). Como podemos ver, el riesgo de contaminación de los acuíferos está presente por la gran cantidad de sustancias que se manejan, la inestabilidad inherente de las formaciones geológicas y por supuesto, el error humano.

Por el lado de la disponibilidad de agua, ésta se encuentra en peligro de agotar los mantos acuíferos dadas las altas cantidades de agua que se usan en cada pozo de extracción. Por ejemplo, la proyección de uso neto acumulado de agua para los próximos 50 años en todos los emplazamientos de Texas se estima en 4 350 hm³ (hectómetros o millones de metros cúbicos), con un máximo anual de 145 hm³ y un mínimo anual de 23 hm³ (Estrada, 2013).⁷ Barrueta (2019), sostiene que solo en la Cuenca de Burgos se podrían instalar 36 000 pozos en tres etapas para el proceso de extracción de gas de lutitas. Esto equivale a una demanda aproximada de 400 hm³ y una descarga de agua residual cercana a los 200 hm³. Aparentemente, esta cantidad de agua es baja, no obstante, a nivel cuenca o microcuenca, sí podría haber conflictos por este recurso. Veamos los casos de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.⁸

⁶ Myers (2012), demuestra para el caso de la formación geológica del Marcellus, que el *fracking* acelera los tiempos de traslados de contaminantes por la pizarra, lo que pone en riesgo los acuíferos.

⁷ Como referencia, la comisión de agua de Texas (TWC, por sus siglas en inglés) reportó en 2001 que el Bolsón del Hueco (región Juárez, Chihuahua y El Paso, Texas) podría contar con apenas 5 000 hm³ de agua subterránea para 2030 (Córdova, 2013). El desarrollo intenso de la explotación del gas de lutitas en esta región, extrayendo agua del Bolsón del Hueco, agotaría el agua en pocos años.

⁸ En el caso de Chihuahua es donde menos posibilidades habría de explotación en el corto y mediano plazo por su nula disponibilidad de agua; y en el caso de Veracruz, la disponibilidad no sería un problema

El estado de Coahuila de Zaragoza mantiene un déficit en aguas superficiales y subterráneas de $-58.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Gobierno del Estado de Coahuila, 2011). La disponibilidad de aguas subterráneas es de apenas $47.53 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea, 2015), la cual sería la única fuente de abastecimiento para la extracción de gas de lutitas con la técnica de fracturación hidráulica. En las zonas de Burros-Picacho y Burgos hay facilidad para extraer el gas de lutitas ya que se encuentra a menos de cinco kilómetros de profundidad. Con relación a esto, Pemex estima que en esta región se podrían instalar alrededor de 6 750 pozos para el año 2030; en este caso, la extracción de agua subterránea anual podría corresponder a más de 101.25 hm^3 (Manzanares, 2014).

Observando los 10 acuíferos más importantes del norte del estado, encontramos que la disponibilidad de agua subterránea es baja y mantiene una presión hídrica (PH) de 82.63 por ciento (cuadro 2). Se puede apreciar que los acuíferos la Región Carbonífera, Monclova, Allende Piedras y Cuatrociénegas-Ocampo, donde se desarrolla la mayor actividad económica y poblacional, son los que presentan altas demandas; por lo que la explotación de gas de lutitas se vería afectada como consecuencia de una serie de conflictos que se deberán dirimir con los diversos actores que interactúan en el territorio.

El estado de Nuevo León, por su parte, presenta un volumen de agua disponible muy bajo tanto superficial como subterráneo con apenas $125.75 \text{ hm}^3/\text{año}$ (IANL, 2011) y un déficit de $-175 \text{ hm}^3/\text{año}$ de aguas subterráneas (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea, 2015, 2015). El agua superficial se encuentra principalmente en la región hidrológica No. 24 llamada Río Bravo-Conchos, que se ubica en el la zona centro nororiente del estado y ocupa 64 por ciento de su superficie.

de disponibilidad, salvo algunos conflictos que se podrían suscitar entre particulares por las concesiones de agua.

Cuadro 2. Estado que guardan los acuíferos relacionados con yacimientos de gas esquisto en el estado de Coahuila de Zaragoza (cifras en hectómetros cúbicos por año)

No. Acuífero	Nombre del acuífero	Recarga total media anual (R)	Descarga natural compro- metida (DNCOM)	Volumen conce- sionado de agua subte- rránea (VCAS)	Disponi- bility media anual de agua subterrá- nea (DAS)	Déficit	Porcen- taje de presión hídrica (PH)*
0512	Región Carboní- fera	84.10	39.10	35.55	9.45	0	88.77
0507	Monclova	116.40	20.40	112.49	0	-16.49	114.17
0526	Serranía del Burro	11.90	0.30	0.71	10.89	0	8.51
0515	Santa Fe del Pino	19.50	1.00	0.16	18.34	0	5.94
0503	Cerro Colorado la Partida	6.50	0.00	0.63	5.87	0	9.67
0522	Presa la Amistad	22.60	10.80	1.46	10.34	0	54.25
0513	Palestina	10.30	0.00	2.10	8.20	0	20.43
0501	Allende P. Negras	496.60	274.40	148.47	73.73	0	85.15
0504	Cuatro- ciéngas- Ocampo	57.90	6.40	41.21	10.29	0	82.22
0517	Laguna del guaje	15.80	0.10	0.15	15.55	0	1.61
Total/ promedio		841.60	352.50	342.94	146.16	0	82.63

Fuente: Elaboración propia con datos del Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea (2015).

Los principales ríos de esta región son San Juan, Santa Catarina, Ramos, Pilón, Pesquería, Salinas, Sosa, Salado, Álamo y Candela. Si acaso, sólo el volumen de agua superficial de estos ríos podría usarse para la extracción del gas de lutita ya que el agua subterránea se encuentra comprometida para diversos usos, en especial para abastecimiento de centros urbanos.⁹

En efecto, el agua subterránea se encuentra precisamente en la porción del territorio estatal que corresponde a la Cuenca de Burgos, donde ya está instalado un complejo de extracción de gas natural húmedo a cargo de Pemex. En esta zona hay nueve acuíferos que pudieran estar relacionados con la extracción de gas de lutitas pero no hay disponibilidad ya que se mantiene un déficit de $-156.95 \text{ hm}^3/\text{año}$. En general, la PH en estos acuíferos es muy alta llegando alcanzar 127 por ciento. En acuíferos importantes, donde se presume abunda más gas de lutitas como el acuífero de Sabinas-Paras y Citrícola norte, la PH es de 164.02 y 162.28 por ciento respectivamente (cuadro 3).

En el estado de Tamaulipas la disponibilidad de agua es disinta, aquí hay una superávit de $8\ 852.86 \text{ hm}^3/\text{año}$ contando agua subterráneas y superficiales. En el norte del estado, del río San Fernando hasta el río Bravo hay un déficit de 583.9 hm^3 de agua superficial quedando disponibilidad de agua sólo en la cuenca del río Guayalejo-Tamesí al sur del estado (CEAT, 2015). En cuanto a agua subterránea, hay una cierta disponibilidad ya que se tienen en promedio $319.97 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea, 2015). En el análisis de los 14 acuíferos de la entidad se revela que la PH llega a 68.30 por ciento. Si lo vemos por regiones, hay diferencias importantes.

⁹ El acuífero del área metropolitana de Monterrey presenta un déficit de $-56.27 \text{ hm}^3/\text{año}$ y una PH que alcanza 182.51 % por lo que, derivado de esta necesidad imperiosa del líquido, es posible que se siga dependiendo de la disponibilidad del agua subterránea de los alrededores de esta gran urbe y del agua superficial de otras cuencas cercanas. De hecho, el Plan Monterrey VI contempla traer agua desde el río Pánuco afectando a los estados de Veracruz y San Luis Potosí.

Cuadro 3. Estado que guardan los acuíferos relacionados con yacimientos de gas esquisto en el estado de Nuevo León (cifras en hectómetros cúbicos por año)

No. Acuí- fero	Nombre del acuífero	Recarga total media anual (R)	Descarga natural compro- metida (DCOM)	Volumen conce- sionado de agua subte- rránea (VCAS)	Disponi- bility media anual de agua subterrá- nea (DAS)	Déficit	Porcen- taje de presión hídrica (PH)*
1901	Lampazos- Villaldama	20.50	8.00	10.61	1.89	0	90.78%
1902	Sabinas-Paras	46.00	17.67	57.78	0.00	-29.45	164.02%
1903	Lampazos- Anáhuac	66.60	18.00	3.36	45.24	0	32.08%
1905	Agualeguas- Ramones	35.30	0.00	12.24	23.06	0	34.67%
1906	Zona Metropolitana MTY	68.20	24.50	99.97	0	-56.27	182.51%
1913	China-General Bravo	23.90	0.00	8.22	15.68	0.00	34.38%
1912	Citrícola Norte	191.90	71.93	239.48	0.00	-119.51	162.28%
1924	El Carmen Salinas- Victoria	53.80	6.20	48.05	0	-0.45	100.84%
1914	Citrícola Sur	75.10	47.07	65.17	0	-37.13	149.44%
Total		581.30	193.37	544.88	0	-156.95	127.00%

Fuente: Elaboración propia con datos del Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea (2015).

La parte norte del estado es la que tiene la mayor disponibilidad de agua subterránea y es precisamente donde coincide con la formación de Eagle Ford. En efecto, los acuíferos río Bravo y Aldama-Soto la Marina presentan cerca de 60 por ciento de la disponibilidad de agua subterránea en el estado, en el resto de los acuíferos la disponibilidad es menor a los 40 hm³/año (cuadro 4).

Como se puede apreciar, los efectos al medio ambiente en estos tres estados pueden ser altos dadas las características de la técnica de fracturación hidráulica utilizada en Estados Unidos. Queda analizar el conflicto social en su vertiente de movimientos sociales, legales e institucionales.

El conflicto social

En términos del movimiento social, podemos tomar, en un primer momento, algunos resultados de investigaciones que se han hecho en Estados Unidos. Se ha documentado que a partir de 2010 se inició un proceso amplio de publicitación del *fracking*,¹⁰ creando corrientes de opinión divergentes: unos apoyan y otros se oponen a este tipo de actividad industrial.

Un estudio realizado en Colorado, dirigido a la percepción de la gente, revela que las personas que perciben más riesgos por esta actividad, incluso con una ideología conservadora, pueden estar dispuestas a escuchar sobre el asunto y tomar una decisión responsable al respecto (Heikkila y Weible, 2017). Otro estudio, ahora por la Universidad de Texas en este estado, determina que 45 por ciento de la población apoya el uso del *fracking* para producir gas, 40 por ciento se opone, 15 por ciento se encuentra indeciso y una gran mayoría opina que se debe tener una mayor regulación de las compañías por el uso de sustancias químicas (Davis y Fisk, 2015).

¹⁰ El documental *Gasland* por Josh Fox (2010) –ya traducido al español y expuesto en YouTube– es sin duda, alarmante y lleno de imprecisiones, pero también muy efectivo para despertar interés en la población mundial.

Cuadro 4. Estado que guardan los acuíferos relacionados con yacimientos de gas esquisto en el estado de Tamaulipas (cifras en hectómetros cúbicos por año)

No. Acuí- fero	Nombre del acuífero	Recarga total me- dia anual (R)	Descarga natural compro- metida (DNCOM)	Volumen concesio- nado de agua sub- terránea (VCAS)	Disponi- bility media anual de agua sub- terránea (DAS)	Déficit	Porcentaje de presión hidrica (PH)*
2801	Bajo Río Bravo	198.50	9.70	59.10	129.70	0	34.66%
2802	Méndez San Fernando	50.10	14.20	17.59	18.31	0	63.45%
2803	Hidalgo Villagrán	39.70	5.70	36.44	-2.44		106.14%
2804	San Carlos	22.70	5.10	3.08	14.52	0	36.05%
2805	Jiménez Abasolo	29.70	8.60	3.15	17.95	0	39.55%
2806	Márgenes del río Purificación	117.70	14.70	105.71	0	-2.71	102.30%
2807	Victoria Guemez	91.10	12.00	107.01	0	-27.91	130.64%
2808	Victoria Casas	31.30	2.50	28.39	0.41	0	98.68%
2809	Aldama Soto la Marina	209.40	112.70	5.45	91.25	0	56.42%
2810	Palmillas Jaumave	29.30	18.00	3.67	7.63	0	73.95%
2811	Llera Xicoténcatl	81.00	28.60	35.34	17.06	0	78.93%
2812	Ocampo Antiguo Morelos	40.00	8.90	16.96	14.14	0	64.65%
2813	Zona Sur	14.80	3.60	2.76	8.44	0	42.98%
2814	Tula Bustamante	54.00	0.00	20.40	33.60	0	37.77%
Total		1009.30	244.30	445.03	319.97	0	68.30%

Fuente: Elaboración propia con datos del Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea (2015).

Estudios en otras partes del mundo revelan la falta de entendimiento entre los diferentes actores. Se ha formado una serie de discursos ambiguos entre actores sociales por la falta de diálogo y deliberación pública sobre esta actividad, lo que conduce a una cierta ingobernabilidad sobre el asunto (Cotton, 2015; Swenney y Skinner, 2014), algo que puede ocurrir en México si no se atiende con absoluta transparencia una actividad que apenas empieza a conocerse.

Al momento, la información proveniente de Estados Unidos y de otras partes del mundo, gracias a los medios de comunicación, especialmente Internet y las redes sociales, ya ha creado una corriente de opinión negativa. En 2013 se crea la Alianza Mexicana Contra el Fracking (AMCF) que aglutina a 44 organizaciones civiles del país. Esta alianza plantea entre otras cosas, que:

el gas (de lutitas) se encuentra lejos de convertirse en una fuente alternativa de energía sostenible, económica, ambiental y socialmente viable. Por el contrario, se trata de una tecnología insegura sujeta a diversos obstáculos debido a los altos costos derivados de la complejidad técnica inherente a sus procesos de explotación, así como de los significativos impactos sociales y ambientales que genera (AMCF, 2018).¹¹

Por su parte, el gobierno federal por medio de la Secretaría de Energía, sigue avanzando en su propósito de desarrollar esta actividad teniendo un acercamiento con los diversos actores y sectores sociales. En enero de 2018 realizó el primer Foro

¹¹ Entre las organizaciones afiliadas a la Alianza Mexicana Contra el Fracking se encuentran: Amigos del Río San Rodrigo, Blue Planet Project, Centro de Derechos Humanos Miguel Agustín Pro Juárez, A.C., Chihuahua vs Fracking, Coalición de Organizaciones Mexicanas por el Derecho al Agua, Encuentro Ciudadano Lagunero, Green Peace México, Hijos de la Tierra, No al Fracking en Nuevo León, No Fracking Tamaulipas, Organización Mexicana para la Conservación del Medio Ambiente (AMCF, 2018). La alianza ha estado realizando una serie de eventos públicos tanto para oponerse a esta actividad como para reflexionar, ya sea en foros o seminarios sobre este tema.

Oportunidades y Desafíos en el Desarrollo de Petróleo y Gas de Yacimiento No Convencionales en Reynosa Tamaulipas, concluyendo, entre otras cosas, que los recursos prospectivos de lutitas con los que cuenta México representan una gran oportunidad para revertir la declinación y la importación de hidrocarburos, así como reinserir a nuestro país en el mapa mundial petrolero. Por ello, se ha instruido a la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), la Agencia de Seguridad Energía y Ambiente (ASEA) y a la Conagua, que sigan diseñando en conjunto las normas y los lineamientos para que se gestionen adecuadamente los riesgos inherentes al aprovechamiento de los yacimientos de lutitas (Sener, 2018).

El punto de partida para estas dependencias y las organizaciones no gubernamentales es el marco legal e institucional que se ha creado al respecto. Se cuenta con la Ley de Hidrocarburos, la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de Burgos y la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

La Ley de Hidrocarburos de 2014 es parte del paquete de reformas estructurales aprobadas en el país, misma que valora el impacto social y ambiental. En lo social, lo más relevante es que se contempla la posibilidad de que el área contractual otorgada a un particular para la explotación de hidrocarburos abarque terrenos en poder de un propietario. En ese caso, para poder iniciar sus actividades, el contratista tendrá que llegar a un acuerdo con el dueño de la tierra, ya sea de compraventa o para permitir el uso por medio de las figuras de servidumbre legal, ocupación temporal o afectación superficial. Dentro del acuerdo, el particular deberá fijar qué porcentaje de sus ganancias pagará al propietario por utilizar sus terrenos, de 0.5 a 2 por ciento si explota petróleo o gas natural, y de 0.5 a 3 por ciento si explota solo gas de lutita o esquisto (Título Cuarto, Capítulo 4). Se suma a esto el Artículo 118, que expone que los proyectos de infraestructura de los sectores público y privado en la industria de hidrocarburos atenderán los principios de

sostenibilidad y respeto de los derechos humanos de las comunidades y pueblos de las regiones en los que se pretendan desarrollar. Es relevante también el Artículo 119, el cual expone que debe haber un estudio de *impacto social* respecto al área objeto de la asignación o el contrato.¹²

En lo ambiental, el Artículo 130 de esta Ley prevé que los asignatarios, contratistas, autorizados y permisionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente o al equilibrio ecológico que ocasionen con sus actividades y estarán obligados a sufragar los costos inherentes a dicha reparación, cuando sean declarados responsables por resolución de la autoridad competente, en términos de las disposiciones aplicables.

Por su parte, la LGCC publicada en 2013, en su Título Cuarto relativo a la política nacional, en su Artículo 26 establece que: «quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente, estará obligado a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los daños que cause». La LGEEPA de 1988, contiene las bases de toda la política ambiental del país con sus respectivas concurrencias entre federación, estado y municipio, para abordar temas complejos como la explotación del gas de lutitas. Los instrumentos de política ambiental como el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (Artículo 19) y la Evaluación de Impacto Ambiental (Artículo 28), permiten contar con información del territorio, las vocaciones y los conflictos para una gestión que lleve a decidir la pertinencia de una obra u actividad.

El Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de Burgos (POET), establece que de los 652 pozos para extraer gas natural húmedo que hay en el país, 402 se localizan en esta cuenca y se concentran principalmente en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Acuerdo por el que se da a conocer

¹² Hasta la fecha no existe un proceso regulado para llevar a cabo los estudios de Impacto Social (Martínez, 2016).

el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos, 2012), por lo que no sería descabellado pensar que la explotación de gas de lutitas (gas seco) también se concentre en esta zona. Algunos elementos de peso que confirman esta tenencia, son entre otros, el hecho de colindar con la gran reserva de gas de lutitas de Eagle Ford, el avance en la explotación por parte de Pemex¹³ y la inversión en infraestructura productiva para el sector petrolero en la región, como la red de gasoductos que conectan tanto a Texas como hacia el resto del país (Sener, 2016).

El POET es ratificado por los gobiernos de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas y fue publicado el 21 de febrero 2012 (Semarnat, 2016 y Acuerdo por el que se da a conocer el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos, 2012). Este instrumento de política ambiental permite llegar a conocer las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) que definen específicamente las riquezas naturales, la vocación del suelo y las actividades humanas que se deben llevar a cabo en cada una de estas UGA. En dicho ordenamiento, se identifica plenamente una serie de áreas y regiones críticas ambientales; 15 regiones fisiográficas, 31 regiones prioritarias de conservación, cinco provincias biogeográficas y cinco áreas naturales protegidas, y la determinación de la escasez de agua para los tres estados (Casas, Lozano, Cantú, Rodríguez y Rovalo, 2010; Acuerdo por el que se da a conocer el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos, 2012). Esto indica que la región de Burgos es una zona frágil en términos de recursos bióticos y

¹³ Desde 2010, Pemex Exploración ha perforado 17 pozos en los estados de Coahuila y Tamaulipas y en cuatro ha tenido resultados. En el pozo Emergente 1, a la fecha, tiene un promedio diario de 0.66 millones de pies cúbicos de gas seco por día; Percutor 1 tiene un promedio diario de 1.2 millones de pies cúbicos de gas seco en 29 meses de producción; Habano 1 ha producido un promedio de 3.5 millones de pies cúbicos diarios en 16 meses y Anhélido, localizado en Tamaulipas, ha producido 0.89 millones de pies cúbicos diarios de gas en 13 meses reportados, para aportar 333 millones en 13 meses (Oil & Gas Magazine, 2015).

abióticos, por lo que se deberá tener cuidado al tratar de implementar cualquier actividad extractiva en términos de prevención y control de la contaminación, así como de la restauración, en caso de verse afectado algún ecosistema.

Por último, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992, es fundamental en el proceso de gestión de la explotación del gas de lutita, entre otras cosas, por establecer el concepto de manejo integrado por cuenca hidrológica y la existencia de Consejos de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (Artículo 13 y 13Bis) que se forman con la participación de los diferentes actores y sectores de una cuenca o acuífero y que pueden definir las políticas públicas que convengan por consenso en una especie de ejercicio deliberativo. En esta ley queda clara que el Estado expide los decretos para el establecimiento, modificación o supresión de zonas reglamentadas que requieren un manejo específico para garantizar la sustentabilidad hidrológica, o cuando se comprometa la sustentabilidad de los ecosistemas vitales en áreas determinadas en acuíferos, cuencas o regiones hidrológicas (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

La importancia de las zonas reglamentadas, de veda y de reserva, se refleja en que la autoridad puede manejar situaciones como la que plantea la explotación del gas de lutitas. Habrá lugares con alto potencial de gas pero no cuentan con la suficiente agua para las operaciones de extracción. Otros lugares con determinada cantidad de agua que podría utilizarse en dichas actividades, o bien el agua que existe queda reservada para el uso doméstico, urbano, y la generación de energía eléctrica o la protección ecológica tal como lo establece el Título Quinto en sus artículos del 38 al 43 (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

En suma, podemos decir que el discurso del gobierno federal a través de sus documentos, normas y acciones, es que el gas de lutitas representa una alternativa viable que asegura el desarrollo económico y social al producir y generar energía eléctrica barata para las próximas décadas, y con ello poder expandir las capacidades económicas de ciertas regiones del

país.¹⁴ El gobierno lo expone así: la demanda de gas en el país seguirá en ascenso a una tasa de 3.4 a 3.5 por ciento anual, de tal suerte que de los 6.107 millones de pies cúbicos por día (mmpcd) que se producían en 2010 pasarán a una producción de 11.595 mmpcd para 2028 (Estrada, 2013, p. 69; Sener, 2014, p. 75).¹⁵ La producción de gas convencional crecerá a una tasa de 2.8 por ciento anual si se sigue invirtiendo en principales zonas productoras como es el caso de la Cuenca de Burgos y Veracruz (Estrada, 2013, p. 74). La Secretaría de Energía expone también en el documento Prospectiva del Gas Natural y LP 2014-2028, que la producción de gas de lutitas para el año 2028 será de 925.5 mmpcd y, con ello, diversificará las fuentes de abastecimiento de gas (Sener, 2014).

De cualquier manera, el asunto del gas de lutitas genera invariablemente un conflicto social por lo que la implementación de este tipo de proyectos debe justificarse plenamente ante la opinión pública, grupos organizados de la sociedad civil –como la Alianza Mexicana Contra el Fracking– y, en especial, ante los diferentes órganos consultivos con participación de actores y sectores que por ley tienen las instituciones mexicanas. Tal es el caso de los Consejos Consultivos de Desarrollo Sustentable y el Comité de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de Burgos coordinados por la Semarnat; los Consejos de Cuenca

¹⁴ El desarrollo de 1000 pozos para extraer gas y petróleo no asociado en la zona de Vaca Muerta en la Neuquén, Argentina, representa cerca de 4 % del PIB del país, y el PIB de la provincia podría incrementarse hasta en 100 % y el número de empleos podría ser de hasta 60 000 empleos directos (IAPG, 2014).

¹⁵ El sector eléctrico será el mayor consumidor de gas natural con 3 322.7 mmpcd y una tasa en el período 2013-2028 de 4.4 %. El segundo mayor consumidor será el industrial con una demanda en 2028 de 2 630.0 mmpcd, seguido de los sectores petrolero con 2 455.6 mmpcd, residencial 116.1, servicios 46.1 mmpcd y autotransporte con 2.9 mmpcd. Por regiones, en 2028 la mayor demanda de gas natural se presentará en la región noreste con una participación de 29.9 %, seguida de la región centro-occidente con 23.1 %, la región sur-sureste con 21.2 %, la región centro con 13.5 %, noroeste con 9.7 % y finalmente aguas territoriales con 2.6 % (Sener, 2014, pp. 76-88).

que coordina la Conagua, y otros consejos o comités estatales y municipales que ya forman parte de una corriente de opinión pública informada que puede definir, en cierto momento, políticas públicas específicas para desarrollar de manera sustentable la actividad o bien rechazarla.

Consideraciones finales

La actividad extractiva de gas de lutita en México se deberá ajustar a los postulados del desarrollo sustentable, ya que el marco legal e institucional está impregnado por este paradigma. Esto obliga a los inversionistas y promotores de obras u actividades a seguir una serie de lineamientos normativos oficiales para mantener el equilibrio ecológico y proteger el ambiente y, al mismo tiempo, también obliga a las instituciones a mantener la equidad social. Habrá que estar atentos al cumplimiento del marco legal y al fortalecimiento de las instituciones respectivas.

Lo cierto es que la actividad de extracción del gas de lutitas representa un dilema para el Estado mexicano. Por una parte, se necesita este energético para satisfacer la demanda, especialmente del sector eléctrico y, por otra parte, se tiene que mediar entre la sociedad y los inversionistas nacionales y extranjeros para realizar esta actividad siempre en el marco del desarrollo sustentable. Esto es, mediar el conflicto social para llegar a una conciliación de intereses de todos los actores y sectores involucrados en el territorio donde podrían ser los emplazamientos de gas de lutita.

Al haber mayor oferta de gas natural, se cubriría la demanda del sector eléctrico y con ello el cumplimiento del Protocolo de Kioto que México firmó desde 1992, pero a su vez se corre el riesgo de afectar ecosistemas terrestres por el uso de una gran variedad de sustancias químicas en el proceso de fracturación hidráulica, y en el manejo posterior del gas y los desechos en la superficie terrestre.

De manera general, vimos que en la Cuenca de Burgos donde se encuentra, según Pemex, una rica formación de rocas

de lutitas, tal como la que se tiene en la cuenca de Eagle Ford, el agua es un recurso escaso; y en ciertas regiones del Coahuila y Nuevo León sería muy aventurado desarrollar esta actividad extractiva sin poner en riesgo de agotamiento de los acuíferos. Tal vez una negociación de alto nivel en el seno de la Comisión Internacional de Límites y Aguas, la Conagua y los usuarios del agua superficial del río Bravo, pudiera permitir concedionar agua para esta actividad productiva.

En el estado de Tamaulipas hay buena disponibilidad de agua subterránea y, en todo caso, se debería permitir el uso de este recurso con el análisis y eventual aval de los Consejos de Cuenca y los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas. Esto generaría una discusión importante y seguramente se llegaría a un acuerdo, ya sea aceptando o rechazando el uso de agua de la cuenca y/o de los acuíferos demandados.

En la conciliación de intereses se deben dejar claros los intereses de la nación, los intereses de los inversionistas y los intereses de las comunidades locales, que incluye el interés de particulares. Se puede notar que en Estados Unidos y en otras partes del mundo el punto de partida de cualquier negociación es la opinión pública, la cual está dividida pero con una inclinación ligera hacia la explotación de este gas con la condición de que exista un estado de derecho, y en especial instituciones sólidas para la prevención y el control adecuado de la contaminación ambiental.

En esta dinámica es importante hacer notar que para el caso de México ya no se pueden tolerar empresas como Pemex que ha traído afectaciones al medio ambiente y a la sociedad. Estrada (2013, p. 8), deja claro que la paraestatal no está preparada aún para hacerse responsable y rendir buenas cuentas ante la sociedad dados los problemas financieros que le aquejan ante la baja en la caída de los precios del petróleo, las denuncias de corrupción, el problema sindical, y, sobre todo, los problemas de credibilidad ante una buena parte del público mexicano por los casos de contaminación ambiental en la mayoría de sus instalaciones. Por lo tanto, la respuesta debe provenir de la Sener. Dice Estrada:

un primer problema para México es su propia definición constitucional de la propiedad y explotación de los hidrocarburos por un monopolio de Estado, Pemex. Este modelo resulta inadecuado para explotar *shale gas* a gran escala. Otro problema está representado por los altos costos de logística presionados por la rapidez del ciclo de producción, cuyos picos y declives se alcanzan a pocas semanas de iniciada la perforación. El declive puede ser tan rápido hasta volver incosteable mantener los equipos en un solo lugar por demasiado tiempo. Pemex no parece adaptada para trabajar en una dinámica logística de gran velocidad, en la que los equipos de perforación y de trabajadores deben desplazarse entre numerosas operaciones (Estrada, 2013, p. 8).

De cualquier manera, la historia del *fracking* en México apenas empieza a escribirse y deberá estar sujeta a un fuerte compromiso de todos los actores y sectores involucrados para desarrollar mecanismos en el marco de la gobernanza moderna, que invariablemente fomenta la interacción constante y la deliberación pública para asegurar un desarrollo sustentable.

Referencias

Acuerdo por el que se da a conocer el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Burgos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 21 de febrero de 2012. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5234595&fecha=21/02/2012

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*, Ciudad de México, 20 de abril de 2015. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015

- Alianza Mexicana Contra el Fracking (AMCF). (2018). Quiénes somos (sección de página web). Recuperado de <http://www.nofrackingmexico.org/quienes-somos/>
- Barrueta, E. (13 de mayo de 2019). El éxito de Estados Unidos es un enorme ejemplo para los ingenieros petroleros y para el gobierno de México [entrada de blog] Recuperado de <https://www.energiaadebate.com/petroleo/riqueza-olvidada-de-los-campos-no-convencionales/>
- Beaver, W. (2014). Environmental Concerns in the Marcellus Shale. *Business and Society Review*, 119(1), 125-146. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/basr.12027>
- Calderón-Porter, M. (2013). *Shale gas, experiencias y oportunidades*. Recuperado de <https://www.tamiu.edu/binational-center/documents/ShaleGasExperienciasyOportunidadesCalderon-Porter6LIGA-FINALPresentation.pdf>
- Comisión Estatal de Agua en Tamaulipas (CEAT). (2015). *Situación hídrica en Tamaulipas*. Solicitud de información por oficio, El Colegio de la Frontera Norte el 10 de febrero de 2015.
- Comisión Nacioonal de Hidrocarburos (CNH). (2015). Provincias con gas lutita. México: Autor.
- Córdova, G. (2013). El Bolsón del Hueco, actores sociales en el Paso del Norte. En F. Peña (Comp.), *La sed urbana. La ciudad como construcción hidráulica* (pp. 61-84). San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.
- Cotton, M. (2015). Stakeholder Perspectives on Shale Gas Fracking: A Q-Method Study of Environmental Discourses. *Environment and Planning*, 47, 1944–1962.
- Dávila, A. (2013). Impactos económicos del aprovechamiento de los yacimientos de gas natural de la Cuenca de Burgos mediante el esquema de contratos de obra pública financiada. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 28(1), 123-166.
- Davis, Ch. y Fisk, J. (2015). Energy Abundance or Environmental Worries? Analyzing Public Support for Fracking in the United States. *Review of Policy*

- Research*, 31(1), 1-16. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ropr.12048>
- Eguiluz de Antuñano, S. (2011). Sinopsis geológica de la Cuenca de Burgos, noreste de México: producción y recursos petroleros. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 323-332.
- Energy Information Agency (EIA). (2016). *Future U.S. tight oil and shale gas production depends on resources, technology, markets*. U.S. Energy Information Agency. Recuperado de <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27612>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources Progress Report*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/hf-report20121214.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2016). *EPA's Study of Hydraulic Fracturing and Its Potential Impact on Drinking Water Resources*. Recuperado de <https://www.epa.gov/hfstudy/hydraulic-fracturing-water-cycle>
- Estrada, J. (2013). *Desarrollo del gas de lutita (Shale gas) y su impacto en el mercado energético de México: Reflexiones para Centroamérica*. Ciudad de México: ONU/Agencia para la Cooperación Alemana. Recuperado de <http://energiaadecuate.com/wp-content/uploads/2013/11/shalegasysuimpactoenMexicoJavierEstradaCEPALOctubre2013.pdf>
- Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 3 de junio de 2013. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- García, S. (2015). La necesaria evaluación de impacto en salud de la explotación de gas de esquisto. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 49(1), 105-125.
- Gobierno del Estado de Coahuila. (2011). Programa Especial Agua Potable, Drenaje y Saneamiento 2011-2017. Coahuila de Zaragoza: Autor.
- Haluszczak, O., Rose, A. W. y Kump, L. R. (2013). Geochemical Evaluation of Flowback Brine from Marcellus Gas Wells in

- Pennsylvania, USA. *Applied Geochemistry*, 28, 55-61.
- Heikkila, T. y Weible, Ch. (2017). Unpacking the Intensity of Policy Conflict: A Study of Colorado's Oil and Gas Subsystem. *Policy Science, On Line*, 50(2), 179-193.
- Holzman, D. (2011). Natural Resources: Methane Found in Well Water Near Fracking Sites. *Environmental Health Perspectives*, 119(7), A289. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/41329080>
- Instituto Argentino del Petróleo y el Gas (IAPG). (2014). *Análisis y Proyección de Impactos Económicos Esperados del Desarrollo de los Hidrocarburos No Convencionales en Argentina Cuantificación de Impactos Económicos del Desarrollo en Escala de Vaca Muerta en la Provincia de Neuquén*. Recuperado de <http://www.iapg.org.ar/download/1000pozos.pdf>
- Instituto del Agua de Nuevo León (IANL). (2011). *Situación de los Recursos Hídricos en el Estado. Diagnóstico sobre la Gestión y el Uso del Agua en El Sector Agropecuario de Nuevo León*. Nuevo León: Autor.
- Jackson, R., Vengosh, A., Carey, W., Davies, R., Darrah, T., Francis O'Sullivan, F. y Pétron, G. (2014). The Environmental Costs and Benefits of Fracking. *Annual Review Environmental Resources*, 39, 327-362.
- Konschnik, K. E. y Boling, M. K. (2014). Shale Gas Development: A Smart Regulation Framework, Environmental Science and Technology. *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8404-8416.
- Lave, R. y Lutz, B. (2014). Hydraulic Fracturing: A Critical Physical Geography Review. *Geography Compass*, 8(10), 739-754. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gec3.12162/pdf>
- Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 1 de diciembre de 1992 (última reforma 24 de marzo de 2016). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf

- Maguire-Boyle, S. J. y Barron, A. R. (2014). Organic Compounds in Produced Waters from Shale Gas Wells. *Environmental Science Processes & Impacts*, 16, 2237–2248.
- Manzanares, J. L. (2014). Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México. Retos de regulación ambiental. *Estudios Sociales*, 44, 173-197.
- Martínez, E. (2016). Evaluación de Impacto Social como requisito para proyectos energéticos y de hidrocarburos. *Derecho Ambiental y Ecología*, 70, 61-63.
- McDermont, R., Kaktins, N. y Sattler, B. (2013). Fracking, the Environment, and Health. *American Jurnal Of Nursing*, 113(6), 45-51.
- Myers, T. (2012). Potential Contaminant Pathways from Hydraulically Fractured Shale to Aquifers. *Ground Water*, 50(6), 872–882. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6584.2012.00933.x/epdf>
- Oil & Gas Magazine. (21 de enero de 2015). Presenta Pemex 23 % de efectividad en Shale. *Revista de la Industria Petrolera y de Gas*. Recuperado de <https://www.oilandgasmagazine.com.mx/2015/01/presenta-pemex-23-de-efectividad-en-shale/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency (OECD-IEA). (2016). Mexico Energy Outlook, World Energy Outlook Special Report. Recuperado de <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MexicoEnergyOutlookExecutiveSummarySpanish.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2016). *Desarrollo sostenible*. Asamblea General de las Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Programa Sectorial de Energía 2013-2018 (Prosener). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 13 de diciembre de 2013. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5326587&fecha=13/12/2013
- Rozell, D.y Reaven, S. J. (2012). Water Pollution Risk Associated with Natural Gas Extraction from the Marcellus Shale. *Risk*

- Analysis, 31(8), 1382-1393.* Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1539-6924.2011.01757.x/epdf>
- Secretaría de Energía (Sener). (2014). Prospectiva del Gas Natural y LP 2014-2028. Ciudad de México: Autor. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62944/Gas_natural_y_Gas_L.P._2014-2028.pdf
- Secretaría de Energía (Sener). (2016). *Red de gasoductos en México.* Ciudad de México: Autor. Recuperado de http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/94097/511.DGGNP.DGS.109.16.OT.07_Mapa_Infraestructura_Nacional_de_Gas_Natural_2016__Institucional_.pdf
- Secretaría de Energía (Sener). (2018). Inauguración del foro Oportunidades y desafíos en el desarrollo de petróleo y gas de yacimientos no convencionales Tamaulipas. Boletín de prensa 07. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/prensa/mexico-ocupa-a-nivel-mundial-el-sexto-lugar-en-volumen-de-recursos-no-convencionales-pjc?idiom=es,>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2016). *Programas de Ordenamiento Ecológico en México.* Ciudad de México: Autor. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/ordenamientos-ecologicos-expedidos>
- Swartz, T. (2011). Hydraulic Fracturing: Risks and Risk Management, Natural Resources & Environment. *American Bar Association Stable, 26(2), 30-32, 59.* Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/23054873>
- Sweeney, S. y Skinner, L. (2014). *Global Shale Gas and the Anti-Fracking Movement. Developing Union Perspectives and Approaches.* Estados Unidos: Cornell University/ Rosa Luxemburg Stiftung. Recuperado de <http://unionsforenergydemocracy.org/wp-content/uploads/2015/07/Unions-and-Fracking.pdf>
- Tapia, W. y Andrade, M. (2011). Caracterización de la concentración de ozono superficial en la ciudad de La Paz en el régimen de madrugada. *Revista Boliviana de Física, 18,*

- 26-36. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&xpid=S1562-38232011000200004
- Urresti, A. y Marcellesi, F. (2012). Fracking: una fractura que pasará factura. *Ecología Política*, 43, 23-36. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/43526811>
- United States Geological Services (USGS). (2016). Earthquakes Induced by Fluid Injection FAQs – 9. Recuperado de https://www.usgs.gov/faqs/oklahoma-now-has-more-earthquakes-a-regular-basis-california-are-they-due-fracking?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- Vargas, R. y Barrios, H. (2013). El impacto geopolítico de la revolución del gas de esquisto: consideraciones para México. *El Cotidiano*, 177, 61-68.
- Weinhold, B. (2012a). The Future of Fracking, New Rules Target Air Emissions for Cleaner Natural Gas Production. *Environmental Health Perspectives*, 120(7), A272-A279. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/41548766>
- Weinhold, B. (2012b). Energy Development Linked with Earthquakes. *Environmental Health Perspectives*, 120(10), A388. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/23321901>
- Ziemkiewicz, P., Quaranta, J. D. y McCawley, M. (2014). Practical Measures for Reducing the Risk of Environmental Contamination in Shale Energy Production. *Environmental Science Processes & Impacts*, 16, 1692-1699.

CONCLUSIONES GENERALES

Los capítulos que integran el presente volumen exponen una gama de perspectivas sobre la gestión del agua bajo el enfoque de desarrollo sostenible y gobernanza del agua. Los trabajos analizan diversas regiones de México, aunque se destaca en algunos de ellos el examen de la región fronteriza que comparte México con los Estados Unidos. Las reflexiones que resultan de los diversos análisis sugieren que los enfoques de desarrollo sustentable y gobernanza han ido ganado presencia en la investigación sobre la gestión del agua en México, a la vez que muestran la complejidad que implica esa gestión en diversos ámbitos tanto geográficos como por tipo de usos del agua en el país. A manera de corolario, a continuación, se presentan brevemente los puntos más relevantes identificados en cada capítulo.

En la sección 1 sobre gobernanza del agua, los capítulos 1 y 2 abordan específicamente el enfoque para dos áreas de importancia binacional en la frontera común: la cuenca baja del río Bravo en el noreste de México y la región del bajo río Colorado en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado, en el extremo noroeste del país. En el primer capítulo «Gobernanza y cooperación binacional en la gestión del agua: la cuenca baja del río

Bravo» los autores identifican una red de actores gubernamentales asentados en ambos lados de la línea fronteriza, mismos que a pesar de mostrar diferencias evidentes en sus funciones, recursos y cobertura de operación, así como una baja interacción a nivel local y subnacional, muestran potencial para la cooperación binacional efectiva en el manejo de los recursos hídricos compartidos. Las conclusiones del trabajo apuntan a la necesidad de recuperar por un lado los nexos binacionales existentes –aunque incipientes–, de algunos sectores como el académico y las sociedades de riego, y por el otro, las experiencias binacionales exitosas que aportan elementos que han influido en el fortalecimiento de dichos nexos. Se subraya esto como un proceso continuo donde la academia y las diferentes organizaciones binacionales han sido fundamentales en la promoción y generación de conocimiento sobre la gestión y manejo del agua en la región.

En el capítulo 2 «Cambio climático y riego: retos para la gobernanza y adaptación institucional en el manejo de aguas transfronterizas del bajo río Colorado en el Valle de Mexicali», se establece que la región del bajo río Colorado se ha caracterizado por recurrentes episodios de crisis y conflicto debido a la alta competencia por recursos hídricos escasos. Sobresale el conflicto de la salinidad que ha dado lugar a diferencias internacionales que datan desde la década 1960. Entre las principales conclusiones que se asientan, se menciona la existencia de una estrecha relación entre la alta variabilidad climática, la irrigación agrícola intensiva y los procesos naturales de arrastre y acumulación de sal en los cuerpos de agua y tierras; se subraya que el fenómeno del cambio climático representa un factor que acentúa los procesos de salinización. El análisis permitió identificar a su vez dos aspectos que dificultan la gestión y manejo de las aguas compartidas: *a)* la incompatibilidad de usos entre los diversos sectores productivos y regiones debido a la escasez; y *b)* la elevación de los costos de inversiones para poder contar con agua de calidad adecuada para usuarios aguas abajo. Sin embargo, también se identificaron oportunidades de invertir y compartir costos de infraestructura

para enfrentar de manera cooperativa la problemática de la salinidad. Se subraya que para lograr lo anterior, se deberá readecuar el marco binacional conjuntamente con la facilitación de la participación de actores locales clave como los usuarios del riego que consumen 85 por ciento de la disponibilidad total en la región de Mexicali y San Luis Río Colorado.

En la sección II sobre gestión y usos del agua, los capítulos 3, 4 y 5 abordan dichos temas al revisar casos en diversas regiones de la frontera norte y del sur de México, ello a través del análisis del uso doméstico urbano, de las aguas subterráneas y del riego agrícola. El capítulo 3 desarrolla el tema del uso de agua doméstico urbano en tres subregiones hidrológicas del país –Bajo Grijalva, Valle de México y San Juan–, mismas que se caracterizan a partir de la propuesta de utilizar subregiones hidrológicas como unidades de planeación factibles para implementar la sostenibilidad de los usos del agua. Específicamente, se realiza el análisis para uso doméstico- urbano en un marco de respeto a los límites de la disponibilidad natural de agua. El primer aspecto que se destaca como un hallazgo relevante es que la delimitación misma de unidades pertinentes para la planeación hidrológica presenta limitaciones. Para el estudio se requirió ubicar a las cuencas y acuíferos que conforman cada subregión hidrológica, identificándose que no existe consistencia con los límites espaciales de esas unidades hidrológicas con su propia subregión, esto genera limitaciones para definir la situación actual de disponibilidad. Adicionalmente, se establece que, contrario a lo que comúnmente se argumenta, la disponibilidad de agua no es una condición determinante para asegurar la cobertura y eficiencia en los servicios de agua entubada y drenaje para las poblaciones urbanas; como lo hace evidente el caso de la subregión Bajo Grijalva, donde existe una amplia disponibilidad de agua, pero las coberturas e indicadores de desempeño son los más pobres de los tres casos. Finalmente, se observa que la subregión Valle de México, que por mucho tiempo ha concentrado la inversión federal en el sector agua potable, registra deficiencias en aspectos operativos básicos como cobertura, medición y

desinfección del agua suministrada. Estas observaciones llevan a la conclusión de que aunque la disponibilidad de agua y la inversión en infraestructura son condiciones necesarias, no son suficientes para asegurar servicios adecuados de agua a las zonas urbanas.

El capítulo 4 «Propuesta para la delimitación de las zonas de disponibilidad de agua subterránea en México con base en criterios de sustentabilidad» analiza las zonas con disponibilidad de aguas subterráneas para lo cual se enfoca en el estado de Chihuahua. Se subraya que la complejidad en el manejo de los recursos hídricos subterráneos requiere de la aplicación de instrumentos regulatorios que permitan un uso sustentable del recurso. Este trabajo abona al entendimiento de la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos en México mediante el análisis crítico de la conformación de zonas de disponibilidad. El análisis propone indicadores complementarios que permitan rediseñar la estructura actual de zonas de disponibilidad de aguas nacionales subterráneas considerando como criterio para el diseño el principio de sustentabilidad. Los resultados sugieren que el indicador utilizado actualmente por la Conagua subestima el grado de explotación –o sobreexplotación– del recurso hídrico, por lo que se propone un rediseño con carácter progresivo en el que los acuíferos con mayor intensidad de aprovechamiento se clasifiquen en zonas de mayor costo y aquellos que rebasen su capacidad de recarga se ubiquen en zona 1 –de protección o veda–. Dicha aproximación permitiría un abordaje guiado por los principios de sustentabilidad.

Por otra parte, en el capítulo 5 «El papel de la tecnología en el manejo del agua del sector agrícola de Baja California, México, y su impacto en el desarrollo regional» se establece que la tecnología de manejo de agua en el sector agrícola es clave para el desarrollo del estado de Baja California. Se afirma que, de no mediar intervención estatal, el modelo de tecnificación que se desarrolló en el Valle de San Quintín –en la zona costa del Pacífico– con algunas adecuaciones o variantes operativas y de manejo, muy probablemente sea el que se adopte también para el Valle de Mexicali

—en la vertiente del Golfo de California o delta del río Colorado—. Consecuentemente, los problemas sociales y económicos que se generarían en el Valle de Mexicali por la adopción de nuevas tecnologías serían semejantes a los que ocurrieron en el Valle de San Quintín. Se subraya que, de aplicarse el modelo del Valle de San Quintín, se produciría una concentración de capital como resultado de la salida del mercado de los campesinos que no puedan costear las inversiones en las nuevas tecnologías, quienes se verían forzados a vender sus tierras —y derechos de agua— a los medianos y grandes capitales. Adicionalmente, se afirma que se observará una reducción de empleos estacionales al tiempo que se crean empleos permanentes, aunque el balance final sería una reducción general de empleos.

En la sección III sobre el vínculo agua y energía, los capítulos 6 «El vínculo agua-energía-desarrollo urbano en ciudades de la frontera norte» y 7 «Gas de lutitas y desarrollo sustentable en México: efectos al medio ambiente y conflicto social» abordan a profundidad el tema particular al revisar el contexto de la región norte de México. Los resultados del capítulo 6 muestran que, efectivamente, agua y energía urbanas están relacionadas de múltiples maneras y que este nexo tiene repercusiones significativas en muchas otras áreas vitales para la metrópolis, tales como la calidad del aire y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Las conclusiones apuntan a que el nexo entre el agua y la energía debería ser integrado en la planeación urbana para hacer sustentable el desarrollo de las ciudades.

El capítulo final del libro analiza la relación de la explotación del gas de lutitas y el desarrollo sustentable. Se menciona que la gestión de los recursos hídricos en México debe ser ante todo prudente y equilibrada. Respecto a la primera acepción, se hace referencia a la necesidad de actuar con medida ante una actividad aparentemente lucrativa y detonadora de progreso, como sucede en el sur de Texas donde se ha avanzado con la explotación del gas y aceite de lutita. Sobre la segunda, se trata de poner en la mesa de discusión preguntas tales como:

¿hasta qué punto el aspecto económico afecta al medio ambiente y a la sociedad de la frontera norte de México donde se ha probado la existencia de este gas no convencional? Se concluye que el gobierno mexicano ha apostado al uso de este tipo de energía limpia para cumplir con el protocolo de Kioto. En este proceso, el paradigma de la sustentabilidad es aplicable para sopesar el alcance en la economía del país, la afectación a las comunidades y el impacto al medio ambiente. Adicionalmente, se asienta en el trabajo que la técnica de fracturación hidráulica afecta negativamente la calidad del aire, el suelo y el agua. Desde la dimensión social y económica, se toman como referencia los reportes de la actividad en Eagle Ford, Texas, donde ha habido beneficios a las comunidades locales. Sin embargo, en el caso de México, la disponibilidad de agua es menor y el avance institucional está aún en una fase incipiente, lo que genera incógnitas sobre el impacto en el desarrollo regional.

Varios son los aspectos que se enfatizan en este libro como hallazgos de investigación que se derivan en recomendaciones de gestión: la necesaria participación de los distintos actores para la mejor gobernanza del agua, la aplicación de mejores criterios para la definición de las unidades hidrológicas y la determinación de la disponibilidad de agua, así como la aplicación de criterios de prelación para sus usos. Se apunta también hacia cambios necesarios en los marcos jurídicos y normativos para actividades como la fracturación hídrica aplicada para extraer gas de lutitas, la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de agua y energía para reducir los impactos en el desarrollo sustentable de las ciudades. De esta manera, el conjunto de trabajos busca contribuir a la discusión de los aspectos que deben mejorarse en la gestión del agua en el país bajo un enfoque sustentable.

ACERCA DE LOS AUTORES

Ismael Aguilar Benítez

Doctor en Planeación Urbana y Regional por la Universidad de California, Irvine. Investigador del Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente de El Colef. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel I. Las áreas de interés de su reciente trabajo de investigación son la administración pública del agua; administración y gestión de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento; y economía del agua. Ha publicado artículos en diversas revistas como Environmental Science and Technology, Water Policy; Water Resources Research; Gestión y Política Pública y Estudios Económicos, así como varios capítulos en libros.

iaguilar@colef.mx

José Luis Castro Ruiz

Doctor en Planeación Urbana y Regional con especialidad en análisis urbano por la Universidad del Sur de California, Estados Unidos. Es profesor-investigador titular C en el Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente de El Colef en Monterrey, Nuevo León. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel II. Su publicación más reciente se titula «Sustentabilidad ambiental y planeación estatal en la frontera norte de México: el caso

de los recursos hídricos» en coautoría con María Eugenia González Ávila, en «Desarrollo Sustentable y Calidad de Vida: retos para el norte de México», de María Eugenia González Ávila y Alfredo Ortega Rubio (Eds.). Tijuana, B.C., El Colef y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

jlcastro@colef.mx

Gustavo Córdova Bojórquez

Doctor en Ciencias Sociales con especialidad en Relaciones de Poder y Cultura Política por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco con estancia académica en la Escuela de Estudios Transfronterizos de la Universidad Estatal de Arizona, Tempe, Arizona. Es profesor-investigador de El Colef adscrito al Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente, desde abril de 1997 a la fecha. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel II. Algunas de sus publicaciones más recientes son «Espacio urbano y actores sociales en la ciudad de Chihuahua ¿mutua reconfiguración?» en coautoría con Lourdes Romo y publicada por El Colef (2015); además de «Desarrollo humano transfronterizo: retos y oportunidades en la región Sonora Arizona», en coautoría con Blanca Lara, Justin Dutram y José Rodríguez (Coords.), publicada por El Colegio de Sonora, El Colef, la Universidad de Sonora y la Universidad Estatal de Sonora (2013).

bcordova@colef.mx

Alfonso Andrés Cortez Lara

Es Doctor en Desarrollo de Recursos con especialidad en gestión y manejo de recursos hídricos por la Universidad Estatal de Michigan, Estados Unidos y Maestro en Uso y Manejo del Agua en Zonas Áridas por la Universidad Autónoma de Baja California. Es profesor-investigador titular B en El Colef-DEUMA y funge como representante de la Sede Mexicali. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel I. Su más

reciente libro publicado en idioma inglés se titula «Transboundary Water Conflicts in the Lower Colorado River Basin: Mexicali and the Salinity and the All-American Canal Lining Crises», editado por El Colef (2015).

acortez@colef.mx

José Luis Manzanares Rivera

Doctor en Economía y profesor-investigador en El Colef adscrito al Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel I. Su línea de investigación es el análisis cuantitativo aplicado. Es autor del artículo titulado «Hacer florecer al desierto: Análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México», publicado en la revista *Cuadernos de Desarrollo Rural, Colombia* en 2016.

jlmanzanares@colef.mx

Gabriela Muñoz Meléndez

Es profesora-investigadora en cambio climático, energía y calidad del aire en el Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente de El Colef. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel I. Es Ingeniero Químico con Maestría en Ciencias Nucleares y Doctorado (y Diploma) en Ciencias Ambientales por el Imperial College London. De 1992 a 1996 trabajó en el Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica de la Dirección General de Ecología de la Ciudad de México. Del año 2000 a 2008 trabajó como investigador asociado en el Department of Earth Science and Engineering-Imperial College London. De 2016 a 2017 pasó su estancia sabática en la Universidad de Stanford investigando el vínculo entre agua y energía. Ha publicado en *Environmental Science and Technology, Journal of the Cleaner Production y Journal of Borderlands Studies*.

gmunoz@colef.mx

Óscar Alberto Pombo

Es Doctor en Ecología Social (PhD) por la Universidad de California Irvine, Estados Unidos (1999), Maestro en Ciencias en Ecología Marina por el CICESE, México (1990) y Oceanógrafo por la Universidad Nacional de la Patagonia, Argentina (1983). Es profesor-investigador del Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente DEUMA de El Colef. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt, nivel I. Su publicación más reciente fue realizada en coautoría con Ricardo V. Santes-Álvarez, se titula «A social and institutional framework analysis of desalination as a technical solution for agriculture in the San Quintin Valley, Baja California, México» y ha sido publicada por el *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences* (2016).

oapombo@colef.mx

Gestión del agua en México: Sustentabilidad y Gobernanza
Edición al cuidado de la Coordinación
de Publicaciones de El Colegio de la Frontera Norte,
10 de febrero de 2020
Para comentarios, enviarlos a:
publica@colef.mx

La gestión del agua en México ha estado enfocada en la práctica a satisfacer los requerimientos del recurso para sus distintos usos; principalmente agrícola, industrial y doméstico urbano. Se ha dado muy poca atención a los aspectos ambientales, las necesidades de los ecosistemas y a una adecuada gobernanza del agua en la que los distintos usuarios participen en esa gestión. En diciembre de 2016, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó por unanimidad la resolución Decenio Internacional (2018-2028) para la Acción-Agua para el Desarrollo Sostenible. De acuerdo con esa resolución, el decenio se concentrará en el desarrollo sostenible y la gestión integrada de los recursos hídricos para el logro de los objetivos sociales, económicos y ambientales. Dos conceptos que se encuentran en la base del planteamiento de dicha resolución son: desarrollo sustentable y gobernanza del agua. Este libro parte de esos conceptos, la hipótesis general en la que se basa es que la aplicación de un enfoque centrado en el desarrollo sustentable y la gobernanza puede mejorar significativamente la gestión del agua en México.



**El Colegio
de la Frontera
Norte**