

Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua



ANUIES
ASOCIACIÓN NACIONAL DE UNIVERSIDADES
E INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Jaime Valls Esponda
Secretario General Ejecutivo

Jesús López Macedo
Director General Académico

José Aguirre Vázquez
Director General de Planeación y Desarrollo

Yolanda Legorreta Carranza
Director General de Asuntos Jurídicos

Fernando Ribé Varela
Director General de Administración

Consejo Regional del Área Metropolitana (CRAM)

Dr. Eduardo Peñalosa Castro
*Rector General de la Universidad Autónoma
Metropolitana*
*Presidente del Consejo Regional del Área
Metropolitana*

Mtra. María Elena Jaimes Pineda
*Directora de Análisis y Seguimiento Institucional
de la UAM*
*Secretaria Técnica del Consejo Regional del Área
Metropolitana*

Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua

**Coordinador
Óscar Monroy Hermosillo**



EL COLEGIO
DE MÉXICO



333.91 HD1691
A33 A33

Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua / Oscar Monroy Hermosillo, coordinador. – México, D.F. : Ciudad de México : ANUIES, Dirección de Producción Editorial, Universidad Autónoma Metropolitana, CRAM, El Colegio de México, 2020.
302 páginas. – (Colección Documentos ANUIES)

ISBN: 978-607-451-154-3

1. 1. Abastecimiento de agua Administración 2. Desarrollo de recursos hidrológicos México 3. Desarrollo sustentable Aspectos ambientales México I. Monroy Hermosillo, Oscar, coordinador. II. Foro Problemas metropolitanos, acciones para su atención. Temática agua, 27 de septiembre 2018. III. Serie.

Dirección General Académica
Jesús López Macedo

Coordinación editorial
Sergio Raúl Corona Ortega

Corrección de estilo y cuidado de edición
Fernando Callirgos Gallardo y Sergio Raúl Corona Ortega

Portada y formación editorial
Litográfica Versant, S.A. de C.V.

Primera edición, 2020

© 2020, ANUIES
Tenayuca 200
Col. Santa Cruz Atoyac
México, D. F.

ISBN: 978-607-451-154-3

Impreso en México

ÍNDICE

<i>Presentación</i> Eduardo Peñalosa Castro y Jaime Valls Esponda	9
<i>Introducción</i>	
<i>Foro "Problemas metropolitanos: Acciones para su atención". Temática, Agua</i> Judith Domínguez Serrano, Carlos A. López M., Delia Montero Contreras, María Perevochtchikova, Eloísa Domínguez Mariani y Óscar Monroy Hermosillo	13
<i>La diplomacia en la "s" de la UNESCO</i> Blanca Elena Jiménez Cisneros	19
Capítulo I Legislación del agua	
<i>Hacia una nueva legislación del agua en la Ciudad de México</i> Pedro Moctezuma Barragán	29
<i>Reformas legislativas para garantizar el Derecho Humano al Agua</i> Judith Domínguez Serrano	39
<i>Escasez del agua. Modelo Tripartita: Estado, Sociedad y Mercado</i> Guillermina Pérez González, Leslie. V. Domínguez Pérez y Ángel. E. Márquez Ortega	53
<i>Participación: un desafío para la Ley General de Aguas. El caso del Valle de México</i> Lourdes Romero Navarrete	67
Capítulo II Tratamiento y reuso del agua	
<i>Tratamiento y reuso del agua residual municipal como condicionante para el manejo sustentable del agua en centros urbanos</i> Adalberto Noyola Robles	83
<i>El tratamiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México</i> Margarita González Brambila, José A. Colín Luna y Héctor Puebla Núñez Navarrete	101

<i>Transformación sociotécnica para la implementación de saneamiento descentralizado en la Unidad Cuajimalpa de la Universidad Autónoma Metropolitana</i>	123
Flor Y. García-Becerra y Miriam Alfie Cohen	
<i>Contaminación del agua por líquidos radiográficos</i>	129
Iván Maceda Mejías	
<i>Proceso y equipo para el tratamiento biológico de efluentes domésticos a alta tasa</i>	141
Hugo Velasco Bedrán	

Capítulo III Abastecimiento de agua potable y redes de distribución

<i>Agua embotellada en México, derecho humano al agua e inseguridad hídrica: desafíos de la gobernanza del agua en ciudades mexicanas</i>	149
Raúl Pacheco-Vega	
<i>La relación entre el desarrollo inmobiliario y el desabasto de agua en la Ciudad de México. Un análisis de los instrumentos de factibilidad y compensación</i>	167
María Guadalupe Díaz Santos	
<i>El agua potable en México y el consumo de agua embotellada</i>	179
Delia Montero Contreras	
<i>De la captación del agua a la disposición de las botellas. Los impactos ambientales del agua embotellada, identificados</i>	195
Raymundo Sánchez Villavicencio	

Capítulo IV Manejo integral del agua

<i>Repensando la planeación: de lo urbano a la integridad de la Cuenca</i>	211
Helena Cotler Ávalos	
<i>Consejo y Comisiones de Cuenca para un manejo sustentable del agua de la Ciudad de México</i>	223
Óscar Monroy Hermosillo y David Barkin	
<i>Optimización de operación del sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México</i>	235
Eugenio Gómez-Reyes y Roberto M. Constantino-Toto	
<i>Hacia la gestión integrada del agua urbana en la Ciudad de México: análisis espacial del abasto y uso del agua (2008-2013)</i>	259
Arturo Ramos-Bueno y María Perevochtchikova	
<i>¿Es posible la preservación de las Ciénegas de Lerma?</i>	277
Eloísa Domínguez Mariani y Carlos Vargas Cabrera	
Semblanzas	296

PRESENTACIÓN

El futuro de nuestra ciudad está relacionado indisolublemente con nuestra capacidad de resolver los retos en torno al agua, el tema es crítico en muchos planos, incluso en la reflexión histórica hemos estado ligados al tema del agua: la ausencia de la mayor parte de los lagos, cuya presencia en épocas milenarias hizo que el ser humano se asentara en diversos sitios de la Cuenca de México, es el ejemplo de la catástrofe ecológica que hoy enfrentamos quienes vivimos aquí.

Afrontamos una sobreexplotación del acuífero: se extrae más del doble del agua que se recarga de manera natural y esto requiere de encontrar soluciones urgentes. Los acuíferos que nos proporcionan la mayor parte del líquido que consumimos se encuentran visiblemente afectados en toda la Cuenca de México, y nuestra dependencia de sistemas lejanos como el Lerma y el Cutzamala resulta cada día más preocupante.

No es un problema exclusivo de nuestra ciudad ni de nuestro país. Aproximadamente el 78% de la población de América Latina vive en zonas urbanas y cerca del 40% de las tierras alrededor de las fuentes de agua de la región están degradadas. Por ello, millones de personas carecen del acceso al agua potable. Si las fuentes de agua se secan, la crisis del agua se intensificará.

Las instituciones educativas del nivel superior, en tanto germen de conocimiento, deben encontrar lazos que las vinculen permanentemente con la sociedad para alcanzar buenas prácticas, construir un eficiente esquema de gobernanza, así como de instituciones sólidas que provean de normas adecuadas, con la finalidad de generar un marco regulatorio que permita a la gente tener acceso en calidad y cantidad de agua.

El presente libro está integrado por diversas propuestas que analizan la problemática de la gestión del agua y plantean recomendaciones para su urgente atención. Varias aristas quedan manifiestas, explícita e implícitamente, a lo largo de estas páginas, desde el papel del Estado como administrador del agua, la gestión actual del servicio, los aspectos normativos e institucionales de la política hídrica, el desarrollo sustentable como una nueva perspectiva en la gestión pública del agua y la propia corresponsabilidad social en la gobernanza del vital líquido.

Además, debemos comenzar a explorar los ejemplos de transformación hidráulica que se están realizando en el mundo, los avances sorprendentes en la tecnología del tratamiento y en el uso eficiente del agua, de potabilización, del monitoreo de la calidad y la medición del consumo.

Muchos países y ciudades han avanzado considerablemente en el desarrollo hídrico sustentable. Tenemos que aprovechar esas experiencias y aplicarlas a nuestra realidad.

El agua es una necesidad que hay que garantizar, está sustentada como un derecho primordial; nuestras instituciones académicas deben convertirse en el vínculo para establecer alternativas de solución fundamentadas en el conocimiento científico, y el Estado, a través del gobierno, con la participación social tienen la responsabilidad de mejorar las condiciones de la vida colectiva. Aún estamos a tiempo de conseguirlo.

Eduardo Peñalosa Castro y Jaime Valls Esponda

Introducción

Foro “Problemas metropolitanos: acciones para su atención”. Temática: El Agua

Judith Domínguez Serrano, Carlos López Morales,
Delia Montero Contreras, María Perevochtchikova,
Eloísa Domínguez Mariani y Óscar Monroy Hermosillo

El 27 de septiembre de 2018 se realizó en El Colegio de México el *Foro Problemas metropolitanos: acciones para su atención. Temática: Agua*. Académicos convocados por la Universidad Autónoma Metropolitana, el Colegio de México, el Consejo Regional del Área Metropolitana de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, A. C. (CRAM/ANUIES), expusieron los temas que han investigado relacionados con la problemática del Agua. El objetivo general del foro fue discutir los principales problemas del agua que aquejan a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y desde la academia hacer recomendaciones a las autoridades del agua; sus objetivos particulares programaron: a) identificar problemáticas del agua donde los académicos sean partícipes en el diseño e implementación de política pública; b) plantear las propuestas que podrían integrar un libro como producto del foro; c) evaluar, y adecuar en lo posible, los planes de estudio de las IES en función de las propuestas que se hagan. En atención a estos objetivos hubo cuatro mesas de trabajo:

Mesa	Tema	Coordinador(a)	Adscripción
1	<i>Legislación del agua</i>	Judith Domínguez S.	COLMEX
2	<i>Tratamiento y re uso del agua</i>	Carlos A. López M.	COLMEX
3	<i>Abastecimiento de agua potable y redes de distribución</i>	Delia Montero C.	UAM
4	<i>Manejo integral del agua</i>	María Perevochtchikova Eloísa Domínguez M.	COLMEX/UAM

En estas mesas se abrió espacio al diálogo y al intercambio de diversos enfoques para concluir y plasmar en un documento los mensajes claves e ideas generales para proponer al gobierno vi-

gente la reforma de planes y programas de estudio de nivel superior que acerquen a los jóvenes profesionistas a una visión integral y sustentable de la gestión de los sistemas hídricos, incorporando los enfoques y paradigmas del derecho humano al agua. En la clausura del foro se leyeron las conclusiones por mesa, las cuales se resumen a continuación.

Legislación del agua

El agua es un derecho humano, no una mercancía, por lo que existe una exigencia de democratizar las decisiones para hacer valer este principio consagrado en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). La educación puede funcionar como la base prioritaria que haga valer los derechos naturales y universales que le corresponde a cada persona para proteger los recursos naturales, especialmente el agua.

La gestión del vital líquido debe realizarse en el contexto de una planeación hídrico-territorial con enfoque de cuenca, donde las soluciones no estén basadas de manera dominante en la infraestructura sino más bien en la naturaleza (conservación de humedales, ríos, barrancas, captación de agua de lluvia, reforestación, entre otras), enfatizando medidas proactivas y no reactivas, atendiendo mecanismos ecológicos y socio-económicos desde lo regional hasta lo suprarregional, alineando acciones para atender todos los procesos.

En consecuencia, se debe promover la participación ciudadana en la planeación, la elaboración de proyectos, la administración y la supervisión del agua. Actualmente ya existe una participación ciudadana a través de los Consejos de Cuenca, pero es necesario profundizar en estas organizaciones para que sean la base de los planes, proyectos y presupuestos para la gestión del vital líquido en el país. Una reforma estructural para incorporar la participación social en las decisiones del agua, mediante una Ley General del Agua (LGA), resulta necesaria, pues por medio de la participación ciudadana podrá recuperarse a las cuencas del país como generadoras de agua y polos de desarrollo social y económico; esta legislación debe dirigirse a promover mecanismos de contraloría y defensa ciudadana, formas de acceso a la justicia con consecuencias para quienes incumplan con la ley, así como procesos transparentes de autorización de obras o actividades; garantizar que cualquier agua usada, mediante tratamiento, regrese a la naturaleza para aprovecharla nuevamente; considerar que la mayor parte del agua que se utiliza en México es subterránea por lo que su manejo debe tener una sistematización suficiente, coherente y destinada a cumplir los fines consagrados en la CPEUM, para contribuir al desarrollo sustentable de la Nación; reflexionar en la disponibilidad de este recurso natural como el principal criterio para los planes de desarrollo. En conclusión, la LGA debe promover el buen gobierno del líquido para satisfacer las necesidades de la población, del medio ambiente, de la agricultura y de la industria, sin incrementar la importación de cuencas externas, ni la sobreexplotación de los acuíferos, ni la contaminación.

Tratamiento y reuso del agua

La idea de promover un cambio de visión en las políticas públicas que vaya del “tratamiento para disposición” hacia el “procesamiento para reutilización” que, efectivamente contribuya a la disponibilidad de agua y de los subproductos asociados (energía y nutrientes) para los usos humanos, económicos y ambientales, resulta fundamental.

En el corto plazo es posible el tratamiento de aguas residuales domésticas (municipales sin agua industrial) para el riego periurbano (por ejemplo, en el Valle de México tenemos Zumpanago, Tláhuac, Xochimilco, Milpa Alta, Chalco), liberando agua de pozo e impidiendo que desaparezca el suelo agrícola: fuente de alimentos y de recarga del acuífero. En cuatro años podríamos estar tratando hasta 4 m³/s. El costo de traer más agua al Valle está alrededor de \$12/m³ mientras que el tratamiento está alrededor de \$4/m³.

En el mediano plazo es necesario explorar las opciones de reutilización directa e indirecta (mezclando los efluentes procesados a calidad potable con cuerpos de agua superficiales y subterráneos) para optimizar el manejo del agua en beneficio de la población, ya que el tratamiento y la reutilización son transversales al objetivo del desarrollo sustentable (derecho humano al agua y ambiente limpio, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, industria, innovación e infraestructura, y vida de ecosistemas terrestres y marinos). Se debe propiciar la gestión colectiva y participativa a niveles local y regional tomando en cuenta tanto a las tecnologías “no convencionales” (es decir, humedales) como a los enfoques novedosos (separación y tratamiento por tipo de residuos en el punto de origen) para no mezclar aguas que requieren tratamiento diferente, y promover la reutilización in situ evitando el uso de grandes y complejas redes de drenaje.

Es necesario evaluar la infraestructura en conducción y tratamiento de agua residual para la reutilización, evitando mezclar aguas de diferente naturaleza y grado de contaminación para lograr el máximo aprovechamiento al mínimo costo. Asumir una visión integral que vincule el procesamiento y la reutilización de aguas residuales con la normatividad general de residuos (tóxicos o peligrosos), para identificar acciones previas a la disposición de materiales al drenaje que puedan reducir toxicidad y promover su reciclaje, también resulta primordial. Se debe distinguir la operación en escalas urbanas y rurales diferenciadas para estimar la contribución centralizada o descentralizada de los sistemas de tratamiento y de distribución.

Abastecimiento de agua potable y redes de distribución

El abastecimiento de agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) depende únicamente del acuífero y del sistema Lerma-Cutzamala, fuentes que han llegado a su límite porque han propiciado un alto costo ambiental y energético además de inducir una inequitativa distribución del recurso y 40% de pérdidas en la red de agua potable. La extracción ha causado un abatimiento del acuífero que ha dificultado el suministro en calidad y cantidad adecuadas,

y se ha propiciado una dependencia del sistema Lerma-Cutzamala como recurso externo que llega a extremos de precariedad en el servicio. La falta de abasto en cantidad así como la falta de información sobre la calidad del agua potable ha generado que la población tenga una mala percepción del líquido, lo que ha generado un consumo promedio de 390 L *per cápita* al año, que implica un gasto importante para las familias en la compra de agua embotellada. En donde más se consume agua embotellada es en las zonas marginadas y con gran desabasto, como Iztapalapa. Además de que la industria del agua embotellada no es autosustentable, se asocia a la industria petroquímica, a la del transporte de mercancías y a la generación de residuos. Los grandes responsables de esta situación son los organismos operadores que, al no proporcionar información sobre la calidad del agua y no distribuirla adecuadamente, dan pie a que se busque la seguridad hídrica en el agua embotellada.

Otro factor que ha incidido negativamente en el abastecimiento de agua es el hecho de que el desarrollo urbano no se basa en la disponibilidad del líquido contemplado en los Planes Hídricos. En la Ciudad de México, el Sacmex participó en el desarrollo inmobiliario sin control al haber otorgado 4,872 dictámenes hídricos positivos de factibilidad para construcción (4,586 se dieron a construcciones de vivienda y 286 para mega desarrollos de vivienda o comerciales) que representan el 98% de los dictámenes solicitados.

Para garantizar un abasto equitativo, suficiente y de calidad se debe considerar su manejo integral así como ampliar las fuentes de abastecimiento, sus distintos usos, su almacenamiento y su tratamiento a través de los mecanismos de participación ciudadana que son las Comisiones de Cuenca (por alcaldías e inter-alcaldías) que generen sus Planes Hídricos que puedan ser supervisados y auditados con transparencia, y que consideren:

1. La coordinación entre Sacmex y las alcaldías deberá transparentar la información, descentralizar las funciones, agilizar la atención a problemas a través de las Comisiones de Cuenca.
2. El balance de agua por cuenca contemplará: abastecimiento y fuentes, usos (poblacional, agrícola, industrial, comercial), caudal emitido, identificando problemas y soluciones.
3. La cosecha y separación de agua de lluvia, fuente importante de abastecimiento y de protección contra inundaciones, evitará el agotamiento del acuífero y la subsidencia de la ciudad:
 - a. De los 25 ríos que bajan a la Ciudad de México.
 - b. De las principales avenidas y techos para prevenir inundaciones y captar para tratamiento y distribución en la red.
 - c. De las escuelas como centros de cultura y distribución del agua.
 - d. De los conjuntos habitacionales y casas habitación, apoyando decididamente (con financiamiento, tecnología, capacitación, monitoreo) en la generación de sistemas de captación y de uso doméstico.
4. Control de fugas con participación ciudadana en la detección y aviso a las autoridades responsables.

5. Transparentar la información sobre la calidad del agua potable para consumo humano e instalar bebederos públicos, hacer campañas de concientización sobre los impactos ambientales del agua embotellada e incentivar la compra de filtros de agua domésticos.
6. Regular a las empresas que embotellan agua y a los desarrolladores inmobiliarios mediante dictámenes con participación ciudadana, que contemplen medidas de compensación señaladas por la propia comunidad y con carácter de obligatoriedad.

Manejo integral del agua

La gestión del agua debe realizarse en el contexto de una planeación hídrico-territorial con enfoque de cuenca, donde las soluciones no estén basadas de manera dominante en la infraestructura sino más bien en la naturaleza (conservación de humedales, ríos, barrancas, captación de agua de lluvia, reforestación, entre otras), enfatizando medidas proactivas y no reactivas, atendiendo a los procesos ecológicos y socio-económicos desde lo regional hasta lo suprarregional y alineando acciones para atender todos los procesos.

En el caso de la Ciudad de México, es preciso evaluar los efectos ecosistémicos, sociopolíticos y económicos de los trasvases de agua potable desde la Cuenca Alta del Río Lerma o el Valle de Toluca a través del Sistema Lerma-Cutzamala, como de agua residual hacia el Valle de Mezquital. Debido al peso que tienen los Comités de Agua Potable (CAP) como organizaciones comunitarias en la distribución del agua en localidades urbanas y rurales, se recomienda reconocer a dichas figuras como mecanismos de participación social en la gestión del líquido, bajo sus capacidades y decisiones en el servicio; apoyarlos y capacitarlos de forma adecuada; facilitarles los recursos humanos, físicos y monetarios necesarios; y, otorgarles identidad formal ante las instituciones y los usuarios, con la finalidad de lograr un manejo integral del recurso hídrico entre el gobierno y la sociedad. Además de ello, esto complementaría los actuales mecanismos de participación ciudadana como son los Consejos de Cuenca, ya que ninguno aborda el rubro de agua potable.

Las dinámicas regional y local están relacionadas con los flujos de los bienes y servicios ecosistémicos (hidrológicos, de biodiversidad, de formación de suelo, etc.) que se generan y de esta forma actúan a diferentes escalas territoriales (abasteciendo, regulando, y dando soporte). Estas dinámicas territoriales, y más en el contexto del cambio climático, requieren la implementación de acciones a escala metropolitana, considerando los enfoques integradores como Adaptación Basada en Ecosistemas y Gestión Integrada de Agua Urbana, entre otros.

El entendimiento de la dinámica regional y local de la gestión del agua es indispensable para evaluar los flujos de entrada, los procesos internos y de las salidas de la cuenca donde se ubica la zona metropolitana de la Ciudad de México. Lo que necesariamente llevará a conocer el punto en que se tiene afectación no reversible a la disponibilidad y a la calidad. Es necesaria la planeación integral entre las secretarías relacionadas con el territorio (medio ambiente, agricultura, Sacmex, las alcaldías) mediante la participación de la academia y las organizaciones sociales.

Resulta fundamental transparentar la demanda, las fuentes de abastecimiento y los usos del agua en la Ciudad de México para fortalecer la gobernanza con la finalidad de desarrollar medi-

das de acción integrales, que combinen, no solo medidas técnicas, sino de educación, desarrollo científico, y acción social. La gestión del agua en tierras de propiedad colectiva (comunidades y ejidos), que son 90% del Suelo de Conservación de la Ciudad de México, es tarea comunitaria; de su empoderamiento depende el futuro de la conservación de zonas de recarga para la Ciudad de México. Asimismo, la participación ciudadana es esencial para la gestión en las colonias, para lo cual deberán activarse los espacios existentes por la legislación mexicana como consejos y comités de cuenca, pero que no funcionan en la actualidad, con la finalidad de que la ciudadanía tenga voz y voto en las decisiones y acciones que se desarrollan a nivel de cuenca.

La diplomacia en la “s” de la UNESCO

Blanca Jiménez Cisneros

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) es una agencia especializada, multidimensional, cuyo mandato es contribuir a la paz y al desarrollo sostenible mundial por medio de la educación, las ciencias (naturales y sociales), la cultura y la comunicación. Para ello, cuenta con una gran diversidad de programas, uno de ellos es el Programa Hidrológico Internacional (PHI) que abordaré a continuación

Programa Hidrológico Internacional

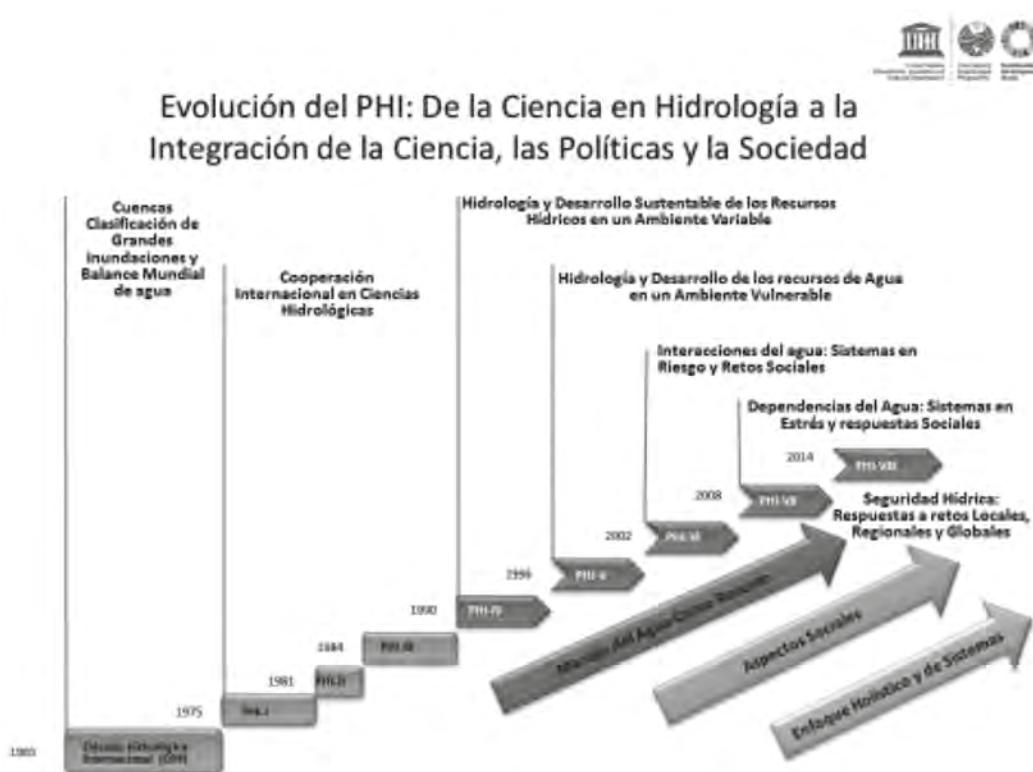
El PHI fue creado en 1975, al concluir el Decenio Hidrológico Internacional (DHI), con el objetivo de dar continuidad a los estudios realizados durante el periodo de 1965-1974. Actualmente es el único programa de cooperación científica intergubernamental en el sistema de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) dedicado al manejo del agua. El Programa está integrado por los 195 Estados Miembros de la UNESCO y cuenta con un Consejo Intergubernamental constituido por 36 Estados, cuya labor consiste en planificar, definir las prioridades y supervisar la ejecución del Programa. Para ello, el Consejo se basa en tres pilares: conocimiento, recopilación de datos y coordinación.

El conocimiento es generado por la “familia UNESCO del Agua”, que comprende 55 cátedras del agua y 30 centros regionales e internacionales (Categoría 2) que se imparten o están ubicados en 52 países. Uno de ellos es el Instituto UNESCO-IHE para la Educación Relativa al Agua, cuya misión es fortalecer las capacidades en el sector hídrico para lograr el desarrollo global sostenible. Los datos locales son recolectados y analizados por el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, que cada año publica el *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*, el cual ofrece un panorama global sobre el estado del agua dulce en el planeta y brinda herramientas para implementar el uso sostenible de los recursos hídricos. La coordinación es llevada a cabo por la Secretaría del PHI, la cual hace posible que los 195 Estados trabajen juntos a través de la comunicación directa con los embajadores de estos países en las oficinas sede de la UNESCO en París, así como con los grupos de expertos y los comités nacionales del PHI en estas naciones. De

esta manera, se logra una comunicación estrecha entre los tomadores de decisiones y los grupos de científicos alrededor del mundo.

A lo largo de estas décadas, el Programa ha ido evolucionando hasta llegar a su octava fase (PHI-VIII), en la que tiene como objetivo mejorar la seguridad hídrica, dando respuesta a los desafíos locales, regionales y mundiales (Figura1). Para ello, cuenta con 3 ejes: 1) Movilizar la cooperación internacional para mejorar el conocimiento y la innovación; 2) Reforzar la interfaz entre la ciencia y la política; 3) Desarrollo de las capacidades institucional y humana (Figura 2).

FIGURA 1
Evolución del Programa Hidrológico Internacional (PHI)



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2
Áreas focales de la Fase VIII del PHI



Fuente: elaboración propia.

Aguas transfronterizas

La diplomacia científica juega un papel muy importante para mejorar la comunicación entre los gobiernos, con el objetivo de solucionar los problemas que enfrenta la humanidad. En el campo del agua, esta diplomacia es vital debido a que 21 países se encuentran por completo en cuencas internacionales, 148 países comparten cuencas con dos o más países, 592 acuíferos son transfronterizos e involucran a dos o más naciones, y 276 ríos o lagos también lo son. Esto significa que 90% de la población mundial comparte el agua (Figura 3). La diplomacia del agua es un proceso dinámico que busca desarrollar soluciones razonables, sostenibles y pacíficas para distribuir al agua y manejarla por medio de mecanismos de cooperación y colaboración entre los países y al interior de ellos.

FIGURA 3
Mapa con sólo 50% de los acuíferos transfronterizos

¿Por qué se requiere cooperación transfronteriza?



Fuente: elaboración propia.

Seguridad hídrica

Uno de los retos más importantes del siglo XXI es la seguridad hídrica. En 1994, este término fue introducido por primera vez en el *Informe sobre Desarrollo Humano*. En 2010, el Consejo Inter gubernamental del PNUD adoptó una definición elaborada por científicos y consensuada por gobiernos: “la capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas, así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos (inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terreno, y sequías)”. Esta es la única definición aprobada a nivel internacional y que conjunta aspectos técnicos y políticos.

A pesar de ello, en 2013, ONU-Agua, que es un mecanismo de coordinación de las Naciones Unidas, en *Water Security and the Global Water Agenda*, definió la seguridad hídrica como: “la capacidad de una población para resguardar el *acceso sostenible* a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el *sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles*; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un *clima de paz y estabilidad política*”. El problema de esta definición es que pareciera que implica dos asuntos: por un lado, limitar el crecimiento poblacional y, de ser así, ¿quién tomaría esa decisión?; y por otro lado, ¿en caso de que haya un problema por el agua que afecte la paz y la estabilidad social, el país puede ser intervenido? La

falta de diplomacia en la elaboración de esta definición fue la causa de que no fuera adoptada por los países a nivel internacional.

Esto es algo grave, debido a que el 80% de la población mundial está expuesta a altos niveles de inseguridad hídrica, de seis a ocho millones de personas mueren por desastres hídricos al año; 2 500 millones de personas carecen de acceso a agua potable y 4 500 millones de acceso a saneamiento (de acuerdo con los indicadores para los Objetivos de Desarrollo Sostenible), y el 85% del agua residual se descarga sin recibir tratamiento alguno. Además, para 2030, 50% de la población mundial vivirá en zonas con estrés hídrico (regiones donde la demanda de agua es mayor a la disponibilidad).

Además, los conflictos políticos y sociales, así como los fenómenos naturales, también impactan en la seguridad hídrica, debido a que comprometen físicamente la infraestructura para los servicios (presas, redes de suministro, plantas de tratamiento, canales de riego, etcétera), al igual que la integridad del agua. Distintos grupos extremistas, terroristas y Estados rebeldes han cometido atentados contra la infraestructura pública, incluidas presas, y las medidas de protección son muy costosas. De hecho, algunos especialistas consideran que, en los siguientes 10 años, el agua será usada como un arma entre los países y al interior de los estados para ejercer presión en las poblaciones y grupos separatistas. A pesar de ello, a la fecha, la UNESCO ha censado muchos casos en los que el agua es un tema de cooperación, en tanto que en muy pocos es un tema de guerra.

Actualmente, la órbita hídrica forma parte del concepto de seguridad, debido a que es fundamental para asegurar la paz y ofrece oportunidades de cooperación y de colaboración para atender retos en forma multidisciplinaria y transsectorial, para mitigar riesgos potenciales y administrar de forma continua el desarrollo y el crecimiento de las sociedades.

Diplomacia del agua (hidrodiplomacia)

La diplomacia del agua difiere de la cooperación en que en esta última el objetivo es el agua, mientras que en la diplomacia el agua es un medio para obtener los fines, mismos que van más allá del recurso y abarcan la estabilidad, la paz y la cooperación; incluye medidas de Estado pero también acciones con otros actores para resolver de forma pacífica conflictos (aunque sean emergentes), entre Estados y al interior de los mismos, y facilitar la cooperación en torno a la disponibilidad del líquido, su concesión y su uso. Para ello, se requiere de: 1) Experiencia en cooperación (decisiones basadas en conocimiento, datos e información); 2) Fuerte voluntad política (capacidad institucional y cooperación en campo), y 3) Mecanismos de financiamiento (involucramiento de terceras partes y mecanismos legales existentes (Figura 4).

El proceso que sigue la diplomacia del agua consiste en: identificar factores que afectan la cooperación, investigar en campo y en gabinete, realizar talleres y grupos de trabajo entre las partes, desarrollar un marco multinivel para la diplomacia y establecer mecanismos formales de cooperación (Figura 5).

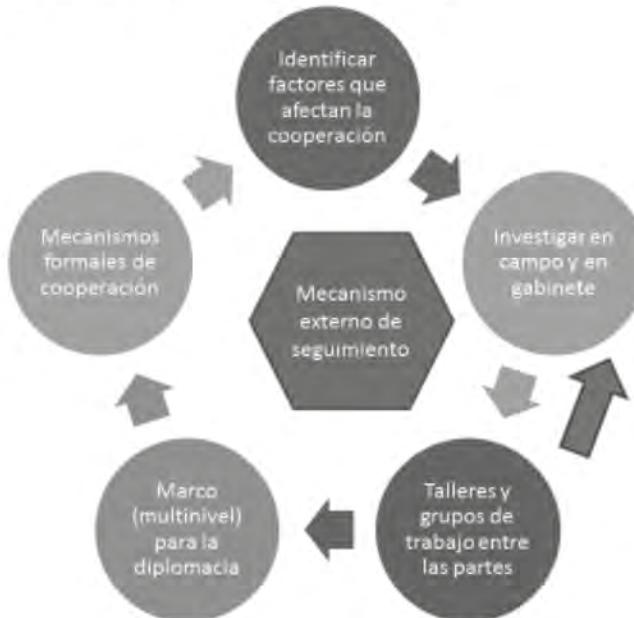
FIGURA 4
Elementos necesarios para la diplomacia del agua



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 5
Proceso para llevar a cabo la diplomacia del agua

Proceso para la diplomacia del agua



Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo esta hidrodiplomacia, el PHI cuenta con el Programa PCCP (Del Conflicto Potencial al Potencial de Cooperación), el cual busca facilitar el diálogo multinivel e interdisciplinario para promover la paz, la cooperación y el desarrollo relacionados con la gestión de los recursos hídricos, con énfasis en las relaciones transfronterizas. También se apoya en el Internationally Shared Aquifer Resources Management Programme (ISARM), el cual reúne inventarios y caracterización de acuíferos transfronterizos, documenta buenas prácticas, también desarrolla criterios y herramientas para el manejo de aguas transfronterizas. Asimismo, cuenta con el Water Information Network System (WINS), el cual incluye datos con inmunidad diplomática, brinda un nivel de acceso público determinado por los países y tiene la posibilidad de cargar datos por diferentes partes interesadas que cuenten con autorización. Otra de las herramientas con las que cuenta el PHI es la Ley de Acuíferos Transfronterizos, la cual fue adoptada por la Asamblea General de la ONU en 2008 y es resultado de varios años de trabajo interdisciplinario con abogados de la International Law Commission de la ONU e hidrólogos de la UNESCO para crear una plataforma y un lenguaje común de trabajo.

El PHI desarrolla varios proyectos de hidrodiplomacia como el Governance of Groundwater Resources in Transboundary Aquifers y el Protection and Sustainable Use of the Dinaric Karst Transboundary Aquifer System; algunos ejemplos de éxito son el acuerdo firmado por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay para mejorar la gestión del Sistema Acuífero Guaraní; la realización de un mecanismo de consulta para coordinar, promover y facilitar el manejo racional del Sistema Acuífero del Noroeste del Sahara, y el mecanismo de cooperación para el Sistema Acuífero Transfronterizo Stampriet, que es compartido por Botsuana, Namibia y Sudáfrica. Estos ejemplos demuestran que la diplomacia es vital para alcanzar soluciones a problemas hídricos transfronterizos.

Conclusiones

El uso de la diplomacia en la resolución de conflictos entre los Estados y al interior de éstos implica que los especialistas actúen como mediadores con experiencia e influencia diplomática, promuevan el diálogo, convenzan a las partes sobre los beneficios y establezcan redes internacionales de alto nivel multidisciplinario y de multiactores.

De ello se desprende que el nuevo papel para la ciencia es el de guiar las decisiones de los Estados; mientras tanto, se exige que el nuevo papel para la diplomacia es que sea mucho más global, que esté ligada a los recursos y al ambiente, que sea basada en la ciencia y que ayude a la negociación de soluciones. En resumen, la diplomacia en la "s" de la UNESCO debe ser una diplomacia basada en la ciencia que ayude solucionar los grandes problemas que enfrenta la humanidad.

Capítulo 1

Legislación del agua

Hacia una nueva legislación del agua en la Ciudad de México

Pedro Moctezuma Barragán

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines

Artículo 4º constitucional

El momento legislativo del agua, tanto a nivel general como de la Ciudad de México

El actual modelo de gestión del agua está llegando a sus límites, requerimos transformarlo. El futuro próximo estará marcado por el debate en torno a la legislación del agua: tanto la Ley General de Aguas como la Ley de Aguas que la Ciudad de México necesita. El buen gobierno del agua debe emanar de un cambio de paradigma en su gestión. Pasar de la dupla extracción-desecho a la gestión de ciclos naturales. Las reformas a los artículos 1 (2011), 2 (2001) y 4 (2012) de la Constitución exigen un nuevo marco legal e institucional para la gestión del agua, centrado en los derechos y en la democratización de la toma de decisiones para lograr su acceso equitativo y sustentable. Para ello hace falta un modelo de gestión hídrica territorial adecuado a este fin, acompañado de la coadministración ciudadana comunitaria.

La reforma al Artículo 4º Constitucional del 8 de febrero de 2012 exigió al legislativo aprobar una Ley General de Aguas antes de 360 días. Han pasado cinco años del vencimiento de dicho plazo, debido a que las LXII y LXIII legislaturas del Congreso de la Unión incumplieron dicho periodo. Por otro lado, el 17 de septiembre de 2018 entró en vigor la Constitución de la Ciudad de México que opta por la gestión hídrica pública comunitaria y prohíbe tanto la privatización como el lucro con el agua, y asimismo en su transitorio 37 crea la Contraloría Ciudadana del Agua de la Ciudad de México. Claudia Sheimbaum, como un lineamiento de su gobierno, firmó la Agenda del Agua que le fue presentada por la Coordinadora Nacional Agua para Todos Agua para la Vida en ésta capital.

Una vez aprobada la Ley General de Aguas será importante contar con la legislación en esta materia que tanto necesita la Ciudad de México. Vivimos una coyuntura favorable para ello, el ánimo social comunitario crece, se enriquecen las propuestas, los movimientos por el agua, el territorio y la vida se fortalecen y se articulan en todo el país, con creciente claridad sobre la necesidad de propuestas legislativas. Hay por otro lado, sensibilidad del equipo de transición del nuevo gobierno (2018-2024) para evitar las inercias del pasado y crear una nueva institucionalidad del agua.

Como botón de muestra, Andrés Manuel López Obrador, presidente electo de México, se comprometió a revertir los decretos de supresión de las vedas dictada por Enrique Peña Nieto el 5 de junio de 2018, en cuanto tome posesión. Ya se dio un primer paso alentador, ya instalada la LXIV Legislatura, el 5 de septiembre de 2018 el presidente de la Mesa Directiva del Senado de la República, presentó la reforma a la Ley de Aguas Nacionales (LAN) para prohibir las concesiones para construcción y operación de obras hidráulicas, así como acciones de comercialización del servicio de agua y el lucro en la gestión del agua, derogando el título que se agregó en la reforma de 2004.

Lograr la sustentabilidad con equidad, así como estrategias frente al cambio climático va a requerir de un gigantesco esfuerzo de colaboración ciudadana y gubernamental. Los rezagos son grandes, México importa 50% de sus alimentos y se ha desmantelado la infraestructura de riego, marginando ejidos y comunidades; 40% de las cuencas evaluadas por la Auditoría Superior de la Federación (ASF) en 2014 estaban contaminadas con sustancias diversas, incluyendo metales tóxicos y sustancias radiactivas; la ASF reportó 191 cuerpos superficiales de agua en serio proceso de deterioro. Mecanismos fallidos de mercado, como “el que contamina paga”, “el agua paga el agua” niegan la función del Estado como garante del derecho humano al vital líquido. El grave déficit de aguas superficiales hace que 60 millones de personas dependan de acuíferos sobre-expLOTados. Un sistema tarifario que termina dirigiendo el agua hacia los usuarios de mayores ingresos y dejando a quienes pagan tarifas básicas esperando la pipa, así como la privatización del acceso al agua por la vía de la inducción masiva de agua embotellada, son otras consecuencias del actual marco legal.

La LAN incurrió en un severo sobreconcesionamiento y acaparamiento del vital líquido. El 70% de las concesiones son acaparadas por el 7% de los concesionarios; éstas se han ofrecido nerviosamente al extractivismo y el lucro: minería tóxica, *fracking*, cerveceras de exportación en zonas de extremo estrés hídrico, entre otros. La especulación inmobiliaria apoyada en dictámenes de factibilidad en zonas carentes de agua ha disparado la expansión urbana no planeada, afectando a los habitantes de siempre. Gran parte de la problemática hídrica se puede solucionar si se cambia el manejo hidropolitano basado en el paradigma “extracción-desecho”, que exige uso intensivo de energéticos, se basa en decisiones centralizadas y en dinámicas que fragmentan el entorno natural y comunitario, se extraen recursos de modo destructivo y se generan residuos contaminantes por encima de la capacidad de carga de los ecosistemas, rompiendo el metabolismo natural. Este paradigma se alimenta de una lógica especulativa y de un crecimiento expansivo. Resulta necesario un cambio de paradigma para pasar a una gestión de ciclos naturales en las cuencas, propiciando métodos que consigan reducir el consumo de energéticos y la genera-

ción de gases de efecto invernadero, se proponen instrumentos y políticas de contención de la urbanización caótica, así como de las megaobras dañinas.

Lo anterior es imposible sin un cambio cultural profundo y sin la construcción de nuevos sujetos de la sustentabilidad. Las necesidades y saberes locales merecen tener facultades para formar parte de los mecanismos de toma de las decisiones que afectan su acceso al derecho humano al agua. Ello implica que los habitantes de la ciudad estén organizados para participar en instancias de coadministración para gestionar el líquido a distintos niveles. Dado que el Artículo 4º constitucional da a la participación ciudadana coadyuvancia, junto con los tres niveles de gobierno para garantizar el *"acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible"*, la Coordinadora Nacional “Agua para Todos, Agua para la Vida” hizo pública una iniciativa ciudadana de Ley General de Aguas en febrero de 2013, para cumplir con el mandato constitucional, lo cual sólo será posible bajo principios democráticos, de planeación consensuada desde el nivel local, con transparencia y procedimientos de rendición de cuentas.

Uno de los principales indicadores inmediatos del ritmo de avance nacional será el grado en que se abran las puertas a la participación ciudadana para contribuir a la solución a las crisis del agua, por su vital relevancia, hacemos votos por el avance hacia la Ley General de Aguas que México necesita, la cual permitiría una nueva institucionalidad transformativa del agua. ¿Cómo se podría reflejar esto en la Ciudad de México y a nivel metropolitano en la Cuenca de México?

Cuatro estrategias para la gestión integral del agua en la Cuenca de México

Es necesario crear el marco legal e institucional que permita asumir la dimensión de cuenca y priorizar los requerimientos del agua para los ecosistemas y como derecho humano fundamental, o “derecho llave”, del que dependen otros derechos. Para ello se proponen cuatro estrategias: a) Gestión de servicios hídrico ambientales; b) gestión de aguas pluviales; c) gestión de ciclos locales de tratamiento y reuso de aguas residuales, y d) acceso equitativo.

- a) Gestión de servicios hídrico ambientales: cuidar bosques y áreas de recarga, rescatando ríos, humedales y otros cuerpos de agua, conservar y profundizar los lagos, dejar de considerar a los ríos y barrancas como “infraestructura de drenaje”, defender y expandir las zonas chinampas, y fortalecer el manejo de picos de lluvia en la cuenca alta. Ello implica fortalecer el manejo comunitario del agua. Se requiere poner fin a los pozos profundos y ultraprofundos, que causan una subsidencia cada vez más grave. Promover la suspensión inmediata del proyecto de pozo ultraprofundo en el Cerro de la Estrella.
- b) Gestión de aguas pluviales: aprovechamiento máximo de aguas pluviales. Captación en cuerpos de agua que funcionarían como reservorios para almacenar hasta 300 millones de m³ de agua anuales, además de complementar con programas público comunitarios en mercados, escuelas y domicilios (60 millones de m³). Poner fin a la mezcla de aguas

pluviales y residuales para su expulsión fuera de la cuenca. Sacmex dedica 1.5 mil millones al Túnel Emisor Oriente (TEO) y al Canal General, estos recursos deben ser orientados a la profundización del Lago de Tláhuac-Xico. Se propone la conversión de lagunas someras de regulación en reservorios de mayor profundidad.

- c) Estrategia de ciclos locales de tratamiento y reuso de aguas residuales: es importante que el agua potable sea dirigida al uso personal doméstico, mientras que las de usos agrícolas o industriales puedan nutrirse de aguas residuales tratadas; aumentar el tratamiento y reuso local de aguas residuales. Se debe lograr que las aguas residuales de uso personal doméstico sean biodegradables. Hay que evitar mezclar aguas residuales industriales con las de uso doméstico y ser llevadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales, causando afectaciones, urgentes políticas de descarga cero para la industria aplicadas con un programa de transición.
- d) Acceso equitativo: superar la marcada inequidad entre las alcaldías para cumplir con el mandato constitucional de acceso equitativo, dotar a cada alcaldía de agua asociada a su número de habitantes y el volumen standard de consumo personal, para ello hace falta un rediseño de los sistemas de almacenamiento y de distribución, la instalación inmediata de macromedición y un cronograma que inicie progresivamente a nivel de la ciudad y avance hacia lo local. Para cuidar la calidad del agua hay que investigar todos los parámetros en la NOM y transparentar los datos. Hay que continuar el Programa de Detección y Supresión de Fugas que permite renovar la red introduciendo tubería flexible, reducir el consumo suntuario y adoptar técnicas ahorradoras.

Algunas propuestas para la gestión sustentable del agua pluvial y residual en la Cuenca de México¹

Respetando la Reforma al Artículo 4º, el marco legal e institucional que norma la gestión de ciclos del agua en la Ciudad de México y en la metrópoli, la nueva legislación del agua debe apoyar la gestión sustentable, promoviendo, entre otras cosas el aprovechamiento máximo de aguas pluviales. Ello a través de obras de mayor tamaño como los lagos; obras micro, como cisternas familiares o escolares, e inducir la recarga de los acuíferos con más obras de retención de agua y suelos en la cuenca alta y media, mediante presas de gavión, represas y ollas de captación.

En materia de captación de agua de lluvia, por su dimensión los cuerpos de agua funcionarían como principales reservorios. Es posible habilitar lagos y presas para captar hasta 301.5 millones de metros cúbicos al año de aguas pluviales (lo que significa 11.9 m³/s). Destacan el

¹ Para las propuestas para la gestión integral del agua en la Ciudad de México, a partir del inciso 3, lo relacionado con la gestión equitativa en el inciso 4, y las propuestas de instancias e instrumentos del inciso 5, están retomadas del estudio: Moctezuma, Pedro (2017). "Como satisfacer los requerimientos de agua sin incrementar la importación de cuencas externas ni la sobreexplotación de los acuíferos" en Eibenschutz, Roberto y Lavore, Carlos (coords.) *La Ciudad Como Cultura. Líneas Estratégicas de Política Pública para la Ciudad de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Gobierno de la Ciudad de México. Pp.343-357 de donde contienen citas en extenso.

Lago Tláhuac-Xico, proyecto aprobado el 15 de abril de 2010, en la Tercera Reunión Ordinaria del Consejo de Cuenca del Valle México, con capacidad para 66 millones de m³, manejando 113 millones de m³ al año (3.6 m³/s) y el Lago San Gregorio con capacidad para 3.9 m³/s. Además se requiere la conversión de lagunas someras de regulación en reservorios de mayor profundidad, entre ellos conviene citar a San Lorenzo Tezonco, Ciénega Chica y Grande, Miramontes, Colector Churubusco y Gran Canal, entre otros.

En una iniciativa de cuenca, en convenio con el Estado de México, sería posible continuar manejando la laguna de regulación de Casa Colorada, cuyo aporte de aguas proviene de la Ciudad de México, y donde hubo una coinversión entre el el gobierno capitalino, Conagua y el gobierno del Estado de México para convertirla en reservorio y así manejar 2.3 m³/s. Otra propuesta a nivel de cuenca sería, en convenio con el Estado de México, potabilizar alguna de las presas, como Madín, Concepción o Guadalupe con la posibilidad de contar con hasta 4.6 m³/s. Cabe señalar que existen otras fuentes, como el Río Magdalena que cuenta con 1 m³/s y diversos manantiales que aportan actualmente 0.8 m³/s. Asimismo, en general, las presas Gavión y Ollas de Agua en cuenca alta podrían infiltrar más de 36 millones de m³.

Por otro lado, se requiere reducir las fugas de alrededor de 11 m³/s, medida que daría continuidad al Programa de Detección y Supresión de Fugas llevado a cabo entre 1998 y 2000, y eliminar la sobreexplotación de los acuíferos que provocan la grave subsidencia del suelo en la ciudad, ya que ésta ocasiona quiebres continuos de la red y en la infraestructura. Se propone una meta de reducción de fugas en 30% mediante el cambio a tuberías flexibles. Esta meta, más la sustitución de tuberías de asbesto y ductos con más de 75 años de antigüedad en las alcaldías Cuauhtémoc, Benito Juárez y Miguel Hidalgo, significaría un gran avance en la ciudad.

La Cuenca de México actualmente exporta 32 m³ por segundo de aguas residuales, mezcladas con 20 m³ por segundo de agua de lluvia que es expulsada mediante la misma red. A causa del cambio climático han crecido los volúmenes de lluvia por episodio, con precipitaciones extremas muy por arriba de los 30 mm. Son necesarios sistemas cerrados de flujo constante, separados de la captación de picos de lluvia que pueden ser canalizados y almacenados independientemente. Esta red evitaría asimismo demás que alteran los procesos en las plantas de tratamiento, rompen el tiempo en residencia e impiden el tratamiento adecuado del agua. Se requiere también lograr que las aguas residuales de uso personal doméstico sean biodegradables, ya que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS) trabajan estrictamente con base en la filtración y la biodegradación. Cualquier otro contaminante sale intacto de la planta y puede incluso dañar a los microorganismos (aerobio o anaerobio) que hacen posible la biodegradación.

Las aguas residuales industriales están siendo mezcladas con las de uso doméstico y llevadas a las PTARS, lo que ocasiona afectaciones, por ello un Programa de Transición (pensado a entre 5 y 15 años) lograría que las industrias implementen políticas de descarga cero. La industria estaría reciclando un volumen fijo de agua, con ajustes periódicos. Las aguas residuales industriales quedarían fuera del sistema de drenaje. Sin embargo hoy, a la única fuente sustentable de agua con la que contamos la estamos literalmente "mandando por un tubo", a costos desorbitantes. La Cuenca de México requiere dejar de depender de trasvases y dejar de minar sus acuíferos. Al

cerrar los ciclos hidrológicos se ahorraría energía y recursos financieros. Este cierre garantizaría, además, la disposición de agua para el futuro.

Hacia el acceso equitativo

El acceso equitativo al agua de calidad debe ser una prioridad tanto en la nueva legislación de la Ciudad de México como en las políticas públicas. Se requiere realizar obras de beneficio social y ambiental, basadas en planes consensuados con criterios de equidad y de sustentabilidad. En el diseño de la política de acceso al agua en la Ciudad de México debe existir un enfoque congruente con el derecho humano al agua, que permita garantizar la equidad en el acceso al líquido y en la calidad de éste, de acuerdo al Artículo 4º constitucional y a las obligaciones internacionales de México como firmante del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC).

Superar la marcada inequidad entre las alcaldías es indispensable. Es necesario garantizar un acceso equitativo de los recursos hídricos entre el poniente y el centro de la ciudad, y el sur y el oriente: en Cuajimalpa, Miguel Hidalgo, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuahtémoc y Benito Juárez las zonas residenciales tienen una dotación de agua por habitante de más del doble en relación a las alcaldías del sur y el oriente (Tláhuac, Iztapalapa, Xochimilco y Milpa Alta), a las que les asignan menos de la mitad del vital líquido. El caso extremo es Cuajimalpa, que cuenta con tres veces más agua por habitante que Tláhuac, y ello sin referir a realidades locales, donde la diferencia en el acceso al agua entre zonas residenciales de lujo y barrios y colonias marginadas es mucho mayor.

Paradójicamente, según los datos disponibles, la dinámica regresiva de disminución en la dotación de agua por habitante *afecta principalmente a las delegaciones proveedoras de agua*. Por su régimen de lluvias y su grado de permeabilidad, las alcaldías del sur, Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco y Tláhuac, juegan un papel central en la provisión de agua para la Ciudad de México, éstas, sin embargo, cuentan con menor dotación por habitante/día y han sufrido las mayores reducciones. Al oriente, la Sierra de Santa Catarina en Iztapalapa juega un importante papel al proveer del recurso hídrico a la ciudad, mientras que sus 625,000 habitantes sufren escasez extrema. Hace falta un rediseño del sistema de almacenamiento y distribución del agua para toda la Ciudad de México y lograr la equidad entre todas las zonas a partir de un criterio que garantice la misma relación de acceso por habitante/día a todos sus ciudadanos, para cumplir con el mandato constitucional al acceso equitativo. Ello hace necesario que cada alcaldía cuente con una dotación de agua asociada a su número de habitantes y el volumen estándar de consumo personal.

La equidad en la gestión del agua implica atender la mala calidad del agua. No se investigan todos los parámetros en la NOM, por lo que se requiere aumentarlos de 12 (de los cuales Sacmex informa) a 46 parámetros, así como transparentar los datos; hace falta asimismo detectar y controlar la presencia de metales pesados, virus, bacterias, parásitos y medicamentos; suprimir la extracción de aguas fósiles provenientes de pozos profundos y ultra profundos; suprimir la sobre extracción que provoca los hundimientos diferenciales que causan fracturas en las tuberías,

filtraciones y contaminación; evitar los problemas de contaminación con algas (por ejemplo, la geosmina) causados por los trasvases.

Para lograr la equidad en el acceso al agua se podría elaborar un cronograma, que comenzaría entre alcaldías, seguiría hacia coordinaciones territoriales y de ahí a pueblos, barrios y colonias, para pasar a las unidades habitacionales y las manzanas, terminando finalmente entre los hogares. Para cumplir este fin se instalarían macro, meso y micro medidores. Lo anterior implica aplicar el máximo de los recursos disponibles para lograr el cumplimiento progresivo del derecho humano al agua,² vía políticas fiscales y presupuestales progresivas, criterios objetivos de costo-beneficio, y la prohibición del lucro en la gestión y la administración del agua. Las políticas tributarias anteriormente mencionadas comienzan por el cumplimiento del cobro de impuestos, derechos y de aprovechamientos a los grandes consumidores de agua. En el caso de los derechos para el uso de aguas nacionales, por poner un ejemplo, la Auditoría Superior de la Federación en el año 2013, sólo el 4.8% de los titulares pagan los derechos a los que están obligados (usuarios, industriales y público urbano).³

Combatir inequidades y priorizar el cumplimiento del derecho humano al agua de acuerdo a la Constitución y a los instrumentos internacionales aprobados por México, como la Observación 15 del Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC, 2002) demanda restaurar los niveles históricos de recursos disponibles para obras locales de agua y saneamiento, priorizando éste conceptos sobre las megaobras hidráulicas que se están financiando a costa de éstas e impulsar la gestión integrada del agua mediante cuatro estrategias pertinentes.

Pueblos originarios

El nuevo paradigma para la gestión del agua asignaría a los pueblos originarios facultades para participar en la planeación, el presupuesto, la ejecución, la cobranza y la administración, las políticas tarifarias y la rendición de cuentas. Su consentimiento sería requisito para cualquier autorización, vigilancia e inspección. Tendrían los siguientes atributos: gestión planificada y localmente consensuada de sus sistemas de agua y de gestión de áreas de importancia hídrica ambiental; consentimiento libre, previo e informado para cualquier obra o actividad que les afectare; monitoreo de calidad, acceso equitativo y de usos no prioritarios. Manejarían proyectos locales como los sistemas de canales, manantiales, represas, sistemas de agua potable, drenaje, plantas de tratamiento e infraestructura hidroagrícola; restauración, manejo y vigilancia de zonas de importancia hídrica: bosques, chinampas, zonas de recarga, lagos y humedales; gestión de aguas tratadas para restauración hídricoambiental y soberanía alimentaria.

² Requerimiento del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales ratificado por México en 1981.

³ Auditoría Superior de la Federación (2014). Manejo integral del sistema hidrológico, Auditoría de Desempeño.

Instancias e instrumentos en una nueva legislación del agua para la ciudad

La Iniciativa Ciudadana de Ley General de Aguas propone instancias e instrumentos apropiados a nivel local, municipal, de cuenca y nacional para cumplir con el derecho humano al agua.

Instancias

En el caso de la Ciudad de México y su área metropolitana, podrían contar con instancias a distintos niveles basadas en el principio de subsidiariedad para la distribución y la calidad del agua. Este principio permite que los grupos locales cuenten con los atributos y recursos indispensables para gestionarla con eficacia, de tal modo que sólo sea necesario acudir a los niveles superiores para resolver problemas cuya solución no quede bajo la competencia del nivel local. Ello hace necesaria una legislación que les dé facultades para participar en la toma de decisiones:

- 1º Comité Local del Agua, formado en pueblos, colonias, barrios u unidades habitacionales.
- 2º Junta del Agua Coadministrada en cada Alcaldía, vinculada a la Comisión de Cuenca.
- 3º Consejo de Administración del Agua de la Ciudad. La función esencial de este consejo consistiría en dar acceso equitativo al agua de calidad en toda la ciudad y al saneamiento.
- 4º Coordinación Metropolitana del Consejo de Cuenca.
- 5º Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua de la Ciudad de México.

Instrumentos

1. Agenda del Agua de la Ciudad de México
 - a. Agua de calidad para todos.
 - b. Restauración de ecosistemas.
 - c. Agua para seguridad y soberanía alimentaria.
 - d. Eliminación progresiva de la dependencia de fuentes no sustentables (acuíferos sobre-expLOTados y trasvases).
 - e. Prevención de inundaciones, hundimientos, grietas y socavones.
2. Plan Rector del Agua, vinculante, a ser consensuado desde el nivel local (colonia, barrio, unidad habitacional, delegación): políticas, obras, presupuestos, responsables y calendarios para:
 - a. Eliminación progresiva de fugas.
 - b. Reordenamiento del sistema de distribución para garantizar que el uso personal sea preferente y equitativo.
 - c. Instalación de bebederos y baños dignos y gratuitos en escuelas, edificios y plazas públicas.

- d. Aprovechamiento máximo de aguas pluviales (lagos, cisternas, represas, infiltración).
 - e. Tratamiento y reuso local de aguas residuales.
 - f. Protección y restauración de áreas de importancia hídrica.
 - g. Monitoreo de acceso y calidad.
3. Dictamen de Factibilidad Hídrica: obras de construcción con una superficie mayor a 2,000 m² requerirían de un dictamen de factibilidad hídrica emitido por un panel de especialistas sin conflictos de interés. Las instancias solicitantes debieran demostrar que no requerirían de agua del sistema de agua potable, ni tendrían la necesidad de descargar aguas pluviales o residuales al sistema de drenaje.
 4. Dictamen de Impacto Socio-Hídrico emitido por un panel de especialistas sin conflicto de interés, nombrados por el Consejo de Administración Ciudadana del Agua, quienes certificarían que cualquier obra o actividad que requiera Manifiesto de Impacto Ambiental, no pondría en riesgo el derecho humano al agua de los actuales o futuros habitantes de la CDMX. Tendrían que constatar, además, el consentimiento previo, libre e informado de los pueblos originarios potencialmente afectables por la obra o actividad.
 5. Dictamen de Costo-Beneficio Socio Hídrico ambiental como requisito obligatorio para obtener la autorización de cualquier obra hídrica. Lo emitiría un panel de especialistas sin conflicto de interés, nombrados por el Consejo de Administración Ciudadana del Agua, ante el cual los solicitantes tendrían que demostrar que la tecnología y diseño de su proyecto lograría los mayores beneficios y menores costos sociales e hídrico ambientales a lo largo de la vida útil del proyecto.
 6. Declaratoria de la Ciudad de México como “Zona en Extremo Estrés Hídrico”. No se permitiría la autorización de nuevos proyectos de urbanización mientras que la CDMX sufra de dos o más de las siguientes condiciones: abatimiento de aguas subterráneas mayores a 40 cm/año; inundaciones crónicas; agua “potable” no apta para consumo humano; zonas sin acceso continuo al vital líquido.
 7. Permisos condicionados para usos no prioritarios de agua potable: el acceso al agua del sistema de agua potable de la Ciudad de México para fines no prioritarios (industriales, construcción, embotelladoras, etc.) requeriría de acuerdos firmados en donde se reconozca la no disponibilidad del recurso, y por lo tanto la necesidad de eliminar progresivamente los volúmenes por utilizar.
 8. Permisos para descargas: los puntos de descarga de aguas de uso industrial (con acceso a aguas tratadas, no a agua potable) tendrán que ubicarse en lugares de acceso público y permanente. Los usuarios industriales deberán indicar las sustancias químicas que utilizan en sus procesos de transformación como condicionante para obtener la renovación de su permiso de uso. La detección de sustancias tóxicas, no biodegradables o no autorizadas causaría la cancelación inmediata del acceso al sistema de agua potable y drenaje de la ciudad.
 9. Acuerdos condicionados para acceso a aguas residuales: se priorizaría la asignación de aguas residuales tratadas para contribuir a la preservación de la soberanía alimentaria, y luego para reemplazar usos de agua potable que no requieren de esa calidad.

10. Convenios de coadministración: los sistemas comunitarios podrán elaborar y firmar convenios con el Sacmex para acordar la distribución de funciones en torno a la gestión del agua.
11. Crear un Sistema de Información, Monitoreo y Alerta del Agua: a cargo y bajo la operación del Consejo de Cogestión y la Contraloría Social del Agua, en coordinación con universidades públicas, con información de los Sistemas de Monitoreo de acceso equitativo, usos no prioritarios, calidad, fugas, inundaciones, autorizaciones. Implicaría la integración de todos los sistemas de monitoreo climático, hidrométrico y de aguas subterráneas en un solo sistema. Se utilizaría para la elaboración y seguimiento de planes rectores y planes de agua potable y saneamiento municipales; planes de desarrollo urbano y ordenamientos ecológicos; recomendaciones de volúmenes y condicionantes para concesiones; dictámenes costo-beneficio y de impacto socio hídrico, sistemas de alerta, entre otros.
12. Cruzada de alfabetización hídrica. La población en la capital y en México, está preparándose para grandes cambios, lograrlos requiere una nueva cultura. Desde el Consejo de Cogestión, apoyado por universidades y centros de investigación, para impulsar un programa de alfabetización hídrica, que provea de información y genere una nueva cultura de participación, desde usuarios y comunidades. Ya que es fundamental avanzar hacia una nueva cultura y soluciones pertinentes a la gestión del agua. Para crear condiciones para dicha labor es necesario el liderazgo del sistema educativo en general, con el concurso de las instituciones de educación superior junto con las organizaciones civiles y comunitarias.

Conclusiones

Para satisfacer los requerimientos de agua sin incrementar la importación de cuencas externas, ni la sobreexplotación de los acuíferos, hace falta un buen gobierno del agua. Lograr construirlo requiere reconocer que el sistema actual de manejo del agua está permeado por la corrupción y la utilización política del vital líquido. Se requieren, por tanto, mecanismos de contraloría y de defensa ciudadana, formas de acceso a la justicia con consecuencias para quienes incumplan con la ley, comenzando por los funcionarios públicos, así como procesos transparentes de autorización de cualquier obra o actividad. Las profundas innovaciones legislativas que México necesita en materia de agua van a tono con el mandato del 1 de julio de 2018, momento en el cual el pueblo mexicano despertó dispuesto a entrar de lleno en el siglo XXI, en el cual aprenderemos a vivir en equidad, así como en armonía con la naturaleza y sus límites.

Reformas legislativas para garantizar el Derecho Humano al Agua

Judith Domínguez Serrano

Introducción

Una o dos leyes, y después de siete años de la incorporación en la Constitución mexicana del Derecho Humano al Agua, el debate no se ha superado. Quizá derogar la Ley de Aguas Nacionales vigente para integrarla en una Ley General de Aguas, que desarrolle primordialmente las bases y modalidades para dar cumplimiento al derecho, sería una alternativa. La constitucionalidad de las dos propuestas y la politización que de ellas se ha hecho en estos años no ha permitido que se desarrolle reglamentariamente el artículo 4 constitucional, párrafo sexto. En el presente capítulo se reflexiona sobre los temas críticos en materia jurídica que han sido objeto de debate, las reformas necesarias y las posibilidades para encauzar la reforma. Asimismo, se muestra cómo ha evolucionado el debate público en torno a la actividad legislativa en materia de aguas.

El reconocimiento del Derecho Humano al Agua en la Constitución

El derecho humano de acceso al agua fue incorporado en el artículo 4 de la Constitución mexicana en febrero de 2012, poco después de haberse reconocido internacionalmente en el seno de las Naciones Unidas (Resolución A/RES/64/292). Su reconocimiento fue muestra del alto compromiso del Estado mexicano en su protección como derecho fundamental e inherente a la dignidad humana. Previamente había tenido lugar una reforma en materia de derechos humanos en el capítulo primero de la Constitución para incluir los principios de respeto y garantía de protección más amplia a la persona (*principio pro homine*) y la aplicación directa de los Tratados Internacionales que sobre la materia hubiera ratificado el país, lo que representó un gran paso para su protección, pues podría recurrirse a la aplicación de Tratados Internacionales cuando las leyes locales no establecieran nada al respecto, fueran contradictorias o incluso, cuando entraran en conflicto varios ordenamientos jurídicos.

El artículo 4 constitucional recoge los parámetros internacionales del contenido del derecho humano al agua (disponibilidad, calidad, accesibilidad, asequibilidad) y establece la correspon-

sabilidad del Estado en su conjunto. Asimismo, se refiere a la participación de la ciudadanía en la garantía de este derecho. La federación, las entidades federativas y los municipios deben garantizar los mecanismos para su cumplimiento en el corto plazo (acceso al agua) y en el largo plazo para el caso de las obligaciones progresivas como es alcanzar la cobertura universal. La protección efectiva del Derecho Humano de Acceso al Agua y al Saneamiento (DHAS) en México requiere necesariamente de un replanteamiento de la política del subsector de agua potable y saneamiento y la generación de nuevas orientaciones de política que incorporen los parámetros internacionales, pero sobre todo, los mecanismos que garanticen la sostenibilidad de los servicios públicos en el país, de tal manera que en el acceso al agua y al saneamiento básicos se cuente con un servicio continuo. Así también, requiere de una reforma profunda en la manera en que actualmente se usa el agua, es decir, de una revisión del sistema concesional para hacer efectiva la prioridad en el uso doméstico y el abastecimiento público urbano.

Aunado a esto, es menester mencionar que en nuestro país hay una deuda social que cubrir y que no puede ser impostergable, y es garantizar el acceso a agua segura para la población que aún no cuenta con ella. El reto de llevar agua a más de 60 mil localidades con población menor a 2500 habitantes, con alta dispersión, implica implementar nuevas formas de brindar agua y el uso de nuevas tecnologías para su cumplimiento. En las zonas urbanas implica el mejoramiento de las redes y la eficiencia en el uso del agua. Pero también y sobre todo, un replanteamiento de la actual gestión de las aguas.

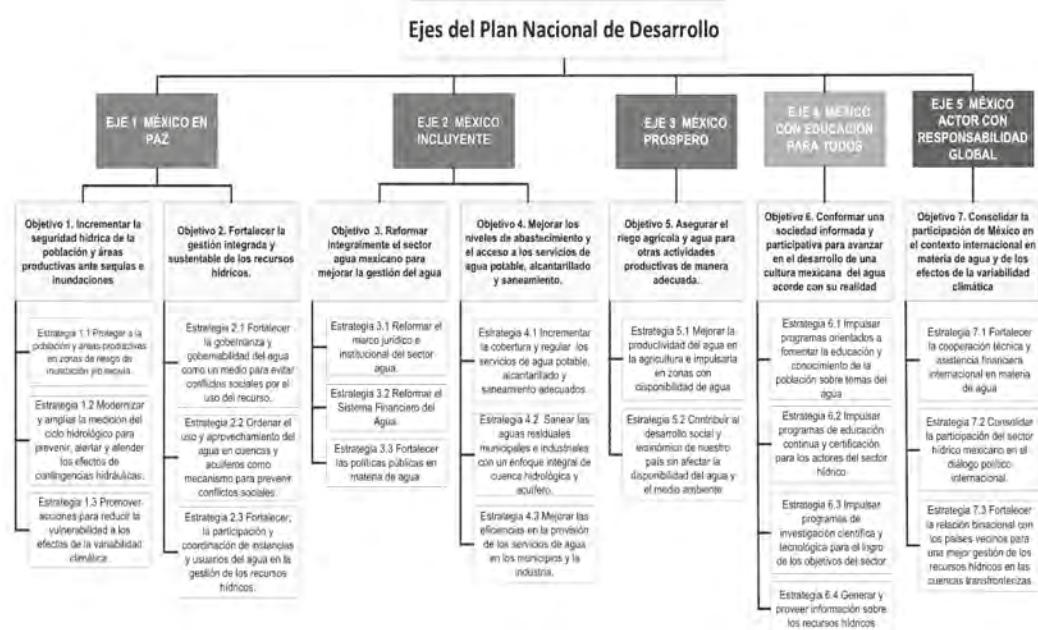
Para ser coherente con la protección más amplia de este derecho humano deben crearse los mecanismos técnicos y financieros que permitan dotar de agua de calidad a toda la población, especialmente a la más vulnerable, ubicada generalmente en las periferias de las ciudades y en las zonas rurales y marginadas, donde radica el reto de abastecimiento de agua.

Reformas al marco jurídico del sector agua: la tarea siempre pendiente

En el sexenio pasado se pretendió un Pacto por México en el que se propusieron objetivos en relación a la gestión de las aguas: replantear el manejo hídrico del país de forma inteligente y sustentable (compromiso 50), incrementar las coberturas de agua, de drenaje, y de tratamiento (compromiso 51), atender de manera prioritaria y oportuna las sequías que afecten el norte y el centro del país, e impulsar la aprobación de la nueva Ley de Agua Potable y Saneamiento reformando integralmente la Ley de Aguas Nacionales (compromiso 52), siendo la Conagua un actor principal en estas reformas. Este Pacto se quedó en el camino sin ningún avance.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 (DOF 20 de mayo de 2013) se identificaron las acciones y reformas legales necesarias en materia de agua, donde la reforma jurídica de este sector era uno de sus ejes. Entre las estrategias se propuso fortalecer la gobernanza y la gobernabilidad del sector, reformar el marco jurídico e institucional del sector agua y fortalecer las políticas públicas; todas ellas relacionadas con las funciones que corresponden a la Subdirección General de Planeación.

Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018



Fuente: Gobierno de la Republica, 2012.

Por primera vez, el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 se aprobó como un Programa especial de acuerdo a la Ley de Planeación y se iniciaron trabajos para incorporar la transversalidad del sector en otras dependencias de la administración pública federal en torno a seis mesas de trabajo, que después de año y medio dejaron de sesionar por cuestiones presupuestales, siendo ésta una propuesta de coordinación articulada en torno al agua y el PNH como programa especial. Sí se reportaron acciones con diversas secretarías al fin del sexenio (Comisión Nacional del Agua, 2018a: 5).

La valoración que podríamos hacer hoy, una vez terminada la vigencia de ese Programa Nacional Hídrico 2014-2018 es que no se cumplió ninguna —quizá alguna— de sus grandes metas; lo que es desolador. No hubo reforma estructural en la Conagua, no se dio la reforma jurídica, la reforma financiera apenas y modificó la Ley Federal de Derechos con una visión meramente recaudatoria (Comisión Nacional del Agua, 2018b) y escasamente se formaron recursos humanos en materia de agua potable con la Escuela del Agua impulsada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Conagua. Técnicamente pudiera decirse otra cosa, pues se fortaleció el sistema de monitoreo de la sequía y se puso en línea información más actualizada sobre el estado de los cuerpos de agua. Los avances de sus indicadores muestran que:

Informe de Avances de resultados 2018, Comisión Nacional del Agua, México

Nombre del indicador	Línea base	Avances	Meta 2018
Índice global de sustentabilidad hídrica	0.552	2017: 0.582 2018: ND	0.684
Decretos de reserva de agua para uso ambiental formulados	0	2017: 4 cuencas en decreto publicado 2018: 0	189 cuencas en decreto publicado
Población protegida contra inundaciones	0	2017: 1,749,842 2018: 3,862,417	6,620,000
Superficie productiva protegida contra inundaciones	297,917	2017: 6,643 2018: 3,420 p.	300,000 adicionales
Programas de manejo de sequías elaborados y aprobados por Consejos de cuenca	0	2017: Meta sexenal cumplida en 2014 2018: Meta sexenal cumplida en 2014	26
Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA)	0.652	2017: 0735 2018: nd	0.761
Influencia del desarrollo tecnológico del sector hídrico en la toma de decisiones	13.3	2017: 23.86 2018: 24.5	20.0
Productividad del agua en distritos de riego (kg/m ³)	1.62	2017: 1.82 2018: ND	1.87
Proyectos de cooperación internacional atendidos	0%	2017: 100% 2018: 100%	100%

Fuente: elaboración propia.

No obstante, tratándose de los recursos hídricos la situación empeoró, aumentaron los acuíferos sobreexplotados (por poner un ejemplo) de 101 a 105, y el régimen de uso y aprovechamiento de las aguas nacionales no sufrió modificación, aun cuando se pretendió con varias medidas del Ejecutivo, como la regularización del 2014 (Decreto por el que se otorgan facilidades administrativas a los usuarios de aguas nacionales, DOF de 7 de abril de 2014), hoy los datos de cobertura de agua potable disminuyeron drásticamente con la misma información oficial que proporcionó el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de 95.3% de cobertura de infraestructura hidráulica según la Encuesta Intercensal 2015 y de 94.4% de agua entubada en la vivienda o predio, de la cual 97.2% es urbana y 85% es rural (Comisión Nacional del Agua, 2019: 113) al 62%, lo que revela otro problema también esencial, y es la fiabilidad de la información del agua. Y las reformas estructurales planteadas como Ejes del Plan no se cumplieron.

Es necesaria y hasta urgente la reforma jurídica en materia de aguas, por virtud de la exigencia constitucional del artículo tercero transitorio de la reforma al artículo 4º constitucional que incluyó un párrafo sexto del derecho humano al agua, y porque la Ley de Aguas Nacionales ha

probado ser inoperante en algunos temas, que están previstos pero cuya aplicabilidad dista de lo que la ley establece.

Han pasado 6 años y no se ha producido la reforma jurídica del sector agua; en este trayecto surgieron diversas iniciativas para avanzar en ello, pero sin éxito. El debate aún sigue siendo sobre la decisión de una o dos leyes, es decir, una Ley General de Aguas que sustituya a la Ley de Aguas Nacionales vigente y que incorpore el derecho humano al agua, la administración del agua y la prestación de servicios públicos como la forma inmediata de garantizar de forma adecuada el acceso al agua como un derecho humano, cuestión que puede presentar problemas de constitucionalidad si no se articula adecuadamente y que ha sido uno de los motivos por los que no se ha avanzado; y por el otro lado, se ha planteado la coexistencia de la Ley de Aguas Nacionales y otra denominada Ley General de Aguas para garantizar el derecho humano al agua, cuestión que tampoco es afortunada por cuanto se cuestiona la técnica legislativa para este planteamiento.

¿Qué reformas son necesarias en materia de gestión y administración del agua para garantizar el derecho humano al agua y saneamiento?

El párrafo sexto del artículo 4 constitucional se refiere expresamente al contenido básico del DHA (disponibilidad, calidad del agua, accesibilidad, asequibilidad) que está recogido en la Observación General número 15. Para garantizar el acceso al agua en estas condiciones es necesario preguntarse ¿qué reformas son necesarias para garantizar este derecho para todas las personas?, es decir, lograr una cobertura universal.

En primer lugar, nos lleva a pensar quiénes son obligados (dentro del Estado en su conjunto). La respuesta se dirige, atendiendo al marco constitucional vigente, al municipio (que como tarea fundamental oferta la prestación del servicio público) como el primer y principal obligado; sin embargo, el art. 4 se refiere al *acceso al agua*, y no necesariamente al servicio público y habla de la participación de los tres órdenes del gobierno. De tal manera, que se tendrán que tomar en cuenta otras normativas que se entrecruzan, tal como la de planeación y desarrollo urbano, y revisar las competencias de los tres órdenes de gobierno en materia de agua e inclusive de otras dependencias. El que el municipio sea el orden de gobierno que garantiza el servicio público (cobertura formal de agua) plantea la pregunta de la sostenibilidad de los servicios, pues es sabido que la mayoría de ellos tiene una debilidad institucional que no le permite cumplir con sus responsabilidades constitucionales.

En segundo lugar, tratándose del recurso, quien debe garantizar que exista suficiente agua para garantizar el derecho —dotar al municipio de agua suficiente para que esté en posibilidad de cumplir— es, en este caso, la Comisión Nacional del Agua, a través de la asignación suficiente del líquido. Las entidades federativas emiten el marco normativo de prestación del servicio público en su ámbito territorial y suplen (en muchas ocasiones) al municipio cuando éste no garantiza el servicio. Pero esto no es suficiente, dado que la calidad del servicio y la calidad del agua que se abastece no cumple los parámetros de la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Sa-

lud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.

En tercer lugar, la actual gestión y administración del agua, tal como se realiza, ¿permite tener agua suficiente y de calidad para cumplir este DHA? La respuesta nos lleva a la necesidad de modificar el régimen vigente. No se trata de un problema de la norma en sí, tanto como de su aplicabilidad y de problemas operativos al interior de la estructura institucional y su funcionamiento.

Se requiere una autoridad del agua fuerte, pero no centralista; una coordinación con los Estados, que le permita desarrollar por delegación algunas atribuciones (cuando demuestren capacidad para ello), que por ser un orden intermedio entre la Federación y los municipios pueda desarrollar mejor, distintas a las previstas en los convenios de coordinación fiscal; así también se requiere de una forma distinta de planificación que incorpore efectivamente a todos los actores sociales y el Enfoque Basado en Derechos Humanos (EBDH), y de la realización de obras planificadas conforme al Programa Nacional Hídrico, para que la construcción se realice de forma ordenada y atendiendo a la necesidad real de éstas. Pareciera que esto se realiza de esta manera porque así lo establece la Ley, sin embargo, no es así. Aquí radica el problema principal de la debilidad institucional (Domínguez, 2010). El camino en esta discusión ha sido largo, a continuación, se presentan las diversas propuestas para atender el requerimiento del artículo tercero transitorio de la reforma constitucional.

Temas pendientes en la ley de aguas nacionales

En el 2004 se reformó sustancialmente la Ley de Aguas Nacionales de 1992 para introducir un nuevo modelo de gestión, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). En esa ocasión se contó con ayuda internacional para desarrollar el nuevo esquema, sin embargo, no se consideró completamente la tradición fuertemente centralizada de la gestión del agua que por casi un siglo se conformó en México. La negociación política sobre la ley en esta época favoreció la rapidez con que el Congreso aprobó la ley, pero se vio reflejada en el texto de la ley, que explica (más no justifica) porque algunos usos fueron más regulados que otros. Las consecuencias han sido considerables en el plano legislativo. La gestión del agua se ha dado, entre lo que establece la ley, la realidad social y la inercia de centralización que se conocía en México hasta antes de la reforma.

En un Estado de derecho no es admisible que el marco jurídico no se haya completado, dado que la propia Ley de Aguas Nacionales estableció un plazo para su desarrollo reglamentario, que nunca se produjo; menos aún, en una materia tan importante para el país y tan sensible para los ciudadanos, como lo es el agua. Y da lugar a cuestionar la responsabilidad del estado legislador. Asimismo, la ley se refiere a un sinnúmero de reglamentos que desarrollarían lo que no se quiso decir en la ley, tales como el funcionamiento de los bancos de agua, del registro público de derechos de agua, de los consejos de cuenca, por citar algunos, lo que favoreció una amplia discrecionalidad en su manejo. Entre los temas pendientes los más urgentes para el país, los ciudadanos y para la conservación del equilibrio hidrológico son los siguientes:

a. Actualización de la ley y desarrollo reglamentario

La crisis del agua es una crisis de gestión (UNESCO, 2006) y los problemas de contaminación y de escasez que tenemos en el país son producto en primer lugar de un marco legal incompleto que deja vacíos, en los cuales se toman decisiones discrecionales y no siempre en protección de los recursos hídricos, baste ver los trasvases que se están autorizando bajo esquemas cuestionables como la concesión (de Veracruz a Monterrey por ejemplo) que llevó al inicio de obras socialmente muy cuestionadas, con inversiones iniciales que después fueron canceladas por no justificar su costo-beneficio socio-ambiental. En este sentido, ya están identificados los temas que requieren modificarse, entre ellos el régimen concesional es el principal, pero también el funcionamiento del Registro público de derechos de agua, o la integración y el funcionamiento de los consejos de cuenca.

b. Coordinación expresa y obligatoria de la planeación territorial y la de aguas

La planificación de aguas la realiza el ejecutivo federal, mientras que los gobiernos estatales y municipales planifican su territorio en función de sus necesidades locales, y aunque debería responder a una propuesta de país, esto no sucede. No existe en nuestro sistema jurídico la obligación expresa de coordinación interadministrativa e intergubernamental, que es indispensable en todo estado federal, sobre todo en materia ambiental. Se requieren criterios mínimos en la legislación de aguas que condicione o limiten la autorización de desarrollos urbanos si no existe agua, por ejemplo, o que los estados emitan opinión vinculatoria cuando se otorguen concesiones que perjudiquen el desarrollo territorial estatal.

c. Actualizar la normativa de calidad de las aguas

La normativa técnica de calidad de las aguas es escasa y la existente contiene parámetros que deben ser actualizados. La calidad de las aguas para consumo humano es preocupante pues no en todo el país se abastece con agua potable, sino con agua clorada, que muchas veces excede los límites que debe contener para ser inocua a la salud humana. Pero lo más importante, el cloro no quita los otros contaminantes, en algunas regiones muy peligrosos. Y cada vez más salen a la luz casos de contaminación por otros elementos, como metales pesados, flúor o arsénico.

d. Prestación de un servicio público de agua, en cantidad y calidad suficientes, con criterios homogéneos en el país de eficiencia, de sostenibilidad financiera y de certificación de los organismos operadores: la regulación del subsector

No todos los municipios del país cuentan con capacidad (Cabrero y Arellano, 2011) para prestar de forma eficiente los servicios de suministro de agua potable y de saneamiento, en detrimento de la cobertura universal (Pineda, 1999; Flores, 2016: 22). Los otros niveles de gobierno deben coadyuvar en esta tarea, cuando el municipio no pueda dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 115 constitucional. Aunque esto ya está previsto. Es necesario replantearse los alcances de lo establecido en este artículo para permitir que cuando el municipio no desempeñe esta atribución con eficiencia y calidad del servicio pueda ser sustituido —temporalmente si se quiere— por el Estado, quien prestará el servicio con cargo al presupuesto municipal (que podría ser reducción a sus participaciones).

Esto requiere modificaciones constitucionales al propio artículo, que ya se ha visto modificado para otros temas. En segundo lugar, la regulación de los servicios públicos, como se encuentra legislada en la mayor parte de los países de Latinoamérica, debe darse en nuestra legislación interna. Ya ha habido intentos (como es el caso de la Ley de Aguas del Estado de México) pero que no han funcionado del todo. Se pretendió que existieran 32 órganos reguladores, uno por cada entidad federativa, lo que es excesivo aun siendo un estado federal. Lo que resultaría interesante es una propuesta que permita la regulación nacional con estándares mínimos del servicio público, que no entren en conflicto con la autonomía municipal para la prestación del servicio público, que consideramos, es posible. Un camino puede ser modificar todas las leyes estatales, pero es una decisión que corresponde a las legislaturas estatales, y los aspectos que requieren reformas, tales como las tarifas, es una cuestión que, en los más de 30 años no ha tenido buen destino. Tampoco sería posible el establecimiento de los mínimos parámetros homogéneos que requiere la protección del Derecho Humano al Agua en todo el país, y no de forma diferenciada, tal como la garantía del mínimo vital o la asequibilidad. Otro camino, es la regulación mínima, pero obligatoria, nacional. La propuesta de un ente regulador nacional cumpliría con dos condiciones: independencia y realizaría funciones de regulación en su sentido más amplio, que no significa sólo ser un ente normativo; de esta manera, definirá los criterios, características, metodologías, indicadores y lineamientos que deberán observar los organismos operadores del país. Se requiere también de un marco jurídico que establezca los aspectos mínimos de la planeación del subsector en los tres órdenes de gobierno, que establezca instrumentos claros para la colaboración de los tres órdenes y permita una evaluación de los servicios de agua potable y de saneamiento. La propuesta de regulación incluye un Sistema Nacional de Información de Agua Potable y Saneamiento, que integre indicadores de gestión y de eficiencia, sistemas tarifarios, niveles de cobertura de los servicios y calidad, que permitan orientar mejor los recursos distinguiendo en la capacidad real de los organismos operadores. Es muy importante que se fomente la intermunicipalidad en la prestación los servicios de agua potable, de drenaje y de alcantarillado, la visión metropolitana en la prestación de estos servicios podría traducirse en ahorro (Ferro y Lentini, 2010: 11) para los municipios involucrados y también en una mejora de las irregularidades actuales en la prestación de servicios. Como parte de la mejora del desempeño de los organismos operadores, deben existir los mecanismos para instaurar la capacitación del personal de los organismos operadores así como de la certificación de los procesos. Un ente regulador nacional puede establecer los lineamientos generales, compartiendo con los estados los esquemas de capacitación y de certificación.

e. *La participación social en la supervisión de la prestación del servicio público y en el abastecimiento de agua a poblaciones*

La creación de un órgano que fiscalice y monitoree la calidad del agua y del servicio, cuya conformación ciudadana es deseable, representa una propuesta que encaja además con

la propuesta incorporada en la Ley General de Asentamientos Humanos, Planeación Urbana y Ordenamiento Territorial que incorporó la Agenda Urbana adoptada en el foro de Hábitat III. Para ello, incluir el Monitoreo Social del Agua Potable y Saneamiento (Domínguez *et al.*, 2012), con el objeto de hacer efectiva la vigilancia, la supervisión y la evaluación ciudadana de los servicios de agua potable y de saneamiento en las que sus recomendaciones deben ser observadas en la planeación del subsector por los tres órdenes de gobierno, corrigiendo así una de las debilidades más grandes de las contralorías sociales actuales que promueven los programas federales, que son para fines específicos y, por lo tanto, temporales (Dominguez *et al.*, 2012: 85 y ss.). El reconocimiento de las diversas formas de gestión comunitaria del agua en la ley —principalmente en ámbitos rurales y periurbanos, pero no exclusivamente, pues existen casos en zonas urbanas— es esencial para avanzar en el aumento de la cobertura. Este reconocimiento legal pasa por su fortalecimiento.

Panorama de las iniciativas de reforma en materia de agua

Ley General de Agua Potable y Saneamiento ANEAS, 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Se metió la iniciativa al Senado. • El Senado no revisó el contenido, pues declaró no estaba facultado para legislar en la materia.
Reforma integral a la LAN Senado, 2011-2012	<ul style="list-style-type: none"> • Se retomaron las iniciativas presentadas anteriormente y se incorporaron en un solo proyecto. • No fue presentado para discusión.
Proyecto de Reglamento a la LAN Conagua, 2011-2012	<ul style="list-style-type: none"> • Se sometió a revisión la manifestación de impacto regulatorio a la Cofemer en abril de 2012 y fue observada en mayo del mismo año. • La Cofemer realizó más de 100 observaciones al proyecto. • Facultar al Congreso para legislar en materia de agua potable y saneamiento.
Iniciativa de ley de reforma Diputado Silvano Aureoles, 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Retoma la propuesta de ANEAS de 2009. • En revisión en el Senado. • Inconstitucional e incongruente, falta de técnica legislativa.
Ley General de Agua Potable y Saneamiento Senador Demédecis (PRD), 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Borrador terminado y actualizado. Se ha presentado a discusión en diversos foros. • Incorpora el DHA.
Ley de Agua Potable y Saneamiento Colmex-Conagua, 2011-2013	<ul style="list-style-type: none"> • Reformar el artículo tercero transitorio de la reforma constitucional que incorpora el derecho humano al agua, para ampliar el plazo de la publicación de una Ley General de Agua. Reforma al art. 27 Const, para dar mas atribuciones a Estados.
Reforma al artículo transitorio 3° que ordena la creación de una LGA Dip. Kamel, 2013	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa de diversas OSC's e instituciones académicas. • Ha comunicado que ya tienen un borrador de LGA. • Se presentó a la prensa el 7 de febrero. El texto aún no es público.
Proyecto de LGA Iniciativa ciudadana, 2012-2013	

Continúa...

<p>Proyecto de LGA Dip. Silvano Aureoles, 2012-2013</p> <p>Reforma al Art. 73 Const. Senadores Humberto Mayans y Aarón Irizar, Febrero de 2013</p> <p>Proyecto de LGA Subdirección Jurídica Conagua, 2013</p> <p>Reforma a la LAN Dip. Jorge Terán, febrero de 2013</p>	<ul style="list-style-type: none">• Proyecto de LGA, borrador terminado.• Incorpora algunas ideas de la ley de ANEAS 2009 y prácticamente reproduce la LAN con algunos ligeros cambios en cuestiones técnicas. No reforma sustancialmente el sector hídrico.• Propone agregar la fracción XXIX-R al art 73 Const. para facultar al Congreso para expedir leyes que establezcan bases de coordinación y concurrencia en los tres órdenes de gobierno para regular la explotación, uso, aprovechamiento, distribución, control, preservación y calidad de las aguas nacionales, en los términos de los artículos 4 y 27 Const. .• Fue turnada a opinión de la Conagua.• Se tiene un índice de la LGA, asesorados por un consultor externo. Ser pretende terminarla para septiembre de 2013.• Ley de mínimos, solo se desarrolla el uso doméstico.• Propone incorporar nuevos enfoques y criterios a la política hídrica nacional, principalmente género, el agua como derecho humano, sostenibilidad en la planeación, transversalidad de políticas públicas, responsabilidad de los tres órdenes de gobierno, profesionalización en el subsector agua potable y saneamiento. Se agregan artículos donde se especifica el enfoque de género.
---	--

Fuente: elaboración propia.

Retos y oportunidades de una Ley General de Aguas en el sistema jurídico mexicano

El reto inicial es el conceptual, es decir, elaborar la ley en torno a la seguridad hídrica, el uso sustentable del agua y el enfoque basado en derechos humanos, no porque sean las propuestas de hoy en día para la adecuada gestión de los recursos hídricos, sino porque es lo que se requiere en estos tiempos. Esta propuesta significa un nuevo modelo de gestión y nuevos objetivos, sin apartarse de la GIRH.

El EBDH debe mostrar la interdependencia e indivisibilidad de los mismos, y decidir siempre por la medida más favorable a la persona (*principio pro homine*). Elaborar una sola ley, en vez de dos es un reto jurídico y constitucional. La deficiente redacción del artículo 4 constitucional y su transitorio han causado problemas interpretativos, mientras tanto, no sólo no se expide la ley, sino que el Poder Judicial va conformando criterios para su cumplimiento, que no siempre atienden a las posibilidades técnicas y financieras de los municipios.

En esta LGA debe integrarse la gestión integral de los riesgos hidrometeorológicos o al menos, establecer las formas de coordinación con la Ley General de Protección Civil y las autoridades que de ella derivan. Esto implica la incorporación y la articulación con la normativa del cambio climático.

Otro de los temas pendientes es la prevención y gestión de conflictos por el agua, y la propuesta de mecanismos alternos de resolución de conflictos que no existen en la vigente LAN. La sensibilidad que ha faltado a las últimas autoridades de la Comisión Nacional del Agua derivó en un incremento de los conflictos, que además, encontraban razones justificadas para oponerse a las decisiones específicas, sea por razones ambientales, de participación en la toma de decisiones o de tenencia de la tierra.

Es de vital importancia la participación social efectiva y la comprensión de sus alcances. Indudablemente es necesaria pero no puede sustituir a la autoridad, por lo tanto, defendemos que los actos de autoridad deben ser expedidos y ejecutados por ésta, incluida el otorgamiento de concesiones, como una de las expresiones máximas de lo que significan las aguas de la nación. Es equivocado plantear que un grupo de ciudadanos expertos y sensibles pueden resolver este tipo de actos administrativos, no sólo por su complejidad técnica, sino por ser un acto jurídico con efectos a terceros, en ejercicio de un poder público delegado en la propia Constitución.

El contenido mínimo de la ley general de aguas para garantizar el DHAS, sea cual fuere la decisión del gobierno, requiere:

1. Una definición concreta y precisa de cada característica del DHAS para el país, y sus alcances, que reconozca no sólo el derecho humano al agua, sino el derecho humano al saneamiento, como un derecho diferente, tal como lo ha desarrollado el relator especial de Naciones Unidas para el Derecho Humano al Agua.
2. El establecimiento de un parámetro mínimo a partir del cual puede ser mejorado por los estados, es decir, de una dotación mínima obligatoria en el país, a partir de la cual, los municipios y estados pueden brindar más, pero nunca menos de esa cantidad, que oscila entre 50 y 100 litros por persona al día, según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud. Es importante atender también a la disponibilidad de agua en la región y a la capacidad de los municipios para dotar de esta cantidad, que puede entrar dentro del principio de progresividad al inicio, pero debe existir un programa de medidas y acciones orientados a dotar del mínimo vital en el menor tiempo posible. Esto requiere una actuación del gobierno (otras dependencias, que no son necesariamente autoridades de agua) de fijar un presupuesto que permita alcanzar estos estándares (la Secretaría de Hacienda y Crédito Público).
3. Definir el saneamiento, tanto básico como de las aguas residuales como parte de este derecho humano.
4. La distribución de competencias entre los tres órdenes de gobierno para este fin (art. 4) y la coordinación para dotar de agua a la población.
5. La participación social y especialmente de grupos vulnerables en la sociedad en la elaboración de las estrategias y soluciones para alcanzar progresivamente el DHAS.
6. Un sistema financiero que permita garantizar el cumplimiento del DHAS.
7. Revisión de otras disposiciones jurídicas, programáticas y administrativas, como los programas federalizados para incluir el EBDH, la Ley de Coordinación fiscal, La Ley General de Salud, la Ley Federal de Derechos o el Presupuesto de Egresos de la Federación.

8. La revisión de la normativa estatal no sólo para adecuarla a la Ley General de Aguas sino sobre todo es porque aquí radica mucho del desarrollo del artículo 4 constitucional en materia de DHAS, especialmente de supletoriedad y atracción de la competencia municipal.
9. La revisión de la fracción III del artículo 115 constitucional en materia de servicios públicos.

Conclusiones

Garantizar el derecho humano de acceso al agua en el país requiere de una reforma estructural del subsector. Para que sea realista y funcione debe incluir cambios graduales, pero con un objetivo establecido previamente, claro y conocido por todos los actores sociales involucrados. No puede realizarse sin una planeación nacional de los servicios públicos a la luz del enfoque de derechos humanos corrigiendo poco a poco los problemas estructurales, aprovechando la coyuntura que da la protección del derecho humano al agua. El interés de la sociedad, del poder judicial, del poder legislativo empuja hacia estas reformas de fondo que tanto necesita el subsector. Es una oportunidad para rectificar “las reglas de juego”, es decir, la estructura institucional actual. Los Estados piden cambios en el diseño de los apoyos federalizados que les permitan cubrir la variedad de municipios y de organismos operadores que tienen, y los organismos operadores demandan tarifas justas para poder cumplir con su obligación de dotar agua de calidad. La federación deberá orientar la política del subsector tendiendo a ampliar la cobertura universal de acceso al agua, tal como se ha propuesto en la programación hídrica.

Referencias

- Cabrero Mendoza, E. y Arellano, D. (Coords.) (2011). *Los gobiernos municipales a debate. Un análisis de la institución municipal a través de la Encuesta INEGI 2009*, CIDE, 2011, México.
- Comisión Nacional del Agua (2018a). Programa nacional hídrico 2014-2018. Acciones multisectoriales, Reporte, México.
- Comisión Nacional del Agua (2018b). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Informe de Avances de resultados 2018, México.
- Comisión Nacional del Agua (2019). Estadísticas del Agua 2018, México.
- Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa Nacional Hídrico 2014-2018, México.
- Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Informe de avances de resultados 2018, México.
- Decreto por el que se otorgan facilidades administrativas a los usuarios de aguas nacionales (DOF de 7 de abril de 2014).
- Domínguez Serrano, J. “El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz”, *Revista Gestión y Política Pública*, Volumen XIX, Número 2, II Semestre de 2010, México, pp. 311-350.

- Dominguez, Martínez, Palacios y Peña (2012). *El monitoreo social del derecho humano al agua y saneamiento*, El Colegio de México-Instituto Nacional de Desarrollo social, México.
- Ferro, G. y Lentini, E. (2010). *Economías de escala en los servicios de agua potable y alcantarillado*. CEPAL, Santiago de Chile, 61, pp.
- Naciones Unidas (2010). RESOLUCIÓN A/RES/64/292.
- Naciones Unidas (2017). Informe del Relator Especial sobre el derecho humano al agua potable y el saneamiento acerca de su misión a México, Consejo de Derechos Humanos 36º período de sesiones 11 a 29 de septiembre de 2017.
- Naciones Unidas (2003). Observación general N° 15 (2002), Consejo Económico y Social, Comité de Derechos Humanos Económicos, Sociales y Culturales, Ginebra, disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/Observacion-15_derecho_al_agua.pdf
- Observación general 15, *Aplicación del Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, El derecho al agua* (artículos 11 y 12 del Pacto), (29º periodo de sesiones 2002), U.N. Doc. HRI/GEN/1/Rev.7 at 117 (2002). [rev. 1 de diciembre, 2015]. Disponible en: <<http://hrlibrary.umn.edu/gencomm/epcomm15s.html>>
- Pineda Pablos, N., & Ward, Peter (1999). *Urban Water Policy in Mexico: Municipalization and Privatization of Water Services*, ProQuest Dissertations and Theses.

Escasez del agua. Modelo tripartita: Estado, Sociedad y Mercado

Guillermina Pérez González, Leslie. V. Domínguez Pérez y
Ángel. E. Márquez Ortega

Introducción

Hoy día es necesario atender el tema del valor del agua a través de un estudio minucioso que enfatice la vulnerabilidad del recurso; es obligación decir que se trata de un bien vital, no algo inconcebible como otorgarle el nombre de un simple servicio. El agua es el fundamento de la vida, un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos, esencial para los ecosistemas naturales y regulatorios del clima, indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta, e imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales;¹ es un recurso natural, unitario, indefectible para la vida, no reemplazable por la voluntad del hombre.

El agua se renueva a través del ciclo hidrológico con un movimiento continuo sin principio ni fin, al ras de la superficie de la tierra, por encima y por debajo de ella como líquido, vapor o hielo, conservando una magnitud casi constante dentro de las cuencas hidrográficas, sin la intervención y la explotación irracional del hombre.² No debe gestionarse como un servicio en el mercado, debe encomendarse como un bien natural. Todos los seres vivos tienen necesidad y derecho al vital líquido, es un bien precioso, esencial para el disfrute de todas las generaciones, actuales y futuras. El agua está considerada como un recurso limitado para el ejercicio de las actividades económicas, éstas la han llevado a su vulnerabilidad y a su desequilibrio, por ser susceptible de diferentes usos en la vida de todos los seres vivos del planeta.³

Ahora bien, la problemática se vuelve crítica en cuanto aparece la escasez, como ocurre actualmente en la zona del oriente del Estado de México, en el área periurbana, específicamente en la región de Texcoco. Este estudio manifiesta que, en las próximas décadas, se deben tomar medidas de ajuste a los puntos relevantes en materia de las reformas hechas a los artículos 3º y 27º de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos: en la gestión gubernamental respecto

¹ Kuklinski, Claudio, (2011). Medio ambiente, sanidad y gestión, en: Ecología, México: Editorial Omega.

² UNESCO (2018). Informe mundial sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.

³ Comunidad Económica Europea, (2008). La economía de los ecosistemas, la biodiversidad. Reino Unido.

a la privatización del sector hídrico y en la obligación social con este recurso; los ajustes deben dirigirse al mejoramiento de la educación ambiental de las nuevas generaciones, que se encuentran inmersas en el consumismo y que soslayan el bienestar, el desarrollo y el cuidado de este vital líquido.

Aunque la realidad quizá no es tan sencilla, lo aquí escrito busca abordar una cuestión tripartita: 1) el Estado que tiene a su cargo el bienestar y el cuidado de este recurso; 2) la sociedad que debe ser consciente de la escasez del vital líquido; y 3) el mercado que debe considerar a este recurso como un bien de valor.

El nuevo modelo implementado desde 2016 fue finiquitado con la Ley de Aguas Nacionales del 5 de junio de 2018 (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos), ésta fue dictaminada por Decreto Presidencial y publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de junio de 2018. Esta ley logró concretarse paulatinamente a través del tiempo, desde 1960 hasta nuestros días, tomando un relieve importante en la década de los noventa del siglo pasado con el modelo neoliberal, concluyendo una primera parte en el año 2016 con la Ley Nacional de Aguas,⁴ y generando en la segunda parte un impacto severo al sector hídrico con la toma de decisiones del gobierno mexicano en turno. Es necesario informar del tenor que infunde un nuevo decreto de ésta naturaleza para el futuro de las generaciones actuales y venideras, aunado a la escasez del vital líquido. El dictamen del mes de junio del 2018, donde se permite por decreto presidencial liberar el 65% de las vedas hidrológicas a lo largo y ancho de la república mexicana, ha impactado particularmente en la Cuenca de México debido a la sobreexplotación. Los representantes del pueblo en el H. Congreso de la Unión, con desiguales objetivos en tanto servidores públicos del gobierno en México (partidos de derecha e izquierda), convinieron la firma del citado documento; el proceso se gestó mediante diferentes vías de transición indicadas por el Estado, entre ellas el Pacto por México (diciembre del 2012-enero 2013),⁵ la Comisión Nacional de Aguas (Conagua) y el Congreso de la Unión en 2016,⁶ cuyo objetivo fue la toma de decisiones en apoyo a la gestión del vital recurso en términos de su aprovechamiento, de su sustentabilidad y de su preservación; sin embargo, a razón de este propósito, el ejecutivo incumplió sus funciones al forzar y nulificar la actividad prioritaria de preservar el recurso para las generaciones futuras e inmediatas, con la decisión ejecutada el 5 de junio de 2018 y publicada en el DOF,⁷ un día después de su aprobación.

Los firmantes del decreto y las instituciones transgredieron el interés general del pueblo y sus derechos, al no informar y no convocar a quien correspondía en esta toma de decisiones, sin fundamentar las observaciones nacionales e internacionales de la democracia y de los derechos humanos para con este vital recurso (Conagua, 2018). Este escrito desarrolla un ejemplo de lo que sucede en el sector agua dentro de la región del oriente del Estado de México. Se harán descripciones de la Cuenca de México, el Valle de México, del análisis y de la observación directa de lo que ahora es el Lago de Texcoco con la finalidad de dar una explicación de los ejidos que

⁴ Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, (5 de junio de 20182), H. Congreso de la Unión, Dictamen presidencial.

⁵ Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018, "El pacto por México", 2012/2013, Presidente: Enrique Peña Nieto.

⁶ Ley de Aguas Nacionales y su reglamento (2016), Comisión Nacional de Agua.

⁷ Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de 2018.

se convirtieron en colonias populares aledañas a lo que fue él “Gran Lago de Texcoco”, fuente natural del preciado recurso.

Metodología

El desarrollo de este trabajo es una revisión, de tendencia cualitativa, que argumenta la situación etnográfica en cuestión de la escasez de agua, a través del más reciente caso de estudio que aborda la liberación de las cuencas hidrológicas del Valle. Se realizó una revisión minuciosa al respecto, y la “juventud” del tema llevó al escrutinio literal de las páginas principales de la red del gobierno en turno. No se encontró información, al ser eliminada o bloqueada con la justificación de las próximas elecciones⁸ (Página web del Gobierno Federal, 5, 6, 7 de junio al 3 de julio de 2018).⁹ La información se mantuvo oculta, rescatándose lo aquí escrito para el caso del estudio y dar cuenta de lo sucedido en el país por la decisión ejecutoria.

En septiembre de 2018 habían transcurrido aproximadamente sesenta días desde que se realizaron los cambios a la Ley de Aguas Nacionales 2016,¹⁰ de ahí el abordaje empírico de un proceso tradicional en la toma de decisiones del gobierno en turno;¹¹ es menester mencionar que se consideró el análisis de diferentes escritos científicos referenciados, que son resultado de mediciones de valores cuantificables estandarizados en cuestión de estudios hidrológicos de la calidad del agua, información requerida como antecedente a lo aquí expuesto para el tema del Modelo Tripartita: Estado, Sociedad y Mercado.

El objetivo de esta revisión es conocer una mínima porción de la realidad fenomenológica de vivencia a la que se enfrentarán las futuras generaciones en un tiempo inmediato sobre el uso y el derecho del vital líquido, a razón del dictamen presidencial ya mencionado. Las futuras generaciones, sin pedirlo, fueron involucradas veladamente en una forma participativa directa, al transformar el sistema de administración estatal del sector hídrico en un sistema de administración que pondera la actividad privada enfocada hacia el mercado. Asimismo, se consideró la parte medular que se ha ido fraguando sexenio tras sexenio (neoliberalismo), bajo el cual el modelo educativo eliminó asignaturas de humanidades en educación básica y media superior, mientras que a nivel superior implementó obligatoriamente el estudio de la sustentabilidad ambiental en todas las retículas del saber, sin dar herramientas para el logro de la enseñanza-aprendizaje.

Ahora bien, es contradictorio el sistema educativo al implementar una asignatura de índole primordial para la sustentabilidad y el desarrollo de las futuras generaciones, pero sin conocimiento de lo que acontece día a día en la historia del país para mantener, destruir o vender esa sustentabilidad, reflejo confabulatorio del gobierno y de los medios de comunicación que ofrecen información tergiversada, lo cual aumenta el desconocimiento y la nula educación cívico-social con respecto a la legislación de este recurso natural; la población de las futuras genera-

⁸ Página web de las Secretarías del Estado, y página web del DOF, fuera de sistema por elecciones federales.

⁹ Página web, Gobierno de México.

¹⁰ Publicado DOF, 6 de junio de 2018.

¹¹ Información fechante por parte de los medios de comunicación en México.

ciones será un blanco perfecto de vulnerabilidad social por parte del mercado rapaz en torno al preciado líquido. Es deber del sistema académico mencionar que el poder ejecutivo se encargó de dictaminar un decreto que atenta contra el derecho a la vida.¹²

Por último se describirá una prospectiva conforme al análisis de los diferentes puntos de este decreto gubernamental. El tema de la sobreexplotación no importó en los diez puntos del decreto que elimina las vedas de 300 cuencas hidrológicas en el país, lo cual equivale al 55% de lagos, 10% de ríos del país y 5% de los lagos que ya están concesionados. Esto significa que no habrá impedimento para la extracción del agua en el 70% de las otras vedas hidrológicas.¹³

Material de revisión y fuentes relacionadas con el tema tripartita

El escrutinio del tema dio como resultado la presencia de una constante problemática que ha incrementado el desequilibrio entre la disponibilidad del agua y la población; los escritos coinciden en describir como común denominador encontrar núcleos urbanos, parques industriales y zonas agrícolas que se desarrollan en lugares sin disponibilidad suficiente del preciado líquido, aunado al no respeto del uso eficiente y óptimo del recurso. Se recomienda entonces que las zonas agrícolas periurbanas incrementen el uso de aguas tratadas en actividades que no requieran agua potable y/o reducir la dotación por habitante según la Comisión Nacional del Agua (Conagua) (Informe, 2017).¹⁴

Así también, se conoce que la producción y la infraestructura en los requerimientos de la calidad del agua no es la idónea en la normatividad impuesta por la propia Conagua, sin embargo, SAGARPA predice efectos catastróficos del manejo de los procesos de producción y de extracción, con emanación de los contaminantes presentes por el uso y la explotación no adecuada de los suelos.¹⁵ Algunos estudios han demostrado que el uso de suelo no ha sido el idóneo, como es el caso de los sistemas agrícolas o el de uso industrial, éste es el que más daño ha propiciado a los mantos acuíferos, porque la industria arrastra la urbanización aledaña, poniendo en riesgo las cuencas.

Otro punto relevante en el impacto de la escasez del agua es el exhorto a reducir el porcentaje de fugas en la redes de agua potable de las áreas urbanas y conurbanas, marginadas y no planeadas; sin embargo, prevalece el problema del descontrol en el conteo de tomas de agua disponible, dando como resultado el uso clandestino de éstas y generando otras más que recaen en una cuantía de pérdidas del 40% de agua abastecida¹⁶ y que año con año se ha incrementado. La marca negativa de la urbanización no planificada trae consigo el desorden de un crecimiento de la población en espacios geográficos denominados periurbanos, o pequeñas ciudades aledañas

¹² Organización de Naciones Unidas (ONU), 28 de julio 2010. Resolución 64/292.

¹³ De la Torre, Karen, 20/junio/2018, Los decretos firmados por Enrique Peña Nieto, Periódico el Siglo de Torreón, (revisado, 25/06/2018).

¹⁴ Nula Planificación Urbana, uso de suelos irregulares, informe anual de Conagua. 2001, 2007, 2013, 2019.

¹⁵ Informe SAGARPA 2013.

¹⁶ Informe 2016, Conagua.

a la metrópoli, impactando al medio ambiente con desequilibrios en los diferentes hábitat, que a su vez resulta causa-efecto de la densidad del uso inadecuado de la tierra, provocando la deforestación y la pérdida del suelo fértil, convirtiéndolo después en suelo asfáltico no regularizado.

En general, los estudios de la calidad del agua en la localidad analizada representan sólo una parte del conocimiento que se debe dar a las nuevas generaciones, para involucrarlas en mejores prácticas del manejo de producción, de distribución y de consumo, para determinar la necesidad de cambiar o de mejorar la explotación y el uso de la productividad del suelo, para los deslaves y la captación de agua no contaminada para el Valle de México. Se debe propiciar que en los ejidos de la zona aledaña a la periurbanización mermen la aparición de las malas prácticas agrícolas y el mal uso de suelos, aspectos medibles por diferentes análisis que han encontrado cantidades de sales dañinas para el sistema de riego no temporal, las cuales pueden impactar de manera negativa en los diferentes ecosistemas, lo que se refleja en el rendimiento y el deterioro de los suelos de labor agrícola.¹⁷

Así también, no se debe dejar de mencionar que la deficiencia de los sistemas de drenaje y de alcantarillado, por los cambios de uso de suelo o de nueva urbanización, incrementan la acumulación de las aguas de lluvia, con inundaciones repentinas y deslizamiento no controlado y embovedado de agua al drenaje. Dicho fenómeno es conocido, los ríos de basura, de aguas negras y de otros contaminantes, que además elevan el costo de las aguas tratadas, provocando la demanda insatisfecha del recurso principalmente en las poblaciones agrícolas o periurbanas marginadas, con mujeres, niños, ancianos y grupos vulnerables excluidos en las regiones de mayor impacto ecológico por el desabastecimiento de las cuencas hidrológicas.¹⁸

Informa la Comisión Nacional de Aguas que en el año 2004 se fugaron por las redes de agua potable 119 m³, para el año 2006 se calculó que se fugaron 209 m³, y se incrementó en más del 92%, del desperdicio de agua, que daría sustento a 923 mil personas.¹⁹ Es necesario mencionar que el organismo (Conagua) que se encarga del cuidado de la Cuenca del Valle de México informó en 2008: "Se ve casi imposible frenar la responsabilidad del cuidado de las cuencas y la evasión a la sobreexplotación de los acuíferos", y menciona que ha sido insuficiente el quehacer del Sistema Hidrológico del Valle de México.²⁰ Asimismo: "Se buscó solucionar el problema de esta alarmante situación del sector en la década de los años setenta al crear los sistemas Cutzamala y Lerma, sistemas que fueron diseñados con el propósito de sustituir el agua procedente de los acuíferos sobreexplotados con agua importada de otras cuencas"²¹ Sin embargo, no se tomaron medidas para frenar el crecimiento desordenado de la urbanización, y como consecuencia impidió la importación de agua de otras cuencas, agregando las tasas de sobreexplotación que fueron en constante aumento.

El Estado, a través del Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México, en 2008 mantuvo una postura estática ante tal situación. Sólo dictaminó que la sobreexplotación de los mantos

¹⁷ UNESCO, 2018, en Estudios de suelos Colegio de Posgraduados e INIFAP, 2015.

¹⁸ UNESCO, 2009.

¹⁹ Breña Puyol, Agustín Felipe (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. Ciencia UAM-I, 64-71.

²⁰ Informe 2013, Conagua.

²¹ H. Congreso de la Unión, 2018; Ley de Aguas Nacionales, 2016.

acuíferos se debe a la mancha urbana que se ha extendido más allá del lecho lacustre.²² El Estado subsanó este dictamen e intervino, pero resguardó la herida sin curar el mal, y decidió cubrir las zonas permeabilizando la recarga a su alrededor; subsanó la necesidad del agua comunitaria en primera instancia por la Sierra de Las Cruces (desde 1910), para luego extenderse sobre la Sierra del Ajusco (desde 1950), la Sierra de Guadalupe y Tepotzotlán (1990), y actualmente por las Sierras Nevada y Río Frío (1990), así como Chalco en el año 2000. Al impermeabilizar los suelos agrícolas, forestales y luego las zonas urbanas al inicio en las primeras décadas del siglo XXI, la Cuenca no sólo perdió su capacidad de recarga, sino la capacidad de autorregularse con respecto a los picos de lluvia. El agua que antes había recargado los mantos acuíferos, empezó a escurrir libremente e inundar las zonas urbanas cuenca abajo, y esta agua se pierde por las zonas asfálticas, primero en el poniente, luego en el sur y, más recientemente, en el suroriente y ahora al oriente del Estado de México.

En 1870, la extracción de agua subterránea en la Cuenca de México fue del orden de 2 m³/s; en el año 1952, el volumen extraído fue de 22m³/s, rebasó el volumen recargado de 19 m³/s; en 2007 el volumen de extracción en la Cuenca de México fue 59.5 m³/s, casi tres veces el volumen recargado; según los dictámenes de disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación (31/01/2007) y el Registro Público de Derechos al Agua informaron que los cuatro principales acuíferos de la Cuenca del Valle de México padecen de altas tasas de sobre extracción. La información dolorosa y certera en 2015 fue la clausura en el Vaso de Texcoco de 20 tomas clandestinas que abastecían la zona oriente del entonces Distrito Federal, mermando con esto el abasto de agua a la actual alcaldía de Iztapalapa durante la segunda década de este siglo.

La vulnerabilidad del agua y su escasez están ligadas a los efectos que empiezan a producirse por el cambio climático que supone la combinación de modificaciones a largo plazo como el aumento de la temperatura promedio, provocando fenómenos extremos, o más agudos, tal es el caso de los episodios de sequía, acompañados de la reducción de los recursos hídricos disponibles que empeoran la contaminación. En algunos países, aumenta al mismo tiempo la demanda de agua para irrigación agraria y ganado, vulnerando ambas la disposición del líquido vital. Se recomienda, por lo tanto, revisar los criterios de asignación del agua, especialmente en lo que respecta a las actividades económicas. La incidencia negativa que los nuevos criterios pudieran tener sobre algunos regadíos (hay distintas formas de agricultura) debe ser corregida considerando la función social que es inherente a la mayor parte de éstos. La subvención de los costes del agua es contraproducente con la asignación eficaz del propio recurso.

El agua tiene un único origen: toda el agua que se utiliza, ya sea que provenga de una fuente atmosférica, superficial o subterránea, debe ser tratada como parte de un único recurso, reconociéndose así la unicidad del ciclo hidrológico y su importante variabilidad espacial y temporal. La conectividad hidrológica que generalmente existe entre las distintas fuentes de agua hace que las extracciones y/o contaminaciones en una de ellas repercutan en la disponibilidad de las otras. De ello se desprende la necesidad de que el Estado ejerza controles sobre la totalidad de las fuentes de agua, dictando y haciendo cumplir la normativa para el aprovechamiento y la pro-

²² Organismo de Cuencas de Aguas del Valle de México, 2008.

tección de las diversas fuentes de agua como una sola fuente de suministro. Según estimaciones de la FAO, se dice que la quinta parte de los países emergentes en el mundo tendrán problemas de escasez de agua dulce para el año 2030, lo cual algunos estudiosos temen que pueda derivar en una guerra por el agua, en lugar de otros recursos como el petróleo.

Antecedentes de la Cuenca del Valle de México y su preciado tesoro

Un antecede primordial de la Cuenca del Valle de México es el largo periodo de actividad volcánica durante el cual se configuraron la Sierra de Las Cruces al poniente, la Sierra Guadalupe al norponiente y las sierras de Río Frío y Nevada al oriente. Durante esa etapa geológica, la Cuenca vertía sus aguas al sur de modo natural, hacia el Pacífico. La aparición de la formación Chichinautzin cerró el paso natural del agua, transformándola en una cuenca endorreica con una extensión de 9 600 km.

Los acuíferos son formaciones geológicas permeadas con agua de fácil extracción, conocidos como depósitos aluviales, compuestos de gravas y arenas volcánicas que rodean y subyacen en un antiguo lecho lacustre y sirven como la principal unidad hidrogeológica de extracción; aquí es donde se infiltra el agua pluvial que cae sobre las zonas húmedas, así llega el agua a través de la superficie de las corrientes subterráneas, desde las permeables montañas a su alrededor. Las montañas que rodean la Cuenca recargan agua lentamente por medio de sus poros y mediante las fracturas existentes. Las sierras Chichinautzin y Santa Catarina presentan la mayor capacidad de infiltración, seguida por las sierras Nevada, de Río Frío, de Las Cruces y de Xochitepec.

El antiguo lecho lacustre del Valle, en el fondo de la Cuenca, sirve como un impermeable llamado "acuitardo", consiste en una capa de arcillas de 10 a 130 metros de grosor, que son excepcionalmente comprimibles cuando no se encuentran saturadas de agua. Las arcillas de la Cuenca de México tienen entre 8 y 10 partes de agua por cada porción sólida, lo cual se considera como excepcionalmente poroso. Esta propiedad hace que el acuitardo quede especialmente susceptible a compactarse y agrietarse ante la pérdida de humedad. Una construcción sobre arcillas, que normalmente experimentaría contracciones de 2.5 cm. en otras regiones del mundo, en la Ciudad de México se ha compactado 25 cm, por la falta de humedad y por la sobre explotación.²³

Los deslindes de las aguas de la Cuenca del Valle de México, como los ríos y manantiales que descendían de las partes altas de sus sierras y cerros, se depositaban en la parte baja de ese vaso cerrado conformando un gran lago, el cual durante la temporada de secas quedaba reducido a cinco lagos de menor tamaño: Lago de Zumpango, Lago de Xaltocan, Lago de Texcoco, Lago de Xochimilco y Lago de Chalco (Barragán, 2009). Hoy día se reduce a dos: el de Texcoco en un 5% y el de Xochimilco que se ha rescatado en un 56% de su totalidad.²⁴ Se puede concluir que las malas prácticas de todos los sectores económicos han vulnerado el preciado líquido a lo largo del tiempo y, principalmente, en las últimas cuatro décadas del siglo xx y principios del siglo xxi.

²³ Barragán Moctezuma, P. (2009). Repensar la Cuenca. Universidad Autónoma Metropolitana.

²⁴ Breña Puyol, Agustín Felipe (2007). Disponibilidad de aguas en el futuro de México, en Revista Ciencia UAM-Iztapalapa, julio-septiembre, 64 -71.

Se vislumbra un Estado mexicano no sustentable en la administración de este recurso natural al crear estructuras institucionales con una forma organizacional autónoma, diseñadas para responder operativamente como un servicio al público bajo la encomienda del Trabajo Ejecutivo del Estado, creando una serie de inconformidades de la sociedad ante las presumibles ventajas de la administración en el uso y el consumo de este preciado líquido, según el nuevo modelo legislativo de la Cámara de Diputados (H. Congreso de la Unión, 2016; Ley Nacional de Aguas 2016).

Modificación al artículo 27 en materia de agua para el caso de estudio

Sólo como referencia para este estudio, se tomarán algunos puntos de las modificaciones al artículo 27 de la Carta Magna: 11 de junio de 2013, 29 de enero de 2016, 3 de marzo de 2016 y el 5 de junio de 2018,²⁵ que dicen a la letra:

Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Las entidades federativas, lo mismo que los municipios de toda la república, tendrán plena capacidad para adquirir y poseer todos los bienes raíces necesarios para los servicios públicos (...).²⁶

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización (...).²⁷

La nación tendrá en todo tiempo el derecho de conceder e imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana (...).²⁸

Los tres párrafos anteriores dictan parte de la certidumbre con respecto al derecho natural que tienen los mexicanos sobre el vital recurso: con este dictamen se nulificó el derecho democrático de los mexicanos para con el preciado líquido.

²⁵ Sólo se mencionan los años donde los cambios al artículo 27º fueron contundentes para la toma de oficialización de la concesión de las Aguas Nacionales de México, con fundamento del modelo Económico Neoliberal; Publicado en Diario Oficial de la Federación años 1994, 2013, 2016, 2017 y 2018.

²⁶ Diario Oficial de la Federación 2013.

²⁷ Diario Oficial de la Federación 2016.

²⁸ Diario Oficial de la Federación 2018.

Resultados y discusión

El decreto de aguas nacionales promulgado por el Poder Ejecutivo pone en riesgo la soberanía nacional al destinar el recurso hídrico al flujo de la oferta y la demanda; al decretar la concesión permanente y/o hasta devistar al agotamiento total del recurso en las cuencas; al suprimir las vedas existentes de las cuencas hidrológicas de México, haciendo uso de su facultad como Presidente de los Estados Unidos de México. Decisiones que se consideran impactantes de forma negativa para las próximas décadas y para las futuras generaciones, aunado a la consecuencia que impactará en la cultura, las costumbres de los sistemas ambientales y en los hábitats ecológicos de las diferentes sociedades.

La legislación ejecutada por decreto presidencial y la doble alianza de quienes firmaron el decreto del 5 de junio de 2018 sólo dejaron entre ver el sinsabor del hecho consumado por el Estado en confabulación con la Comisión Nacional de Agua (Conagua), la cual debiera encargarse de las buenas prácticas y del bien común de las actividades relacionadas con sus atributos y facultades. Sin embargo, en ambos casos, es discutible su quehacer y su poca lealtad al Artículo 1 de la VI Sección del Poder Ejecutivo que hace referencia a la Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SAGARPA, que dice: "Tener a su cargo el ejercicio y facultad del despacho de los asuntos que le encomienda la Ley de Aguas Nacionales y los distintos ordenamientos legales aplicables; los reglamentos, decretos, acuerdos y órdenes del Presidente de la República, así como los programas especiales y asuntos que deba ejecutar y coordinar en materia de su competencia". Y también debe acatar lo que dice a la letra el artículo 2 de la sección en mención: "Su atributo funcional como objetivo general de la razón de ser una institución que debe salvaguardar el recurso que se le fue encomendado para bienestar de los mexicanos".

No obstante, Conagua, a través de su representante en turno el 5 de junio de 2018, quebrantó su razón de ser, al no convocar a los involucrados en la toma de la decisión dictaminada, en la cual el jurídico le debe obediencia, y no cumplió ni respetó lo que a la letra dice: "Para el despacho de los asuntos de su competencia, la Comisión Nacional de Aguas contará con el Consejo Técnico a que se refiere la Ley Nacional de Aguas y con un Director General, quien tendrá adscrito, además de las unidades administrativas a que se refiere el presente Reglamento, tendrá un Gabinete de Apoyo integrado de conformidad con lo que establece la Ley del Servicio Profesional de Carrera en la Administración Pública Federal y demás disposiciones aplicables".

La Ley del Ejecutivo dice jurídicamente que los decretos que no están fundamentados se deben someter a revisión sin comprometer el proceso a ejecutar, o bien, los miembros del legislativo pueden ampararse por derecho a la opacidad y a la ausencia legítima de la política económica ejecutada, impugnando el decreto por falta de claridad y propósito legislativo de la democracia de los derechos humanos.²⁹

²⁹ Diario Oficial de la Federación 1917.

Caso de estudio

La presente revisión hace referencia al decreto presidencial ya citado, lo que significa que el Presidente de la República Mexicana tiene las facultades de crear, de adicionar, de reformar, de derogar o de abrogar disposiciones constitucionales o legales, representando un acto jurídico con el que da inicio el proceso legislativo. El decreto presidencial dice a la letra: "Qué se suprime las vedas existentes de las cuencas hidrológicas del país".

De acuerdo con la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, aludiendo a este concepto el día 5 de junio de 2018, y publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 6 de junio de 2018, y reconsiderado por el H. Congreso de la Unión en sesión extraordinaria el día 7 de junio del 2018, sin mayor alcance, el Ejecutivo hizo uso de su facultad como Presidente de la Republica sin apego al derecho de los mexicanos.

Los críticos reclamaron al Congreso de la Unión, representados por la izquierda política, la impunidad del decreto en diez puntos y sus derivaciones: cuando un pueblo demuestra su pasividad política, lo único que está demostrando es la pronta pérdida de su soberanía. Con el dictamen del Ejecutivo, el país quedó en retroceso respecto a los derechos humanos y el respeto a la vida:

1. El Decreto Presidencial en mención es jurídicamente deficiente al no fundamentar en la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos el párrafo VI del Artículo 4 que dice en resumen: "Reconocer el derecho humano al agua y prohíbe la mercantilización del recurso natural, qué es propiedad de la nación para el disfrute de los mexicanos".
2. A nivel constitucional no se fundamentó en el Artículo 2, apartado A, Fracción 6^a que reconoce el derecho prioritario de los pueblos originarios al uso y disfrute de los recursos naturales que conforman su hábitat.
3. En materia internacional no se apoya en el convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo, sobre pueblos indígenas y tribales, al no realizar una consulta a los pueblos originarios de manera previa libre e informada.
4. El derecho humano universal fue evadido al no considerar la Observación General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre los Derechos Humanos al agua.
5. No se consideraron los artículos 11 y 12 del pacto internacional de derechos económicos, sociales y culturales que dice en la norma: que la política económica está obligada en atender una política pública del agua y a dirigirse bajo los principios de no discriminación y participación popular de los recursos naturales.
6. El decreto no expone estudios científicos, académicos o de interpretación, ni de técnicas independientes, tanto del gobierno como de las transnacionales del agua, para la toma de decisión expuesta.
7. La eliminación de las vedas es para extender la lógica de conceder concesiones a favor de la inversión de capital privado nacional y transnacional en materia del agua, que pueden apelar amparándose a la Ley Nacional de Aguas; dicha ley fue dada a conocer a través del Diario Oficial de la Federación del día 3 de marzo de 2016.

8. El comportamiento burocrático de Conagua permitió la no renovación en tiempo y forma de más de 50 000 concesiones a poblaciones indígenas y pueblos originarios, ejidatarios y comuneros, *que de no impugnar este decreto*, el modelo neoliberal privilegiado por un sistema moralmente en detrimento impactará en forma negativa en la vida de los más pobres y excluidos del país.
9. La opacidad de este decreto vislumbra una incertidumbre a los derechos humanos sobre el vital líquido y sus concesiones.
10. La acción vetada a los estudios científicos dentro del sistema hidrológico en México recae en un autoritarismo del gobierno para con los mexicanos.

Trabajo a futuro

Dar seguimiento al decreto citado y obtener su impugnación, a través del Diario Oficial de la Federación, que llevará a cabo el H. Congreso de la Unión y el nuevo gobierno, según indicó el presidente electo de México el 3 de julio de 2018.

Conclusiones

Para finalizar este escrito se mencionará lo que Jules Michelet decía en su libro de Juana de Arco: “la ignorancia debe desterrarse”, no en lo político sino en el principio de la política; decía también: ¿Cuál es el primer principio político? La educación. ¿Cuál es el segundo? La educación. ¿Y el tercero? La educación... Entonces se puede concluir enfatizando la importancia de la educación de los mexicanos, en función a sus derechos de ser informado y de ser partícipe de su propia historia, como la base prioritaria para hacer valer los derechos naturales y universales que le corresponde a cada hombre.

Sin educación y sin conocimiento, la vulnerabilidad de todos los entes vivos se acrecienta ante la poca razón de un individuo y su equipo de trabajo, que además posee el poder que un pueblo le confiere para el cuidado de la soberanía del país, que intrínsecamente en la soberanía se encuentra el bienestar común de toda la nación. Se debe aclarar que la adquisición del agua es un derecho humano; el agua no debe verse como propiedad privada. La Organización de las Naciones Unidas indica que a cada ser humano le corresponde al día un promedio de 60 litros; en México lo redujeron a 20.

La disminución y/o disponibilidad progresiva de agua potable es un factor determinante que afecta tanto su calidad como su disponibilidad en la progresiva degradación de la cuencas; sumando la deforestación y el cambio climático, sin olvidar que el impacto negativo al medio ambiente mermará la sustentabilidad de los años venideros.³⁰ Actualmente cerca del 40% de la

³⁰ Sólo se mencionan los años dónde los cambios al artículo 27º fueron contundentes para la toma de oficialización de la concesión de las Aguas Nacionales de México, con fundamento del modelo Económico Neoliberal; Publicado en Diario Oficial de la Federación años 1994, 2013, 2016, 2017 y 2018.

gente en el mundo vive en más de 200 cuencas de ríos compartidos, esto complica aún más el panorama, sin considerar el aspecto ecológico. El agua es un recurso imprescindible pero escaso. Menos del 1% del agua del planeta es dulce y accesible para el hombre, aunque este porcentaje varía considerablemente según el lugar, el clima o la época del año.

Ante una situación de escasez del agua, la amenaza se cierne sobre tres aspectos fundamentales del bienestar humano: la producción de alimentos, la salud y la estabilidad político-social. La conceptualización de la conservación del recurso debe entenderse como un proceso que cruza a varios sectores, por lo que la estrategia debe considerar todo: lo económico, lo social, lo biológico, lo político, etcétera. La calidad del agua es fundamental para el alimento, la energía y la productividad. El manejo juicioso de este recurso es central para la estrategia del desarrollo sustentable, entendido como una gestión integral que debe buscar el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental a través de un mecanismo regulador: la participación social efectiva.

Se recomienda la reducción de consumo en todos los ámbitos, pero principalmente en los que mayor porcentaje del gasto suponen: en agricultura es imprescindible mejorar los sistemas de riego; las pérdidas de agua dulce en la red de distribución son estratosféricas, 25-50% en áreas Urbanas y 40-60% en áreas agrícolas, según Conagua. Las campañas de sensibilización ciudadana pueden reducir el gasto de agua doméstico, es algo necesario por coherencia, pero no debe caerse en el testimonialismo fácil, ya que estamos hablando de un porcentaje muy pequeño del consumo global. Sin embargo, las actividades recreativas (fuentes, riego de jardines, campos de golf, parques de atracciones, etc.) suponen la mayor parte del consumo considerado urbano y es muy fácilmente reducible.

Debido a la desigual distribución del agua, todo el mundo coincide en la necesidad de instituciones que lo regulen, en las que estén presentes responsables políticos, empresarios, hidrólogos, ciudadanos, etc. El problema está en la verdadera democracia y justicia de los mismos. La presencia de organismos democráticos de distribución garantizaría la premisa de la Organización de las Naciones Unidas: que a cada ser humano le corresponde al día un promedio de 60 litros; en México lo redujeron a 20 litros.

El principio básico es que el agua no es un bien económico que pertenezca a una empresa, cuenca o país, sino un patrimonio común de la humanidad, al que todo el mundo debe poder acceder para cubrir sus necesidades básicas. Es evidente que si el agua es gratis, el derroche está garantizado. Sin embargo, el precio debe tener en cuenta la capacidad ciudadana de pagarlo.

La aparente abundancia del agua en el mundo ha dado la impresión, en el pasado, de que se trataba de un bien inagotable. Era también el más barato. En la mayor parte de las regiones el agua era gratuita. Todo ello ha conducido al hombre a derrocharla. Cada uno de los habitantes de este planeta debe estar consciente del agotamiento de este vital líquido y tomar en cuenta que debe hacer algo por su vida.

Referencias

- Barragán Moctezuma, P. (2009). *Repensar la Cuenca. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Breña Puyol, Agustín Felipe (Julio Septiembre de 2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Ciencia*, UAM-Iztapalapa, 64-71.
- Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. (2016). *Ley de Aguas Nacionales*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Comunidades Económicas Europeas. (2008). *La economía de los ecosistemas y la biodiversidad*. Banson Cambridge, Reino Unido: Printed in Belgium
- Conagua (2017). *Sistema hidrológico del Valle de México*. Distrito Federal, México.
- Conagua (2018). *Decreto de reserva de aguas, no privatizar el agua. Garantizar el agua para el consumo humano de generaciones venideras*. Comunicado, Conagua, ciudad de México.
- De la Torre Karen, L. I. (20 de junio de 2018). ¿Los decretos firmados por Peña Nieto privatizan el agua? *El siglo de Torreón*.
- Development, T. U. (2003). *Managing Water under Uncertainty and Risk*. World Water Development Report (wwdr). United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- Diario Oficial de la Federación (2018). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Tomo DCCLXXVII* (7), pág. 127.
- Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos (2016). *Ley de Aguas Nacionales*. Ciudad de México: Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión.
- Jalife-Rahem, A. (2015). *Las guerras globales del agua*.
- Kuklinski, C. (2011). *Medio ambiente sanidad y gestión*, México: Omega.
- La Nación. (8 de Abril de 2009). La crisis económica mundial comenzará a ceder en 2010. *Artículo en cultura*, pág. 3.
- Moreno Alvarado, T. (21 de Junio de 2018). *Eliminación de vedas en cuencas, daría el 65 por ciento del agua en concesiones*. UNESCO.
- Informe Mundial Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (2018). *Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. World Water Forum. Brasilia: UNESCO.
- Palacios Vélez, Oscar Luis. (2016). Tecnología y ciencia del agua. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200005
- Raskin, P. B. (2002). *Great Transition: The Promise and Lure of the Times Ahead*. Institute, Stockholm Environment Institute and Tellus, 110.
- Unión, H. C. (2016). *Ley de aguas nacionales*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Participación: un desafío para la Ley General de Aguas. El caso del Valle de México

Lourdes Romero Navarrete

Introducción

El manejo del agua en contextos urbanos se mantiene como un desafío permanente para el diseño de políticas públicas. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)¹ puede observarse como un ejemplo paradigmático de un patrón de metropolización asociado a una política económica que ha desatendido un desarrollo regional equilibrado y, en cambio, ha priorizado la relación entre crecimiento económico y expansión urbana. El resultado ha sido la configuración de escenarios de escasez del recurso, inequidad en su distribución, baja calidad del agua para consumo humano, saneamiento insuficiente y elevados costos en la provisión del líquido, entre otros (Banco Mundial, 2013).

Con un secular antecedente de concentración poblacional, económica y política, el Valle de México entró en una fuerte etapa de expansión bajo el modelo neoliberal, agudizada en la última década. Bajo este modelo, la metropolización está dirigida a crear condiciones para hacer del espacio urbano un medio para la reproducción del capital. Este esquema ha favorecido de manera particular a la ZMVM, que contribuye con el 23% del PIB nacional, el más alto del país procedente de una zona metropolitana. No obstante, de acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) si se compara con otras zonas metropolitanas de países pertenecientes al organismo, con una población equiparable, e incluso menor, como Londres y París,² el resultado es desalentador, ya que éstas producen hasta el 30% del PIB nacional (OCDE, 2015: 5). De

¹ Una amplia literatura se ha producido en torno a la ZMVM, abordando desde los criterios para su definición, hasta el análisis de su comportamiento económico y demográfico, sus fundamentos y lógicas político-jurisdiccionales, etc. Aquí se retoma el criterio de SEDESOL-CONAPO-INEGI (2010: 25), que "define como zona metropolitana al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, 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, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica". A esta definición suma criterios demográficos y jerarquizables del espacio urbano. Así, la ZMVM comprende 76 municipios, 59 del Estado de México, 16 alcaldías de la Ciudad de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo.

² En 2018 la metrópoli londinense registró 9,046,000 hbs., la de París 10,901,000, y la ZMCM 21,581,000 (ONU, 2018).

manera que en el caso que nos ocupa, la política centrada en la ocupación intensiva del espacio urbano, además de no haber conseguido los estándares del modelo neoliberal relativos al crecimiento urbano-económico de los países desarrollados, ha provocado un impacto ambiental de enormes proporciones, agravado por los notorios efectos del cambio climático.³

Con el paradigma neoliberal en franca crisis, se ha complejizado el fenómeno urbano. Se han identificado desde lógicas que se distancian del modelo, evidenciando un cambio civilizatorio en las formas de aglomeración humana (Toledo y Espejel, 2014), hasta tendencias diferenciadas en los patrones de acumulación asociados al crecimiento de las metrópolis a nivel mundial. Este último fenómeno ha hecho necesaria la reconceptualización de la cuestión urbana, dando paso a conceptos como *metápolis*, ciudades difusas o postmetrópolis, entre otros, mediante los cuales se busca redefinir las escalas tradicionales que operan en torno a la mega urbanización (González, 2019). Dentro de esta complejidad, el crecimiento de las urbes es una variable que sigue informando sobre su dinámica y que respecto a la ZMVM tampoco se adecua a algunas de las tendencias mostradas por los países desarrollados. Con datos de la ONU (2014), en la actualidad, el mayor crecimiento urbano se registra en países *en desarrollo*, al mismo tiempo que es en sus ciudades donde se ha incrementado el acceso al agua y al saneamiento. Pero uno de los rasgos presentes en países cuyo desarrollo se basó en economías de gran escala, es que la tendencia se ha revertido en función de políticas enfocadas a un desarrollo regional más equilibrado, que además resulta más eficiente (Frick y Rodríguez, 2018). De este modo, las zonas metropolitanas están experimentando comportamientos diferenciados en función de políticas y procesos que ambientalmente también tienen impactos desiguales; en el caso de los países *en desarrollo*, reforzando un patrón de concentración urbana, agudizando los impactos sobre el medio, en tanto otros, han orientado el crecimiento de las urbes hacia una mayor adaptación a los cambios ambientales y reconociendo al componente humano como una variable crítica.

Esta colaboración tiene como propósito aproximarse a un aspecto de esta variable, en concreto, la participación en las plataformas institucionalizadas para la toma de decisiones sobre el agua. Se pondrá atención en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992, y sus reformas de 2004, así como en el tratamiento que dieron al tema, la iniciativa y propuesta oficial de Ley General de Aguas en 2015 y 2018, respectivamente. De igual manera se abordará la aprobada, más no promulgada, Ley de Sustentabilidad Hídrica de la Ciudad de México, de 2017. Finalmente, nos referiremos de manera muy breve a la noción de ciudadanía ambiental y gobernanza del agua, que bajo el paradigma neoliberal han buscado que la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) considere la participación plural de actores en la toma de decisiones, pero que dado el mapa de conflictos ambientales que enfrenta México en los años recientes, su eficacia está a discusión, obligando a replantear los modos de la participación formal, reto que tiene ante sí la Ley General de Aguas que deberá promulgarse.

³ Durante el Taller *Water, climate change and disasters*, realizado en el Instituto de Geología de la UNAM en mayo de 2019, Priyadarsi Roy, investigador del Instituto, afirmó que “*la carencia de agua y desastres como sequías, inundaciones, deslizamientos y subsidencia están asociados con el calentamiento global y la urbanización descontrolada*”, escenario que ha colocado a la Ciudad de México en la lista del llamado “día cero” o sin agua disponible (Dirección General de Comunicación Social/UNAM, 2019).

De la captura política a la democratización de las decisiones o de la Ley de Aguas Nacionales a la Ley General de Aguas

Esta aproximación es eminentemente histórica y comparativa de los esquemas de participación planteados en los instrumentos e iniciativas citados arriba. Parte de la premisa de que, dada su condición de índole vital, finita, indispensable para la actividad económica, y una geografía desigual, entre otros, la participación constituye una práctica organizativa indispensable para acceder al agua, sin embargo, sus formas son históricas y enfrentan el desafío de perfeccionarse de acuerdo a los rasgos que demanda un bien como éste. Así, trátese de los arreglos institucionales, conocimientos, percepciones o prácticas culturales, todos son elementos que dotan de contenido a las formas de interacción humana con el agua, por lo que identificar sus componentes y dinámica, se presenta como una acción sin la cual es posible atender a este perfeccionamiento, ni a su cuidado y conservación.

En México, la participación acotada en marcos institucionales en materia de agua tiene una historia de largo plazo (Romero, 2016). Los arreglos actuales tienen como marco de referencia el modelo de democracia republicana formalizado en la Constitución Política de 1917, específicamente, se desprenden del concepto de propiedad nacional asentado en el artículo 27. Este es, quizás, uno de los principios que dotó de mayor contenido democratizador a la relación social con los recursos del territorio. La función garante de este principio está conferida al Estado, visto como una institución cuya hegemonía es resultado, igualmente, de procesos históricos particulares y al que se le reconoce un poder cualitativamente diferente a todos los demás (autárquico y coercitivo). A través del concepto de propiedad nacional se relacionó la participación a una necesidad práctica de organización, pero también a un derecho o garantía individual que hizo del agua un tema que compete a la ciudadanía en un amplio sentido.

Como anotamos arriba, las formas de los arreglos institucionales son históricas y en el caso de la participación formal en torno al agua, el rasgo principal reciente es que bajo el esquema neoliberal, el principio de propiedad nacional fue vaciado de contenido. Desde 1992, el marco vigente que regula la participación es la Ley de Aguas Nacionales, que estableció a los Consejos de Cuenca como órganos colegiados para concertar la formulación y la ejecución de programas entre los usuarios, organizaciones sociales y el poder público, principalmente.⁴ Estos espacios correspondieron a la implementación del modelo de desregulación neoliberal, de manera que su diseño respondió al interés por acotar la preeminencia del Estado en la gestión, política que además de poner en crisis al concepto de propiedad nacional, en el caso de los Consejos de Cuenca, ha devenido en un mecanismo a partir del cual se ha sancionado legalmente la concentración del poder decisorio en un sector privilegiado de usuarios y grupos de interés.

En un trabajo reciente (Romero y Olvera, 2018) se planteó que en la gestión por cuencas está implícito un principio de verdad comúnmente aceptado, según el cual esta política se basa

⁴ LAN, art. 13, identifica a los Consejos de Cuenca como “órganos colegiados de integración mixta” con funciones de “coordinación, concertación, apoyo, consulta y asesoría referidas en la mencionada fracción están orientadas a formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca[...]”.

en una razón natural: la medición de los ciclos hidrológicos de las grandes cuencas. La realidad es que este paradigma encubre lógicas económicas favorables a específicos grupos de interés, que prácticamente han capturado la representación en los Consejos de Cuenca. En efecto, hasta ahora, mediante diversos mecanismos se ha privilegiado el beneficio económico de un sector de usuarios y/o grupos de interés, algunos de ellos subsumidos en la alta burocracia del agua y detentadores reales del poder decisorio de los consejos. Dentro de estos mecanismos ponemos énfasis en dos: la descentralización y la política ofertista por sobre la conservación. Bajo la política neoliberal, la primera supuso ampliar la participación de los usuarios en la toma de decisiones, no obstante, operó bajo una lógica de exclusión con base en la ambigua clasificación de usuarios y concesionarios presente en la ley de 1992, matizada en las reformas de 2004, pero que en la práctica, el criterio de elegibilidad para integrar el consejo fue detentar un título de concesión según un uso. Para el Consejo de Cuenca del Valle de México (CCVM), la definición de usuario es clara:⁵

Usuario: [es] toda aquella persona física o moral que, en el ámbito territorial del Consejo, cuente con un título de concesión o asignación para el uso o explotación de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes; así como aquella persona física o moral con un permiso de descarga de aguas residuales (CCVM, 2011).⁶

Esta política generó una inmediata verticalización de la representación en los Consejos de Cuenca, que, además de otorgarles competencia sobre extensiones ingentes de territorio, minimizó la participación de importantísimos actores, como ocurrió con el sector campesino organizado, obviando que poco más del 50% del territorio nacional está bajo propiedad ejidal. De tal modo, que aunque no es el único espacio para concretar acuerdos y de que en términos formales, tales órganos no son vinculantes, ni dependientes de la autoridad del agua, los consejos operan como el espacio por excelencia para validar decisiones mediadas por relaciones de poder desiguales. Dentro de esta misma política descentralizadora, se dio el otorgamiento de amplios tramos de la gestión al sector privado (Romero, 2018).⁷ Por otra parte, el otro mecanismo para empoderar a un sector de empresarios privados, tanto nacionales como extranjeros, fue privilegiar la política ofertista, que hizo de la demanda de obra pública una vía para hacer de la construcción de infraestructura hidráulica un sustancioso negocio, que, como mencionaremos más adelante, se caracteriza por una ominosa opacidad en su administración.

⁵ Otros dos rasgos de marcada ambigüedad en los instrumentos de gestión, es el carácter vinculante de las decisiones tomadas en el seno de los consejos y la condición de órgano autónomo de la estructura burocrática de la autoridad del agua. En la práctica, las decisiones oficiales están supeditadas a las reglas de poder que operan en el seno de los consejos y su logística está hecha con recursos de la propia autoridad del agua.

⁶ La iniciativa conocida como Ley Korenfeld identificó como usuario a la "Persona física o moral que recibe servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento, disposición de aguas residuales y de riego" (artículo 10-LXI) (Cámara de Diputados, 2015).

⁷ La conceptualización de la "descentralización" como política, ha resultado confusa y permisiva para el desplazamiento de competencias y atribuciones del espacio público al privado. Así, el debate en torno a la descentralización y desconcentración de los organismos operadores de agua es una asignatura pendiente en el debate (Romero, 2018).

Una descripción breve sobre la forma como se fue concretando la participación bajo esta lógica, inicia, entonces, con la Ley de Aguas Nacionales de 1992, que sólo contiene un escueto artículo sobre los Consejos de Cuenca (capítulo IV-13) y otro sobre la Organización de los Usuarios (capítulo V-14). De hecho, la instalación de los consejos fue un proceso gradual, pues de los 26 consejos existentes hasta ahora, 23 se crearon entre el año 1999 y 2000.⁸ A pesar del lacónico tratamiento, desde su origen favoreció una estructura de exclusión al supeditar la elegibilidad de los representantes dentro de los consejos, a los tenedores de un título de concesión. Asimismo, abrió la participación a las organizaciones ambientalistas, civiles e instituciones académicas, que fungieron sólo como invitados, con voz pero no con voto, ni con capacidad para ocupar la presidencia del Consejo, éstas fueron prerrogativas conferidas de manera paulatina. En un capítulo distinto, la LAN aludió a la “Organización y participación de los usuarios”, por lo que tanto los Consejos de Cuenca como la promoción a la organización tuvieron como principal destinatario a los usuarios reconocidos con un título de concesión.

A diferencia de la LAN de 1992, las reformas de 2004 dedicaron un detallado articulado alrededor de la participación en tres capítulos: Consejos de Cuenca (capítulo IV); Organización y participación de los usuarios y de la sociedad (capítulo V); y Consejo Consultivo del Agua (capítulo V bis), englobados en el título II, “Administración del Agua”. Todo ello en el marco de la GIRH, que por primera vez fue sancionada en la legislación.

Del articulado destinado a los Consejos de Cuenca, destaca el 13 Bis 2, que comina a la Comisión Nacional del Agua (Conagua) a asegurarse que los vocales elegidos en Asamblea General de Usuarios, tengan una “proporcionalidad en la representación de los usos”. Dicha representatividad se determinaría de acuerdo a unas Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento del Consejo de Cuenca, e inclusive marcó los siguientes porcentajes: no menos del 50% para los usuarios, 35% “cuando más” a los gobiernos estatales y municipales de la circunscripción territorial del consejo respectivo, y el resto en función de los organismos sectoriales del gobierno federal.

Cabe señalar que, desde etapas anteriores a las reformas de 2004, existían unas Reglas de Operación, meramente informativas, que no enfatizaban la necesidad de buscar una representatividad plural. A raíz de las reformas de 2004, prácticamente todos los Consejos de Cuenca integraron unas reglas propias, pero que no son sino formatos originados en la propia Comisión, que no establecen criterios de transparencia en la elección, ni mucho menos aluden a la forma como se garantizará una cabal y equitativa representación.

El CCVM fue el segundo del país en instalarse (1996). Desde su creación, estuvo presidido por la propia directiva de la Conagua. Desde el año 2000, coincidente con el primer gobierno de extracción panista a nivel federal, la alta burocracia del agua ha sido permeada por la presencia de poderosos actores políticos y económicos, con intereses empresariales dedicados a la construcción de obra pública (red hidráulica, represamientos, etc.), de modo que una combinación de alta burocracia del agua, tanto a nivel federal como local (Sistema de Aguas de la Ciudad de

⁸ Si se asocia la política de gestión por cuencas y la metropolización, no es casual que los primeros dos Consejo de Cuenca correspondieran al Lerma-Santiago (1993) y del Valle de México (1996).

México-Sacmex, Comisión del Agua del Estado de México) e integrantes del empresariado asociados en la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS), son quienes han venido fungiendo como presidentes del ccvm (Romero y Olvera, 2018).

Un aspecto que no es posible desarrollar aquí, pero que ilustra la profunda opacidad con la que se maneja el agua en el Valle de México, es el llamado Fideicomiso 1928, un cuantioso fondo integrado por los gobiernos de la Ciudad México y Estado de México para la construcción de obra pública hidráulica (SHCP, 2015). Junto a ambos gobiernos, el fideicomiso es manejado desde la cúpula de la Conagua, del ccvm y la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS), y constituye una de las asignaturas pendientes no solamente para el tema de la opacidad en la administración de recursos públicos, también pone de manifiesto la magnitud de intereses económicos en juego, donde el ccvm aparece como un actor que fomenta una política basada en el ofertismo con ganancias que resultan abrumadoras, más que en el cuidado y conservación de los recursos hídricos propios.

La normatividad posterior a las reformas a la LAN de 2004 relacionadas con la participación, se planteó a raíz del decreto que modificó la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el año 2012, la cual garantizó el derecho humano al agua. La reforma procedió de los compromisos internacionales a los que México está adherido en materia de agua, específicamente el acuerdo que validó el derecho humano al agua refrendado por la ONU en 2010 (ONU, 2010). Con base en este compromiso y otros generados en torno al tema, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos fue reformada con la importante inclusión de este derecho como una garantía constitucional (artículo 4).⁹

Aunque este decreto asentó en un artículo transitorio la obligatoriedad para instrumentarlo en la Ley General de Aguas, en un periodo no mayor a 360 días, fue hasta 2015 que el congreso recibió la primer propuesta, conocida como Ley Korenfeld, en alusión al director de la Conagua, David Korenfeld, impulsor de la iniciativa. En el tema de la participación, ésta reprodujo lo preceptuado en 2004 para los Consejos de Cuenca (Cámara de Diputados, 2015). De un total de 268 artículos que consta la iniciativa, el de los consejos se desarrolla del 55 al 60. En ella se reduce la representación del gobierno federal a 10%; misma que se trasladó a los concesionarios y organizaciones de la sociedad civil, aumentando de esta manera su representación a 60%, y asignó un 30% a los gobiernos locales. Respecto al capítulo que la LAN estableció para el Consejo Consultivo, es retomado como "Instituciones de Participación Ciudadana". En suma, la iniciativa no presenta ningún cambio significativo en torno a la integración y modalidades de la participación. La propuesta se enfrentó a una multitudinaria movilización que demandó la inclusión en el debate de una iniciativa ciudadana, e impidió su aprobación, de manera que fue desechada.

⁹ La reforma asienta: "Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines" *Diario Oficial de la Federación*, 8 de febrero de 2012.

La siguiente propuesta de Ley General de Aguas tratada en el congreso mexicano provino, de nueva cuenta, del ámbito oficial en el año 2018. No pasó de ser solo *Borrador del articulado para el proyecto de iniciativa Ley General de Aguas* —que no iniciativa—, conocida como Ley Pichardo,¹⁰ en alusión al presidente de la Comisión de Agua y Saneamiento de la LXIII legislatura (2018). La propuesta fue una copia de las reformas de 2004 a la LAN, y de la iniciativa Korenfeld, sólo que en este caso su contenido es extremadamente confuso y pobre en técnica jurídica. Así, relega los Consejos de Cuenca al penúltimo título, el V, denominado “Educación, investigación científica y tecnológica, información, transparencia y participación ciudadana”, y consiguientemente desvinculado del título “Gestión de Agua” (Título IV), diferencia importante respecto de la LAN, que desde 1992 los integró al título de “Administración del Agua”. La confusión se agrava porque los Consejos de Cuenca están referidos en múltiples lugares, identificándolos como mecanismos de gestión, por ejemplo, en el Título II, “Distribución de competencias, coordinación y de las autoridades federales”, donde los ubica como “órganos auxiliares de las autoridades competentes para la aplicación de la ley” (artículo 13). Más preocupante aún resulta la desaparición de la asamblea como principal órgano de funcionamiento de los consejos; la indefinición de los usuarios; así como la restricción a la participación no gubernamental, condicionada a la “invitación que les formule el Titular de la Secretaría” (artículo 219). Una propuesta interesante lo constituye la consulta pública como atribución de la Conagua, pero en general fue una propuesta desestructurada, que reforzó la gestión vertical y difuminó la participación de la ciudadanía.

Finalmente, está la Ley de Sustentabilidad Hídrica de la Ciudad de México, un instrumento que si bien fue aprobado por la Asamblea Legislativa de la Ciudad de México en noviembre de 2017, no fue promulgado por el jefe de gobierno. Las razones podrían ser numerosas, pero para el tema que aquí nos ocupa, se puede calificar como una pieza de retórica, más que un marco legal a partir del cual se instrumente una gestión orientada a garantizar el derecho humano al agua. El concepto “participación ciudadana”, sin duda, es uno de los más recurrentes, se le menciona en al menos 11 de los 163 artículos de que consta, identificándosele como un “instrumento de política de gestión de los recursos hídricos” o “para la gestión sustentable de los recursos hídricos”, sin embargo, carece de una plataforma ex profeso, es decir, no contiene un planteamiento preciso sobre los mecanismos a partir de los cuales se instrumentalizará dicha participación.

Tanto la iniciativa como el borrador de proyecto fueron intentos fallidos por atender al decreto de 2012 sobre el derecho humano al agua. Una activa movilización ciudadana pugnó porque se ventilara en ambas cámaras del congreso una iniciativa diferente (Romero, 2015), que aunque no fue discutida, mostró la ilegitimidad de los procesos seguidos en el tratamiento de las iniciativas oficiales y ley local, en el Congreso de la Unión y Asamblea Legislativa, respectivamente. En todos los casos evidenció que hay un déficit de representación política en los órganos habituales y que, en el tema del agua, cada vez será mayor la resistencia de la sociedad a permanecer al margen.

¹⁰ La Ley Pichardo permaneció como borrador durante la Legislatura LXIII.

Paradigmas de la participación a debate: entre la gobernanza, la ciudadanía ambiental y la ciudadanía sin adjetivos pero con referentes propios

El factor humano y la necesidad de involucrar a la sociedad en la solución de los problemas ambientales forma parte de la agenda global desde hace varias décadas. Su importancia creció concomitantemente a los problemas de orden ambiental, resultado de la intensificación en el uso de los bienes naturales según el modelo neoliberal. Con información proveniente de organismos internacionales, privilegiadamente el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), o bien de estudios generados en instituciones públicas, tales como centros de investigación y universidades, y los producidos por los propios organismos sectoriales en buena parte del mundo, se documentó el nivel de degradación de las condiciones para la vida en el planeta, por lo que una multiplicidad de paradigmas se han propuesto bajo el liderazgo de la propia ONU, a fin de diseñar políticas públicas de carácter pro-ambiental, donde la participación de individuos y colectivos tiene un papel central. En el tema del agua está la GIRH (IWRM por sus siglas en inglés), y la gobernanza del agua (Murillo, 2012), mientras que en el ambiental está la llamada ciudadanía ambiental global (ONU, 2005; Pacheco-Vega, 2006). El primero impulsó un manejo integral tomando como unidad de gestión a la cuenca, interrelacionando factores humanos y no humanos, bajo dos objetivos principales: la sustentabilidad y la equidad (Allan y Rieu-Clarke, 2010: 240). El segundo identificó los problemas en torno al agua como una falta de gobernanza, enfocándose en la necesidad de construir espacios para la deliberación en correspondencia a marcos democráticos (Alfie, 2013), y el tercero ha pugnado por hacer del derecho y la identidad política de ciudadanía, instrumentos que garanticen la calidad de vida de las poblaciones y coayuven a revertir los efectos de la degradación ambiental.

Los resultados y alcance de estas pautas motivadas por el interés común de promover plataformas de participación a fin de construir consensos entre diversos actores e intereses plurales, pero donde son particularmente difusas las fronteras entre lo público y privado, ha dado lugar a un escrutinio cada vez mayor. Dos enfoques se pueden distinguir en este balance, los que se ocupan de procesos macro o globales, y los que provienen de estudios situacionales concretos. En el primero, destacamos a Swyngedouw (2005), para quien la gobernanza impulsada por organismos multilaterales tendría una doble (contradictoria) expresión en el desempeño democrático, en la medida en que el poder decisivo realmente se ubica fuera de los gobiernos nacionales, al supeditarse a acuerdos internacionales, y, sobre todo, a políticas de financiamiento externas (del Banco Mundial, por ejemplo). Por su parte, Hirano (2016) considera que si bien el BM ha dispuesto diversos mecanismos de participación en procesos legales iniciados contra inversionistas en abasto urbano de agua, como la intervención de árbitros internacionales y de ONG's, favoreciendo de algún modo el derecho humano al agua en los países destinatarios de los créditos, los potentes recursos legales internacionales finalmente respaldan a los inversionistas y gestores del financiamiento, a la vez que no se garantiza, necesariamente, un balance positivo entre el costo de recuperación de la inversión y la asequibilidad del servicio a la población. A ello

se suma, además, que el ejercicio soberano de los gobiernos nacionales se ve condicionado a los intereses, políticas y prioridades extragubernamentales, que no siempre coinciden con los de las poblaciones locales.

Para Gudynas (2009: 93) la ciudadanía ambiental es un concepto que involucra desde tradiciones jurídicas clásicas, hasta recientes elaboraciones y su fortalecimiento: "Requiere potenciar instrumentos y garantías que aseguren la participación, el acceso a la información, y el ejercicio de un control social sobre los recursos naturales". De por sí compleja, la relación Estado-ciudadano, con miras a hacer del acceso a un ambiente sano un derecho, conlleva desde el planteamiento de nuevas obligaciones y derechos, hasta la reelaboración de las implicaciones del republicanismo. Asimismo, ya se trate del ámbito académico o del espacio de toma de decisiones, la noción de ciudadanía debe estar cruzado por el tema ambiental, pero no en general, de acuerdo con Gudynas, las "meta-ciudadanías ecológicas" constituyen un referente necesario si el propósito es considerar aproximaciones alternativas a la cuestión ambiental.

El segundo tipo de balance, es decir, el que parte de estudios de caso, ha exhibido diversas limitaciones a los modelos participativos arriba señalados. En su mayoría el balance está dirigido a evaluar, en la práctica, la calidad de la participación. Marc Parés (2011) analiza el manejo del agua en dos regiones de España (ríos Ebro y Tar) donde se implementó la participación bajo el modelo europeo *Water Framework Directive*, con el objetivo de prevenir conflictos mediante la deliberación. Parés concluye que si bien se lograron transformar acciones colectivas contestatarias en acciones de consenso, pone en duda la calidad de la participación, por lo que plantea la pertinencia de cuestionamientos como: ¿la deliberación consigue niveles de equidad y libertad o solo previene conflictos?, ¿la participación democrática es solo deliberación, reproduciendo la geometría del poder?, ¿más allá de la meta de gobernanza, dónde queda el debate político?

El estudio de Orlove, Renso, Podestá y Kenneth (2011: 117-118), sobre la presencia de intereses público-privados en la generación de información sobre clima o estado del tiempo en tres países de Latinoamérica, discute cómo afecta esta relación público-privada a la praxis de una ciudadanía ambiental. Uno de sus puntos de partida consiste en observar tres dimensiones implicadas en la construcción de ciudadanía:

Dimensión legal: centrada en el status formal de ciudadanía, definida por derechos civiles, sociales y políticos, considerando el alcance de la autonomía personal y las distintas expresiones de libertad.

Dimensión procesal: dirigida a la formulación de una ley y otras instituciones políticas, que consideren el rol del ciudadano, particularmente a través de una participación directa y de la democracia representativa en diferentes formas y diferentes escalas.

Dimensión identitaria: basada en el sentido de membresía/pertenencia a una colectividad, respondiendo a cuestiones críticas en la noción de ciudadanía como una identidad, y específicas formas de incorporación a la colectividad.

Estas dimensiones, de acuerdo a los autores, están condicionadas por la posición de los individuos dentro de las colectividades políticas, constituidas en parte a través de conexiones con territorios con características ambientales específicas, tales como topografía, clima, biomas y

recursos. En un contexto de cambio climático, conocer la situación de estos elementos en sus entornos, se presenta, así, como una condición sin la cual, los habitantes de una región determinada pueden ejercer un derecho fundamental involucrado en una ciudadanía ambiental, el acceso a la información, que al mismo tiempo aseguraría la contención de los riesgos asociados a la variabilidad climática. De este modo, este tipo de derechos particularizan a la ciudadanía ambiental, sumándose a los de equidad, transparencia, rendición de cuentas y promoción de objetivos colectivos.

En este marco, un rasgo que define la construcción de la ciudadanía ambiental es la necesidad de considerar a la pluralidad cultural, diversidad geográfica, desigual situación económica y social, pero, sobre todo, que las sociedades se caracterizan por una pluralidad cultural; son las prácticas culturales, los referentes identitarios propios, las que deben modular y moldear la participación en la toma de decisiones respecto del vital líquido. En suma, uno de los principales desafíos para el diseño de la Ley General de Agua es volver a dotar de contenido al principio de propiedad nacional, construyendo ciudadanía desde abajo, a través de políticas *bottom-up*. Los ciudadanos deben estar informados cotidianamente sobre la calidad del agua que es distribuida a través de la red pública, sobre la índole, el costo y el manejo de las obras. En este contexto, en virtud de la coyuntura política que vive México, la revisión de los esquemas de participación tienen el compromiso de apuntar a un reforzamiento de la redistribución del poder de decisión y con ello de los parámetros democráticos, así como de involucrar al conjunto de la sociedad de prácticas sustentables y en el cuidado de los bienes naturales como el agua.

Es así, que a pesar de la persistencia y volumen de los recursos destinados a estos programas, ni la GIRH, ni la gobernanza del agua (Murillo, 2012; Allan y Rieu-Clarke, 2010), o la ciudadanía ambiental (Orlove, Taddei, Podestá y Kenneth, 2011), promovidas por organismos internacionales como el PNUMA, han conseguido una mayor calidad en los niveles de participación. Frente a ello, en cambio, lo que no ha cesado es la movilización social en defensa de sus territorios y recursos, colocando en el eje de la discusión la contradicción de intereses privados versus intereses locales, que ha dado lugar a la conformación de redes de acción conjunta a nivel global.

En este contexto, sin embargo, la ciudadanía ambiental aparece como un buen punto de partida para el debate alrededor de las formas que debe adquirir una participación con contenido democrático y equitativo. Como afirma Pacheco-Vega (2006:156), la ciudadanía ambiental global es un concepto que engloba derechos, pero también obligaciones. De igual manera, “usando esta perspectiva, la ciudadanía ambiental global significaría preocuparse por el medio ambiente, independientemente de la nacionalidad del individuo”. Lograrlo, sin duda, conlleva la necesidad de hacer las preguntas críticas pertinentes, para determinar mejores niveles de gobernanza.

Conclusiones

La participación de la ciudadanía en las decisiones sobre el agua obedece a las propias características de un recurso de uso común. En México también le compete por el principio constitucional de propiedad nacional. De modo que la inclusión de la sociedad en las decisiones, además de ser

un derecho, es una condición sin la cual no se puede hacer frente a un escenario de escasez y de degradación como el que presenta la ZMVM.

Un breve acercamiento a las modalidades de participación social, dispuestas en la legislación a partir de 1992, advierte que, acorde al modelo económico neoliberal, la LAN, promulgada en aquel año, creó estructuras que favorecieron la concentración del poder decisorio en un sector de usuarios y grupos de interés. En efecto, los Consejos de Cuenca o espacios de concertación entre actores estatales, económicos y sociales, cancelaron la posibilidad de construir una representación amplia, vinculante y efectiva del espectro de actores involucrados en una problemática que atañe a la población en su conjunto.

Bajo mecanismos tales como la descentralización y el ofertismo, se trasladaron tramos de la gestión al ámbito de los particulares, se hizo de los consejos de cuenca un espacio para legitimar decisiones tomadas bajo lógicas de poder desiguales, a la vez que se empoderó a un sector privilegiado de usuarios y/o empresarios vinculados tanto a actividades económicas con alta demanda del líquido, o bien haciendo de la obra pública un jugoso negocio.

Como se mencionó arriba, el empoderamiento de un sector específico de usuarios en los Consejos de Cuenca, deriva, justamente, de este paradigma de gestión basado en la cuenca hidrológica. No obstante que remite a un manejo basado en la medición del ciclo hidrológico de las cuencas, tal como opera, confiere a un sector reducido de actores el poder de decisión. Pero igualmente, este paradigma no necesariamente tiene un correlato social, las prácticas organizativas respecto al territorio, obedecen a mediaciones diversas, expresadas, entre otras formas, en la propiedad de los recursos, en las relaciones simbólicas con el entorno, en esquemas de organización política, diversos niveles de gobierno, es decir, las cuencas no definen las acciones sociales, sino exactamente al contrario. Una pluralidad de procesos y prácticas se llevan a cabo independientemente de la gestión por cuenca y de los Consejos, y a diferentes escalas especio-temporales.

La consecuencia de esta divergencia es una política que constriñe e impone decisiones, éstas se traducen en inequidad, restricciones en el acceso al agua, la exclusión de las mayorías en la toma de decisiones, escasas o nulas condiciones para el cuidado y conservación del líquido, es decir, crean entornos desfavorables para la vida, ya sea disminuyendo su disponibilidad o degradando su calidad.

Construir esquemas de participación amplia, que consideren la autogestión, por ejemplo, es crear condiciones para conducir comportamientos en un sentido favorable al cuidado y conservación del recurso, o bien, favorecer los que ya están internalizados bajo esta orientación. Es decir, en confrontar una legislación que coarta la libertad, a una que toma como punto de partida y la retroalimenta.

Por otra parte, resolver problemáticas metropolitanas, tiene en la inclusión plural, vinculante y permanente de la sociedad en la toma de decisiones, una vía idónea para la concreción del principio de propiedad nacional establecido en el artículo 27 de la Constitución Política, que de este modo se configura como condición sin la cual se puede garantizar el derecho humano al agua, al tiempo que puede coadyuvar a la democratización de la política económica en beneficio de un equilibrio regional.

El diseño de la Ley General de Aguas requiere, así, un tratamiento innovador y cuidadoso en términos jurídicos, que asegure un derecho humano al agua, medible más que en volúmenes diarios, en la suficiencia, la asequibilidad y la calidad óptimas para la vida. Asimismo, deberá atender demandas cardinales de la sociedad civil organizada, grupos de académicos y de la representación ciudadana en el poder legislativo, principalmente, como la necesidad de deconstruir los mecanismos que han permitido una franca renuncia del Estado a sus competencias en materia hídrica, desplazando facultades y poder de decisión al ámbito privado. Sólo bajo esta lógica se volverá a dotar de sentido al principio de propiedad nacional, uno de los icónicos conceptos de la Constitución Política vigente.

Referencias

- Alfie, M. (2013). Democracia deliberativa y gobernanza ambiental: ¿conceptos transversales de una nueva democracia ecológica? *Sociológica*. 28 (80), 73-122.
- Allan, A. y Rieu-Clarke. A. (2010). Good governance and IWRM-a legal perspective. *Irrigation and Drainage System*. (24) 239-248. DOI: 10.1007/s10795-010-9096-4
- Béland, D. y Hansen, R. (2000). Reforming the French Welfare State: Solidarity, Social Exclusion and the Three Crises of Citizenship. *West European Politics* 23 (1): 47-64
- Cámara de Diputados (2015, Febrero 6). *Diario de los Debates*, México.
- Cámara de Diputados (2018). *Borrador del articulado para el proyecto de iniciativa Ley General de Aguas*. Legislatura LXIII, Comisión de Agua y Saneamiento, México.
- CCVM (2011). *Reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca del Valle de México*. México.
- Banco Mundial (2013). *Agua urbana en el Valle de México: ¿un camino verde para mañana?*. México.
- Diario Oficial de la Federación (2012, Febrero 8). Decreto por el que se declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- Diario Oficial de la Federación (2004, Abril 29). DECRETO por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. México.
- Dirección General de Comunicación Social-UNAM (2019, Mayo 30). Ponencia de Priyadarsi Roy en el Taller *Water, climate change and disasters*. Instituto de Geología/UNAM. Boletín UNAM-DGCS-381.
- Frick, S. y Rodríguez, A. (2018). Big or small cities? On city size and economic growth. *Growth and Change*. 49 (1), 4-32. doi: 10.1111/grow.12232
- García-Ayllón, S. (2016). Rapid development as a factor of imbalance in urban growth of cities in Latin America: A perspective based on territorial indicators. *Habitat International* (58) 127-142. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397515300072>
- González, A. (2019, Mayo 22). Conflicto redistributivo y controversias socio-técnicas en el proyecto de trasvase de El Zapotillo-León. Escalas y temporalidades de un proyecto incierto. Ponencia Seminario *Megaproyectos: transformación del paisaje y conflictos socio-ambientales*.

- Gudynas, E. (2009). Ciudadanía ambiental y metaciudadanías ecológicas. Revisión y alternativas en América Latina. En: Reyes, J. y Castro, E. *Urgencia y utopía frente a la crisis de civilización*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara y Ayuntamiento de Zapopan, 58-101.
- Hirano, M. (2016). Public participation in the global regulatory governance of water services: Global administrative law perspective on the Inspection Panel of the World Bank and amicus curiae in investment arbitration. *Utilities Policy* (43), 21-31.
- Marshall, Th. (1950). *Citizenship and Social Class, and Other Essays*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Murillo, D. (2012). "Gobernanza del agua, conceptos consensos y disensos". En Daniel Murillo (coord.). *La gobernanza del agua: un desafío actual. Hacia una mirada crítica del concepto y de su aplicación*. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp. 39-78.
- OCDE (2015). *Estudios territoriales de la OCDE. Valle de México*, México. Síntesis del estudio. México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/56213/valle-de-mexico-OCDE.pdf>
- ONU (2005). *Proyecto Ciudadanía Ambiental Global*. PNUMA. México.
- ONU (2010). A/RES/64/292, 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. Nueva York.
- ONU (2014). Decenio Internacional para la Acción 'El agua fuente de vida' 2005-2015. http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cities.shtml Fecha de consulta 15/08/2018.
- ONU (2018). *The World's Cities in 2018*. [s.l.].
- Orlove, B., Tdpei, R., Podestá, G. & Kenneth, B. (2011). Environmental Citizenship in Latin America. *Latin American Research Review*, Special Issue, 116-140.
- Ley de Aguas Nacionales (1992, Febrero). *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Pacheco-Vega, R. (2006). Ciudadanía ambiental global. Un recorte analítico para el estudio de la sociedad civil transnacional. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*. XII (35).
- Parés, M. (2011). River Basin Management Planning with participation in Europe: From contested Hidropolitics to Governance-Beyond the State. *European Planning Studies*. 19 (3), 457-478.
- Romero, L. (2015, Septiembre 11). Notas sobre la Ley General de Aguas, *Boletín electrónico del Colegio de Etnólogos y Antropólogos Sociales*. México.
- Romero, L. (2016). Participación y legislación sobre agua en México. Una aproximación histórica. *Agua y Territorio*. Universidad de Jaén, España. 7, 22-34. doi: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v0i7>
- Romero Navarrete, L. y Olvera, M. (2018). Control del agua bajo el modelo de gestión por cuencas hidrológicas en México. 40 (86), 125-158. <https://revistaiztapalapa.itz.uam.mx/index.php/itz/article/view/86>
- Romero, L. (2018 Abril 18). ¿Privatización del agua en la Ciudad de México?. v CONGRESO de la Red de Investigadores Sociales sobre el Agua. El Colegio de San Luis San Luis Potosí, SLP, México. <https://redissa.files.wordpress.com/2018/04/c2bfprivatizac3b3n-del-agua-en-la-ciudad-de-mc3a9xico.pdf>
- Sacmex (2018). *Ley de Agua y Sustentabilidad hídrica*. En: <http://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/index/LeySustentabilidad.pdf>
- SEDESOL-CONAPO-INEGI (2010). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Delimitacion_zonas_metropolitanas_2010_Capitulos_I_a_IV

- SHCP (2015). *Cuenta de la Hacienda Pública Federal de 2015*, México. doi: <http://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2015/tomo/III/PEJ.06.IIFMA.pdf>
- Swyngedouw, Erik (2005). Governance innovation and the citizen: The Janus face of governance-beyond-the-state. *Urban Studies*. 42 (11), 1991-2006. doi.org/10.1080/00420980500279869
- Toledo, V. y Espejel, B. (2014). *México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad. Una geopolítica de las resistencias bioculturales*. México: Universidad Iberoamericana-Puebla.

Capítulo 2

Tratamiento y reuso del agua

Tratamiento y reuso del agua residual municipal como condicionante para el manejo sustentable del agua en centros urbanos

Adalberto Noyola Robles

Introducción

La región latinoamericana presenta un rezago importante en infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Ante la carencia de datos oficiales, se estima que un 56% de las aguas residuales municipales colectadas en la región entran en una planta de tratamiento (Noyola y Güereca, 2019), lo que corresponde con un 38% del caudal total generado. En México, la Conagua (2018) reporta que en 2017, del total de aguas residuales municipales generadas ($235\text{ m}^3/\text{s}$), el 91% se recolectó en sistemas de alcantarillado ($215\text{ m}^3/\text{s}$). De este caudal, el 63% entró a un sistema de tratamiento ($136\text{ m}^3/\text{s}$).

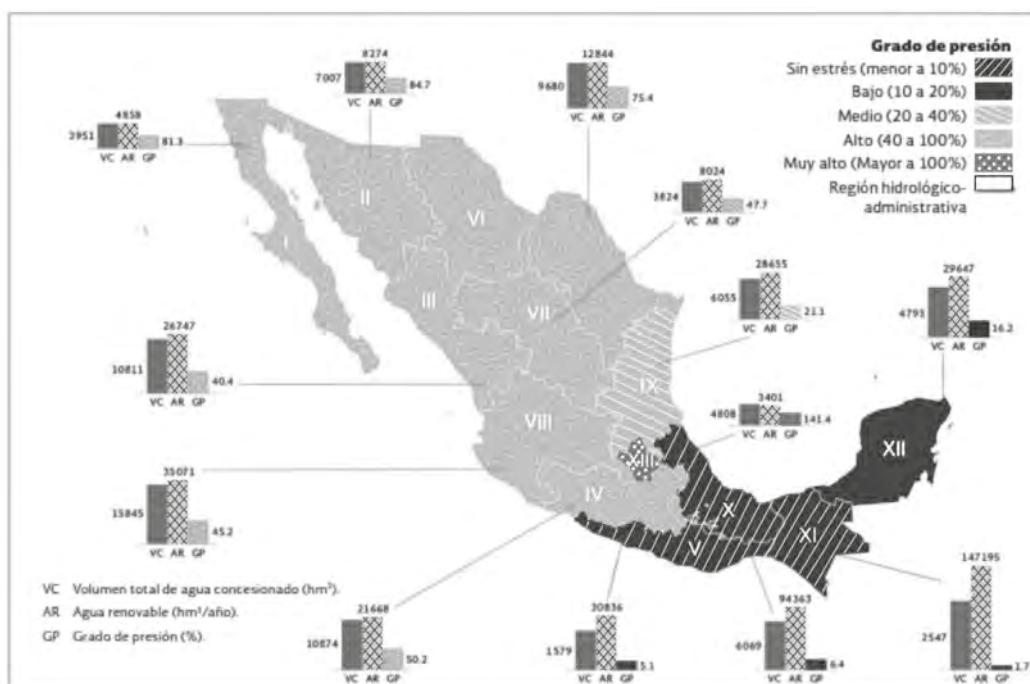
A pesar de las inversiones aplicadas en el sector, particularmente importantes en la primera década del presente siglo, la cobertura del servicio avanza lentamente. Es así que el crecimiento de la población incrementa la demanda del saneamiento, haciendo titánica la labor de los gobiernos por mejorar el suministro, recolección y tratamiento del agua a las poblaciones (Noyola *et al.*, 2010). El acceso al saneamiento mejorado en América Latina, ya sea con red de drenaje o sistemas de tratamiento y disposición *in situ* adecuados, es de 85% de sus habitantes. Al respecto, la población que tiene acceso a condiciones de saneamiento mejorado en la región se ubica predominantemente en el medio urbano (88%), con un 64% en el medio rural (WHO, 2015). Sobre este punto, se puede calificar como inconsistente el hecho de que alejar las aguas residuales de la población por medio de drenajes, sin incorporar una planta de tratamiento de aguas residuales al final del sistema, se considere como saneamiento mejorado por los organismos internacionales y los gobiernos nacionales.

Aparentemente, ni el impacto negativo al ecosistema causado por las descargas de aguas residuales crudas ni el daño a la salud pública han sido elementos suficientes para que el adecuado tratamiento de las aguas residuales sea considerado como una prioridad, tanto gubernamental como de la sociedad en la región. Es frustrante el hecho de que un gran número de plantas de

tratamiento municipales en México estén funcionando con graves deficiencias o simplemente abandonadas. Esta situación, particularmente presente en las instalaciones que dan servicio a pequeñas poblaciones, es un indicador de la situación de casi abandono en que se encuentra la vigilancia de la normativa de descarga de aguas residuales en México.

En México, el grado de presión (o estrés) sobre el agua (la relación del agua concesionada entre el agua renovable) tiene amplias variaciones. El sureste (Veracruz, Tabasco y Chiapas) tiene gran disponibilidad (muy bajo grado de presión hídrica) mientras que en el noroeste se tiene un alto grado de presión. La Figura 1 presenta el grado de presión sobre el recurso hídrico del país, donde destaca el Valle de México con un valor superior al 100%. Las regiones con un estrés cercano al 100% serían altamente prioritarias para aplicar ambiciosos programas de uso eficiente que incorporen un reúso generalizado.

**FIGURA 1
Grado de presión sobre el agua disponible en las diversas regiones hidrológicas de México (Conagua, 2018)**



Fuente: elaborado con base en Conagua (2017b), Conagua (2017c).

Fuera de la aplicación en riego agrícola, mayoritariamente con aguas residuales no tratadas, las experiencias de reúso son aún escasas en América Latina, frente al potencial que representa el aprovechamiento del recurso después de un primer uso. Conagua (2018) estima en 8.6 m³/s el caudal tratado que ha sustituido (intercambiado) agua de primer uso en México. Es de esperar

que en el marco del desarrollo sustentable y ante la amenaza de los efectos del cambio climático, el tratamiento de las aguas residuales podrá avanzar firmemente como resultado de la necesidad creciente de contar con volúmenes de agua que de otra forma no podrían ser suministrados. Con ello además se avanzará en el objetivo de reducir gases de efecto invernadero (GEI) mediante un adecuado manejo de las aguas residuales, al evitar la emisión de metano por descargas crudas a cuerpos de agua.

Para atender lo anterior, se requerirá de nueva infraestructura para el manejo y tratamiento de aguas residuales y de adecuaciones a la existente. En particular, las nuevas plantas de tratamiento por construir en regiones donde hay presión por el recurso hídrico deberán concebirse considerando las oportunidades de reúso presentes en su entorno. Los trenes de proceso deberán entonces ser integrados por operaciones y procesos unitarios que alcancen una calidad definida para el reúso destinado, y no únicamente para cumplir con una normativa de descarga al ambiente. Esto constituye un enfoque diferente que debe ser incorporado desde la ingeniería conceptual del sistema de tratamiento. Es también una oportunidad para seleccionar tecnologías adaptadas al caso específico, reconociendo las limitaciones técnicas y económicas que con frecuencia se presentan en el sector agua de América Latina.

Es claro que el manejo sustentable del agua requiere soluciones integrales, en muchos casos descentralizadas, que acerque la oferta a la demanda, y en donde se valore al agua como un recurso de múltiples usos escalonados. Un sistema capaz de brindar estos servicios debe ser administrado por organismos de agua y saneamiento eficientes y eficaces, atributos sólo encontrados en pocas ciudades de México.

La problemática del sector agua y saneamiento en México y el nuevo paradigma

A pesar de las décadas de esfuerzos e inversiones en el sector, la cobertura en saneamiento se encuentra rezagada. Si bien se identifican avances en el servicio de drenaje y fosa séptica en términos relativos (58.6% en 1990, 72.8% en 2000 y 91.4% en 2015), en números absolutos, son aún muchos los habitantes del país que no cuentan con este servicio (11 millones). Varios son los causales de la falta de servicio de abastecimiento, saneamiento y tratamiento del agua a nivel municipal. Uno fundamental es que, en los hechos, los tres niveles de gobierno y la sociedad no dan al agua su real valor: la cultura del no-pago y la vinculación de las tarifas con aspectos político-electorales son una realidad en el sector.

Un aspecto estructural, que en la práctica ha mostrado que no contribuye al adecuado servicio de agua y saneamiento, se encuentra plasmado en el artículo 115 de la Constitución. En efecto, el numeral III, inciso a), le asigna al municipio la responsabilidad de suministrar el servicio: "Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales". Los municipios, sobre todo los que cuentan con baja densidad poblacional, no tienen las condiciones necesarias para proporcionar un adecuado servicio. Sus sistemas de abastecimiento y de saneamiento

son débiles financiera y técnicamente. Ante la falta de una adecuada estructura administrativa y operativa, el organismo operador provee un servicio deficiente, carece de capacidad de cobro, descuida el mantenimiento de su infraestructura y no puede incrementarla al ritmo requerido. Las deficiencias en calidad y cantidad del servicio de agua hacen que los usuarios desconfíen de la calidad suministrada por el organismo operador, lo que ha desarrollado un amplio mercado de agua embotellada, en detrimento de la economía de los usuarios y del organismo que presta el servicio.

Ante este esbozo de la problemática del sector agua municipal, no es posible mantenerse en la posición de esperar que el gobierno entienda la alta prioridad del saneamiento y destine los recursos necesarios para alcanzar la cobertura universal. Eso puede definirse como una zona de "confort" que, si bien no es satisfactoria, no genera grandes problemas, al menos no por el momento. Frente a la realidad, es necesario analizar la situación desde otras perspectivas, salir de la zona de "confort" y la visión de corto plazo, cambiar el paradigma actual. Para ello es necesario involucrar a todos los actores, en particular la sociedad impactada. Es urgente empezar ahora porque el cambio requerirá décadas.

Con una visión diferente deben abordarse retos como tratar el 37% de las aguas residuales municipales que se descargan directamente al ambiente ($79 \text{ m}^3/\text{s}$), así como el 61% de las aguas residuales industriales ($134 \text{ m}^3/\text{s}$); poner en operación la gran cantidad de pequeñas y medianas plantas de tratamiento que presentan un estado deficiente o de abandono; fomentar el mercado del agua residual tratada para diversos reúsos, como insumo indispensable en zonas de escasez. Estos y otros retos del sector sólo podrán ser atendidos si se sientan las bases para fortalecer y profesionalizar los organismos operadores de agua y de saneamiento.

Dentro del nuevo paradigma del abastecimiento de agua y el saneamiento, un componente principal es el concepto de planta de tratamiento sustentable, aquella que recupera recursos al tratar el agua residual. Este enfoque comprende principios como ahorrar, reducir y optimizar el uso de insumos (energía eléctrica, reactivos), reciclar (minimizar los residuos y generar subproductos aprovechables), integrar los flujos de materia y energía (sistema "sin cabos sueltos" ni externalidades), todos ellos enmarcados en lo que actualmente se denomina economía circular. Se trata en realidad de cambiar el sentido del tratamiento por el de procesamiento del agua residual.

En la medida que la infraestructura para el manejo de las aguas residuales se base en un esquema tecnológico, administrativo y financiero adecuados, compatibles con su entorno social y ambiental, el sistema perdurará durante su vida útil. Al proveer un servicio a la altura de las expectativas de los usuarios, éstos serán los garantes de que el sistema se mantenga operando adecuadamente. En este nuevo contexto, ya no sólo es necesario tratar el agua para protección de la salud pública y del medio ambiente, sino también para producir recursos: agua tratada para reúso, energía en forma de biogás, biosólidos para la agricultura y la recuperación de suelos erosionados, entre los más importantes.

Tratamiento de aguas residuales y su reúso

El agua, al ser utilizada, incorpora diversas sustancias en forma suspendida, coloidal o disuelta que contaminan y degradan su calidad o pureza original. Un agua contaminada necesariamente tendrá restricciones en cuanto a sus posibles usos y podrá provocar cambios importantes en el equilibrio ecológico del cuerpo receptor, además de daños a la salud.

Para el tratamiento de aguas residuales o contaminadas existen diversos procesos y operaciones unitarios que con una adecuada selección y combinación, pueden resolver la mayoría de los casos. En términos muy generales, existen procesos fisicoquímicos y procesos biológicos. Los primeros hacen uso de las diferencias en ciertas propiedades entre el contaminante y el agua (sedimentación, flotación) o —mediante la adición de reactivos— cambian mediante una reacción química la forma del contaminante a una más fácil de separar del agua, o bien inofensiva. Por su parte, los segundos emplean microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante, o bien que utilizan en su metabolismo compuestos inorgánicos, para con ello eliminarlos del agua en forma de nuevas células, compuestos inocuos o gases, que pueden separarse más fácilmente del agua en tratamiento.

Por cuestiones técnicas y económicas, los procesos fisicoquímicos se aplican predominantemente en el tratamiento de aguas con contaminantes inorgánicos, materia orgánica no biodegradable o compuestos tóxicos para los microorganismos. Por su parte, los procesos biológicos se emplean cuando los principales contaminantes son orgánicos biodegradables, así como algunos aniones inorgánicos (nitratos, nitritos, sulfatos, sulfuros, fosfatos). En esas condiciones, las aguas residuales municipales, así como una gran variedad de desechos líquidos industriales, pueden tratarse por vía biológica, siendo la que se aplica predominantemente a nivel mundial.

Para llevar a cabo el tratamiento biológico de aguas residuales existe un número importante de procesos, que se clasifican en dos grandes grupos: aerobios y anaerobios. Los procesos aerobios requieren de oxígeno (energía) y producen una importante cantidad de lodos (células) en exceso. Los procesos anaerobios no requieren oxígeno, producen pocos lodos y generan biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono), por lo que sus costos de operación y mantenimiento son menores, aunque no alcanzan la calidad de agua lograda con los procesos aerobios. En este sentido, puede ser económicamente más conveniente integrar un sistema de tratamiento con un proceso anaerobio seguido de uno aerobio; esto es particularmente cierto en el caso de aguas residuales industriales con moderada y alta cargas orgánicas.

El recurso agua puede reutilizarse en cierto número de casos en serie, uno después de otro, a través de los cuales su calidad se va deteriorando. Entre cada etapa puede ubicarse una operación de tratamiento para garantizar su reúso adecuado. Esta diversidad de usos potenciales abre oportunidades para integrar un manejo racional del recurso, considerándolo como un bien escaso, con diferentes costos en función del grado de calidad que presente. A su vez, el manejo descentralizado del agua puede ser la respuesta en zonas con limitada infraestructura. La instalación de grandes colectores de drenaje y grandes plantas de tratamiento, es decir, el enfoque convencional, no necesariamente es la solución más adecuada.

La integración de distritos de reúso urbanos, industriales, agrícolas y sus posibles combinaciones, debe ser una prioridad en zonas donde el agua está ya limitada, buscando acercar la fuente de agua tratada a los usuarios. En ese sentido, el tratamiento y reúso *in situ* abre amplias posibilidades de un manejo racional. La escala de este tipo de aplicaciones puede variar entre una casa habitación individual hasta una colonia o barrio, pasando por condominios, conjuntos habitacionales, fraccionamientos e industrias. Además de su flexibilidad, los sistemas de recolección y de tratamiento *in situ* pueden favorecer las acciones de reúso en el mismo predio o en zonas aledañas.

El riego de áreas verdes cercanas, la infiltración en suelos adecuados o el retorno para descarga de sanitarios son ejemplos de programas de reúso que podrían efectuarse con tecnologías disponibles en la región. Incluso podría efectuarse el intercambio de agua potable por agua tratada entre una zona marginada y zonas urbanas que cuenten con áreas verdes o zonas industriales. Un esquema conceptual del manejo del agua para zonas urbanas favorece la existencia de dos sistemas de recolección y tratamiento de efluentes: uno descentralizado o *in situ* y otro centralizado o convencional.

Integración de procesos de tratamiento biológico de aguas residuales para reúso

Como se ha mencionado, la tecnología desarrollada para el tratamiento de aguas residuales de todo tipo es sumamente variada y puede integrarse un tren de tratamiento para lograr calidades de agua específicas, que sea al menos técnicamente factible. Sin embargo, con gran frecuencia el costo del agua de primer uso, por consideraciones sociales y políticas, es bajo y subsidiado. En esta situación, el tratamiento de aguas residuales con fines de reúso estará limitado en su factibilidad económica, al no lograr producir un agua tratada con costos competitivos, capaz de motivar al usuario para que opte por un insumo con calidad inferior al agua de primer uso. Otro escenario, ya presente en varios casos, es que la única disponibilidad de agua para fines industriales o de servicios sea el agua residual tratada, por estar reservada el agua de primer uso al suministro de agua potable, con base en una medida de política pública. En tales situaciones, el costo del agua tratada es cubierto por el usuario sin ningún tipo de subsidios.

Por lo anterior, la concepción de un programa de reúso debe abordar cuatro grandes asuntos: a) el problema técnico, es decir, definir la calidad de agua mínima necesaria para determinado reúso y la correspondiente integración de un tren de tratamiento capaz de lograr esa calidad con los menores costos; b) la vertiente económica en cuanto a lograr una estructura de tarifas que recupere el costo real del servicio de tratamiento y suministro de agua tratada; c) la aceptación (apropiación) del usuario o de la sociedad involucrada; d) la sustentabilidad hídrica al incidir en la recuperación de acuíferos y en la disponibilidad de las fuentes de agua.

Existen informes en la literatura técnica de plantas de tratamiento a escala real que producen agua tratada con fines de reúso en riego agrícola, en la industria y en diversos servicios, para recarga artificial de acuíferos por inyección, e inclusive para su potencial incorporación a la red de agua potable (Jiménez y Asano, 2008). En el caso de uso potable, los esquemas aplicados en escala real son de tipo de uso potable indirecto (recarga de acuíferos, principalmente) o bien uso directo (incorporación a la red de distribución de agua potable). Sobre el primero se reportan experiencias, entre otras, en Estados Unidos (El Paso, Orange County) y Singapur, mientras que para el uso directo, el caso pionero es Windhoek (Namibia) con aún escasas experiencias adicionales (Leverenz *et al.*, 2011).

Para concebir un tren de tratamiento con fines de reúso es necesario tener bien definidas, además de la caracterización del agua cruda, las especificaciones de la calidad de agua tratada que hay que cumplir. Es así que para el reúso en riego agrícola y de áreas verdes, además de la remoción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica, se debe atender la eliminación de microorganismos patógenos o aquellos que puedan causar una afectación a la salud pública. En este caso, la conservación de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) es deseable, ya que el reúso aportaría fertilizantes al suelo.

Bajo un reúso industrial, como agua de enfriamiento o lavados de diverso tipo no alimentario, la remoción de nutrientes es requerida para evitar el crecimiento de algas y biopelículas en los sistemas, como las torres de enfriamiento o cisternas y así reducir el consumo de reactivos comúnmente empleados para su control. Además, se debe cuidar la concentración de sales, particularmente para evitar incrustaciones en los componentes del sistema de enfriamiento. El reúso en descarga de sanitarios, lavado de pisos o automóviles, y otros donde se presente el contacto directo con las personas, debe atender los mismos requisitos, pero con una doble barrera a los organismos patógenos.

Reúsos más estrictos, como lo es la recarga artificial de acuíferos, implican procesos que remuevan en cierto grado materia disuelta como sales inorgánicas y compuestos orgánicos presentes a bajas concentraciones, los llamados compuestos emergentes. El extremo puede considerarse el reúso para abastecimiento directo de agua potable, donde la remoción de orgánicos a nivel de trazas debe ser atendida, además del control de las sales disueltas a niveles equiparables con el agua de primer uso.

Tomando como base de partida el agua residual municipal típica para América Latina y el Caribe (Tabla 1), el tren de tratamiento biológico tendrá como objetivo básico la remoción de la materia orgánica particulada y soluble (alcance del denominado tratamiento secundario), además de la desinfección para el control de patógenos. La filtración terciaria (del efluente secundario) será necesaria para asegurar la calidad del agua de reúso en riego, enfriamiento, lavados de pisos y autos, frente a los desequilibrios que pueda tener el sistema en cuanto a la correcta retención de la biomasa. Además, se logra la remoción de huevos de helmintos y se dan las condiciones para una desinfección más confiable y efectiva.

TABLA 1
Parámetros promedio del agua residual municipal en América Latina y el Caribe
(Noyola et al. 2012)

Parámetro	Valor promedio propuesto para la Región	Desviación estándar	Valor de referencia* (agua residual de media concentración)
DBO ₅ (mg/l)	244	17	200
DQO (mg/l)	557	40	508
SST (mg/l)	264	31	195
Nitrógeno total (mg/l)	42	1.4	35
Fósforo total(mg/l)	7.0	0.7	5.6
Coliformes totales (NMP/100ml)	1.2x10 ⁷	1.4x10 ⁶	1.0x10 ⁷
Influencia del desarrollo tecnológico del sector hídrico en la toma de decisiones	13.3	2017: 23.86 2018: 24.5	20.0
Productividad del agua en distritos de riego (kg/m ³)	1.62	2017: 1.82 2018: ND	1.87
Proyectos de cooperación internacional atendidos	0%	2017: 100% 2018: 100%	100%

* Metcalf & Eddy / AECOM (2014).

Fuente: elaboración propia.

Para lograr los objetivos de un tratamiento secundario, las opciones de procesos biológicos son múltiples. En ese sentido, Leverenz y colaboradores (2011) presentan opciones de trenes de tratamiento a partir de efluentes terciarios para fines de reuso potable, tanto indirecto como directo. Sin duda, la integración de un tren de tratamiento de aguas residuales es una tarea compleja que requiere de una amplia experiencia por parte de los especialistas responsables. Varios son los factores que deben atenderse, además del puramente técnico o tecnológico, en particular cuando el sistema involucra fondos públicos y representa un servicio a la comunidad. En tales casos, además de los aspectos financieros y administrativos, se debe cuidar la aceptación social y reducir el impacto al ambiente, tal como la huella de carbono de toda la operación (Güereca-Hernández et al., 2015). Los diversos criterios, propios de un sistema complejo, deben ser debidamente atendidos mediante un proceso de selección de los procesos y de las tecnologías que se basen en el rigor técnico, la objetividad y la transparencia (Noyola et al., 2013).

Cuando la calidad del agua para reuso es más estricta que la alcanzada por un tratamiento biológico convencional (secundario) se deben hacer modificaciones al proceso biológico o bien

adicionar etapas de tipo fisicoquímico para lograr la calidad deseada. La remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) puede lograrse por vía biológica mediante variantes que involucran una etapa anóxica para la desnitrificación o bien una etapa anaerobia antes de la reacción aerobia, para favorecer en este último punto la acumulación de fósforo en las células microbianas que son recirculadas entre ambas etapas. Por lo general, la remoción de nitrógeno por vía de la nitrificación-desnitrificación constituye un proceso confiable que en algunas de sus variantes alcanza remociones hasta del 90% de nitrógeno. Por otra parte, la remoción biológica del fósforo es más compleja en su operación y en ocasiones no logra las concentraciones de fósforo requeridas en las descargas a cuerpos de agua sensibles (inferior a 1 mg/L). Esto obliga en tales casos a complementar la remoción biológica de fósforo con la precipitación química por medio de sales de hierro o de aluminio trivalente (cloruro férrico, sulfato de aluminio o alumbré).

Otra particularidad importante de los procesos biológicos de remoción de nutrientes, estriba en el caso del nitrógeno que es transformado a nitrógeno gaseoso, por lo que simplemente es liberado a la atmósfera, sin ningún impacto ambiental, salvo la emisión (limitada) de óxido nitroso (N_2O) que es un potente gas de efecto invernadero. En cuanto al fósforo, éste es almacenado en las células microbianas en la etapa aerobia posterior a la anaerobia, y es purgado junto con el lodo del sedimentador secundario. El lodo en exceso, rico en fósforo, debe ser tratado para digerir la materia orgánica que contiene, pero debe considerarse que el fósforo será liberado cuando se encuentre en condiciones anaerobias. El diseño de la digestión anaerobia del lodo en estos casos deberá tomar en cuenta que el sobrenadante digerido tendrá altas concentraciones de ese elemento, por lo que no deberá retornarse a la planta de tratamiento sin un tratamiento adecuado. Para estos casos, la precipitación de estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) a partir de la corriente líquida proveniente del digestor es recomendada, pues además la sal puede recuperarse como fertilizante para la agricultura. Para lograr su precipitación, es necesario por lo general adicionar magnesio y elevar el pH entre 9 y 10 a una temperatura por arriba de los 25°C (Metcalf & Eddy / AECOM, 2014).

Varias tecnologías han sido desarrolladas para la remoción biológica del nitrógeno, muchas de ellas bajo patente y marcas comerciales, desde la década de los años sesenta del siglo pasado. Entre los más conocidos se encuentra el proceso pionero conocido como Ludzak & Ettinger y el Bardenpho, que remueve también fósforo. Los procesos de remoción de fósforo también son variados y contemplan la remoción de nitrógeno en su tren de proceso. Un proceso versátil que se adapta bien a la remoción de ambos nutrientes es el reactor secuencial por lotes (SBR por sus siglas en inglés). Una descripción general de los principales procesos de remoción de nutrientes por vía biológica se encuentra en Metcalf & Eddy / AECOM (2014).

Dentro del ámbito de las tecnologías biológicas, un arreglo que se presta particularmente al reuso es el llamado reactor biológico con membranas (MBR por sus siglas en inglés), que consiste en acoplar un reactor aerobio (puede ser también anaerobio, pero no es la opción comercialmente más aceptada) con un módulo de membranas, lo cual constituye una barrera física eficiente que evita el paso de partículas dependiendo del tipo de membrana (desde microfiltración hasta ósmosis inversa). Las membranas utilizadas en los MBR son de micro o de ultrafiltración. Las primeras retienen partículas mayores a 0.1 micrómetros, mientras que las segundas lo hacen has-

ta 0.01 micrómetros, por lo que las bacterias son retenidas en ambos arreglos e incluso los virus en el caso de la ultrafiltración, lo que favorece grandemente cualquier operación de desinfección posterior.

La filtración a través de una membrana se basa en un diferencial de presión entre el agua a filtrar y el permeado, caracterizado como presión transmembrana, el cual se logra mediante bombeo. En los dispositivos con membranas externas tipo *cross-flow*, la potencia de bombeo es mayor por lo que también el consumo de energía. En los MBR con membrana sumergida, ya sea en el reactor biológico directamente o en un tanque independiente, se utiliza una bomba de succión, ejerciendo presión negativa (vacío) sobre la membrana. En estos casos, el consumo de energía es menor. Con un MBR se logra un efluente filtrado de gran calidad, tiempos de retención celular más largos en el reactor biológico y un sistema sumamente compacto, ya que prescinde de clarificador secundario y de filtros terciarios. En contrapartida, se presenta la necesidad de limpiezas que remuevan la capa taponante y eventualmente la sustitución de la membrana. Una descripción detallada de las diferentes configuraciones de membranas y de su acoplamiento al reactor biológico se presenta en Metcalf & Eddy / AECOM (2014).

Los compuestos orgánicos que no son removidos por los sistemas biológicos convencionales deben ser retirados para fines de un reúso estricto, como lo es la recarga de acuíferos por pozos de inyección o el suministro directo vía las redes de distribución de agua potable. Estos compuestos, en concentraciones inferiores a un miligramo por litro, son muy diversos y se les ha denominado genéricamente como contaminantes emergentes, ya que su aparición en las aguas residuales es resultado de nuevos productos de síntesis química destinados a una variedad de usos muy amplia (como cuidado personal, medicamentos o productos industriales). La remoción de algunos de estos compuestos puede llevarse a cabo en procesos biológicos en donde se favorezca el desarrollo y la acumulación de microorganismos que puedan degradarlos, en particular el reactor biológico acoplado a membranas. Sin embargo, normalmente su degradación requiere la oxidación química avanzada (por ejemplo con ozono) o incluso mediante la fotocatálisis, o bien su retención física mediante la barrera que representa una membrana de nanofiltración o incluso de ósmosis inversa, la cual también retiene cationes y aniones inorgánicos.

La descripción de las operaciones y procesos fisicoquímicos necesarios para asegurar la calidad de un agua de reúso, partiendo de un efluente biológico, cae fuera del alcance de este texto. En ese ámbito, son también varias las posibles combinaciones y arreglos para lograrla calidad deseada. Para un panorama completo de ello, se recomienda consultar Leverenz *et al.* (2011) y Metcalf & Eddy / AECOM (2014).

Opciones tecnológicas para Latinoamérica y el Caribe

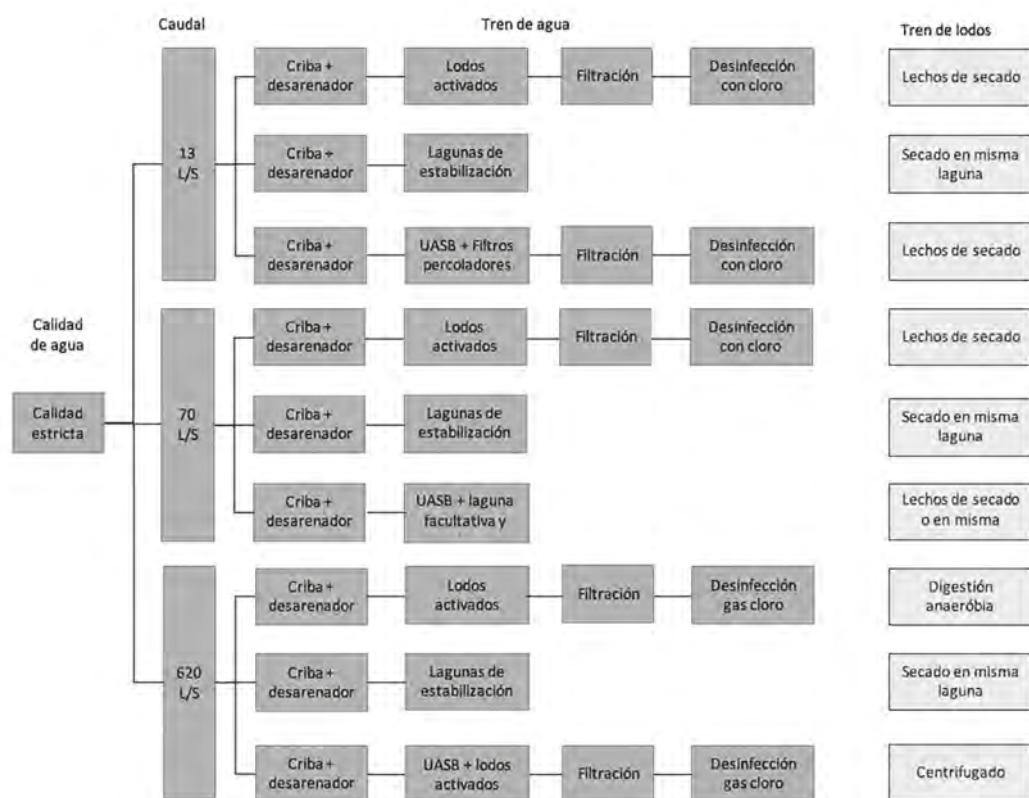
El reúso del agua residual en la región es una realidad desde hace varias décadas, particularmente en la agricultura. En varias ciudades, al construirse los sistemas de drenaje centralizado, se posibilitó el aprovechamiento del agua residual sin tratar en las tierras cultivables aguas abajo de la descarga de la red de drenaje. Este es el caso de la Ciudad de México y su área metropolitana, con

el aprovechamiento del agua residual en la zona de Tula, Hidalgo (el valle del Mezquital), desde hace más de un siglo (Jiménez, 2008) con el resultante riesgo a la salud. En la actualidad, el reuso más controlado y con agua tratada se ha diversificado en varios países de la región, atendiendo los sectores industrial y de servicios, con una amplia demanda por cubrir en el futuro.

Como resultado de un estudio para identificar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales mayormente adoptadas en la región, Noyola *et al.* (2012) encontraron que las tecnologías más aplicadas son las lagunas de estabilización, los lodos activados y los reactores anaerobios tipo UASB, en ese orden. Como resultado, se propusieron trenes de tratamiento adecuados a la realidad de América Latina y el Caribe, en función de tres tamaños de flujo por tratar (chico: 13 L/s; medio: 70 L/s y grande 620 L/s) los cuales se presentan en la Figura 2 (Noyola *et al.* 2013). Estos arreglos (E1 a E9) cumplen con la calidad de agua necesaria para realizar un reuso seguro en la agricultura, sin restricción del tipo de cultivo.

FIGURA 2

Escenarios (trenes E1 a E9) de tratamiento de agua residual municipal representativos para América Latina y el Caribe en función de tres caudales. Todos producen una calidad de agua para riego agrícola sin restricciones

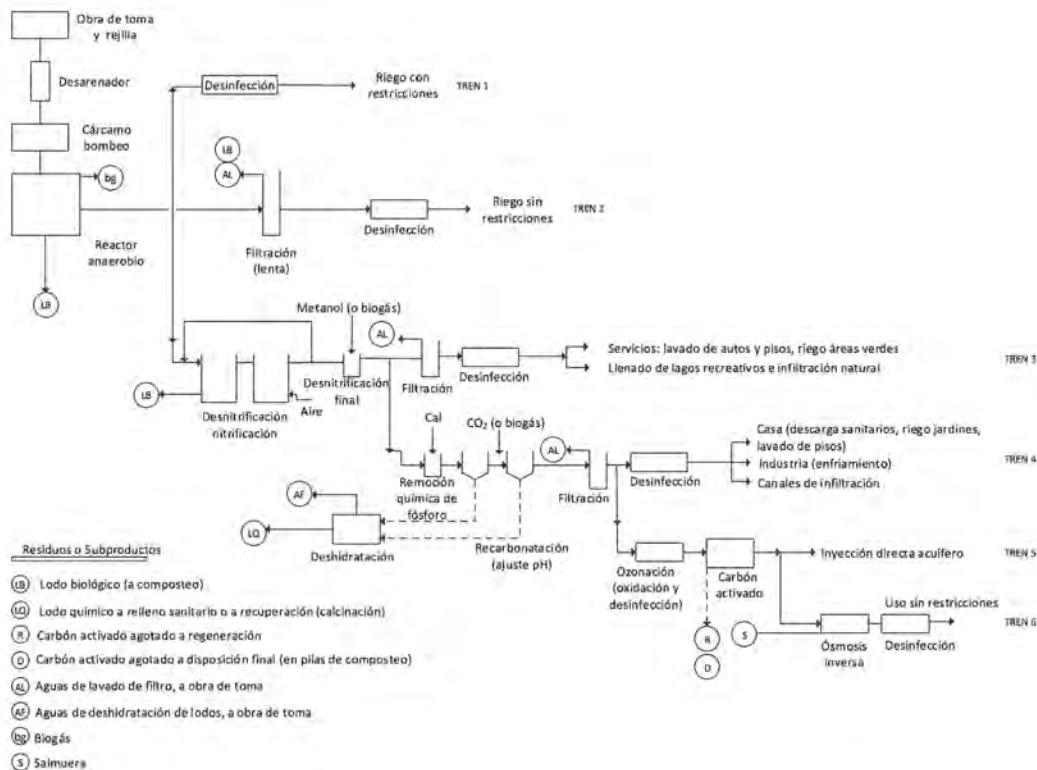


Fuente: elaborado con base en Conagua (2017b), Conagua (2017c).

Sin embargo, para atender la demanda de otro tipo de reúso que requiera calidad de agua más estricta, los trenes de tratamiento en la Figura 2 deben ser complementados con base en lo presentado en la sección previa. Como una opción no convencional en su componente de tratamiento secundario, se presenta a continuación un arreglo de diversos trenes que pueden integrarse para cubrir una amplia gama de reúsos, desde el riego agrícola con restricciones en el tipo de cultivo, hasta el de suministro directo como agua potable (Figura 3).

FIGURA 3

Diagrama de bloques de trenes de tratamiento de aguas residuales municipales para cumplir con diferentes tipos de reúso, a partir de un tratamiento biológico de tipo anaerobio. La calidad del agua tratada se presenta en la Tabla 2



Fuente: elaboración propia.

A su vez, la Tabla 2 presenta el tipo de reúso que atiende cada tren de tratamiento y algunos parámetros relevantes de la calidad del efluente:

1. Tren básico, integrado por rejilla, desarenador, tratamiento anaerobio y desinfección.
2. Tren básico + filtración lenta y desinfección.

3. Tren básico + remoción biológica de nitrógeno, filtración rápida y desinfección.
4. Tren básico + remoción biológica de nitrógeno, remoción química de fósforo, filtración rápida y desinfección.
5. Tren básico + remoción biológica de nitrógeno, remoción química de fósforo, filtración rápida, ozonación, adsorción en carbón activado.
6. Tren 5 + ósmosis inversa y desinfección.

Los arreglos de la Figura 3 parten de un tren básico que incorpora el tratamiento anaerobio con reactores de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés). La razón de esta selección es que representa ya una opción tecnológica probada y aceptada en varios países de la región (Noyola *et al.*, 2012; Chernicharo *et al.*, 2015). La base de ello es que no requiere energía para oxigenar el medio, al ser un proceso anaerobio; produce comparativamente menores cantidades de lodos de purga, ya espesados (entre el 5 y 6%) y digeridos; no es necesario un sedimentador primario, lo que simplifica la operación y el manejo de lodos, ni un sedimentador secundario, lo que facilita la operación general del proceso. Por otro lado, produce biogás que, aunque en cantidades limitadas por el bajo contenido de materia orgánica, puede ser aprovechado en instalaciones de mayor talla. En suma, es un proceso robusto, con costos de operación menores a los de los procesos aerobios convencionales. Chernicharo *et al.* (2015) presentan información actualizada sobre esta opción tecnológica.

TABLA 2
Calidad de agua tratada en función el tren de tratamiento adoptado y su tipo de reúso

Tren de tratamiento	Objetivo	Calidad de agua obtenida	Reúso posible
1)	Remoción de carbón orgánico y sólidos suspendidos, y coliformes.	DQO < 160 mg/l DBO < 60 mg/l SST < 40 mg/l	Riego agrícola con restricciones.
2)	Tren 1+ remoción total de sólidos suspendidos, huevos de helmintos y coliformes.	DQO < 100 mg/l DBO < 30 mg/l SST < 5 mg/l	Riego agrícola sin restricciones.
3)	Tren 1+ remoción de nitrógeno y coliformes	DQO < 160 mg/l SST < 5 mg/l NT < 5 mg/l	Servicios (lavado de autos, pisos, riego de áreas verdes).
4)	Tren 1+ remoción de nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, huevos de helmintos y coliformes.	DQO < 20 mg/l SST < 5 mg/l NT < 3 mg/l PT < 0.5 mg/l	Intradomiciliario (descarga de sanitarios, lavado de pisos, riego de jardines). Industria (enfriamiento). Infiltración superficial.

Continúa...

Tren de tratamiento	Objetivo	Calidad de agua obtenida	Reuso posible
5)	Tren 4+ remoción de materia orgánica residual, color y olor.	DQO < 10 mg/l SST < mg/l NT < 1 mg/l PT < 0.1 mg/l Color 7 Pt-Co Turbiedad 1 UTN	Inyección directa al acuífero.
6)	Tren 5+ remoción de sales disueltas.	DQO < 5 mg/l SST < 0 mg/l NT < 0.1 mg/l PT < 0.05 mg/l Color 5 Pt-Co Turbiedad 0.5 UTN Conductividad < 200 μ mhos/cm	Uso sin restricciones

NT: Nitrógeno total. PT: Fósforo total.

Fuente: elaboración propia.

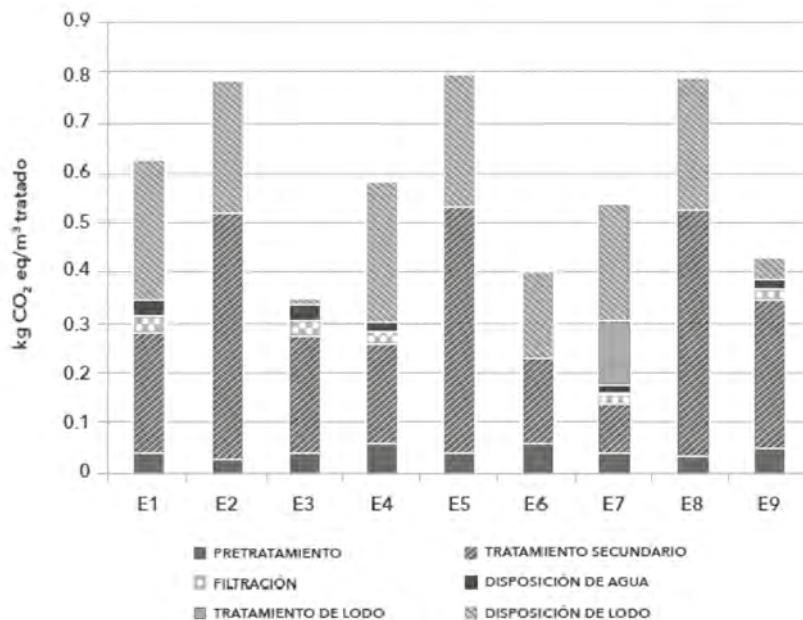
La huella de carbono del tratamiento de aguas residuales

La aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) a los trenes de tratamiento de la Figura 2, en particular sobre la categoría de impacto “cambio climático” (huella de carbono) se presenta en la Figura 4. Los escenarios E2, E5 y E8, correspondientes a lagunas de estabilización, son los que presentan mayores impactos debido a las emisiones de metano que se generan en las lagunas anaerobias y que se libera a la atmósfera (barras rojas). En segundo sitio se presentan los escenarios que involucran la tecnología de lodos activados en su versión aireación extendida (E1 y E4), resultado de la emisión indirecta de bióxido de carbono producido en el sitio de generación de la electricidad utilizada en el proceso de tratamiento para proveer de aire al tanque de aireación, principalmente. Para el E7, la versión convencional de lodos activados con digestión anaerobia de lodos, se presenta la contribución del metano producto del tratamiento de lodos por digestión anaerobia (barra azul claro).

En los escenarios anteriores se puede distinguir que la disposición de lodos también contribuye en forma importante por las emisiones de CO_2 producidas por la quema de combustible fósil (diesel) durante su transporte al sitio de disposición final y a la generación de metano una vez colocados en el relleno sanitario. En este sentido, los escenarios UASB que cuentan con retorno de lodos del postratamiento al tanque anaerobio (E3 y E9), donde son digeridos, tienen menor generación de lodos para disponer y por lo tanto su contribución se concentra en el metano que se pierde en el mismo reactor anaerobio y por fugas e ineficiencia de quemado. Es importante señalar que en los cálculos que dan lugar a la Figura 4 se considera que el metano que sale disuelto en el efluente anaerobio es transformado a CO_2 mediante su oxidación por los microorganismos aerobios presentes en el postratamiento en cada uno de los tres escenarios E3, E6 y E9.

Los trenes de tratamiento representados en la Figura 2, y con su respectiva huella de carbono mostrada en la Figura 4, pueden incorporar mejoras tecnológicas que resulten en un menor impacto por la emisión de GEI. Es así que las lagunas anaerobias pueden ser cubiertas por una película de polietileno para captar el biogás y quemarlo, o incluso aprovecharlo, y así evitar el venteo a la atmósfera. El biogás producido en los digestores anaerobios del proceso de lodos activados puede ser utilizado en la generación de energía eléctrica para consumo en la planta de tratamiento y reducir el consumo de electricidad de la red y con ello las emisiones indirectas de CO_2 . Lo mismo puede aplicarse a los trenes de tratamiento basados en un reactor tipo UASB.

FIGURA 4
Huella de carbono obtenida mediante la metodología de análisis de ciclo de vida para los escenarios (trenes) de tratamiento (Figura 2) representativos en América Latina



Fuente: Noyola *et al.*, 2013.

Los resultados de la Figura 4 fortalecen la aseveración de que la selección de los sistemas más adecuados debe basarse no solo en criterios técnicos y económicos, sino también en sociales y ambientales. Los datos presentados suministran información para atender este último criterio.

Conclusiones

La escasez del recurso hídrico es una realidad en México y en varias regiones de América Latina. Ante la diversidad de usos potenciales, se presentan oportunidades para integrar un manejo

racional del escaso recurso, con diferentes costos en función de las características requeridas por las varias opciones de reúso. Este enfoque, con los apoyos financiero, administrativo y tecnológico adecuados, acompañado de la aceptación social, constituye la estrategia para lograr niveles satisfactorios de cobertura del servicio de agua en zonas de escasez, sin restringir la diversidad de usos legítimos.

Para avanzar realmente en la cobertura universal de acceso al agua y al saneamiento, en el contexto de un uso eficiente del agua, es indispensable fortalecer a los organismos operadores de agua del país. El valor insustituible del vital líquido requiere que gobierno y sociedad asuman la responsabilidad del manejo sustentable del recurso, saliendo de la actual zona de confort, que muestra signos claros de deterioro.

Las plantas de tratamiento modernas deben ser planeadas y diseñadas con base en el nuevo paradigma de recuperar recursos del agua residual. Los principios de la economía circular deben aplicarse para incrementar la rentabilidad del servicio, que junto con el pago por parte de los usuarios, permitirá al organismo operador mantener la infraestructura así como la ampliación del servicio, asegurando calidad y cantidad en el suministro.

Para lograr un sistema de reúso exitoso deben cumplirse cuatro elementos: a) la integración de un tren de tratamiento capaz de lograr la calidad de agua deseada con los menores costos; b) la rentabilidad del servicio mediante una estructura de tarifas que recupere el costo real del servicio de tratamiento y suministro de agua tratada; c) la aceptación y apropiación del sistema por parte del usuario o de la sociedad involucrada; y d) contribuir a la sustentabilidad hídrica de la región.

Los trenes de tratamiento propuestos, partiendo de reactores anaerobios tipo UASB, pueden alcanzar una amplia gama de calidades de agua, compatibles con los variados requerimientos de reúso, con menor huella de carbono, menor consumo de energía y una producción limitada de lodos, atributos que fortalecen el grado de sustentabilidad de tales arreglos.

Referencias

- Conagua (2018). Estadísticas del agua en México, edición 2018. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Chernicharo C. A. L, Van Lier J. B., Noyola A. and Ribeiro T. B. (2015) Anaerobic Sewage Treatment in Latin America, en Fang H. y Zhang t. (editores), *Anaerobic Biotechnology. Environmental Protection and Resource and Resource Recovery*, World Scientific, Imperial College Press, Reino Unido. 400 pp.
- Güereca-Hernández Leonor Patricia, Paredes-Figueroa María Guadalupe y Noyola Adalberto (2015). GHG Emissions from municipal wastewater treatment in Latin America, en *The Carbon footprint Handbook*, Capitulo 16, Subramanian Senthilkannan Muthu (editor). CRC Press Taylor & Francis Group, 351-368 pp.

- Jiménez B. (2008). Water and wastewater management in Mexico City, en *Integrated Urban Water Management: Arid and Semi-Arid Regions*, Mays L. W. (editor), UNESCO Publishing / Taylor and Francis, 81-109 pp.
- Jimenez B. y Asano T. (2008). Water reclamation and reuse around the world en Jiménez B. y Asano T. (editores), *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, IWA Publishing, Londres. 3-26 pp.
- Leverenz H. L, Tchobanoglous G. y Asano T. (2011). Direct potable reuse: a future imperative, *Journal of Water Reuse and Desalination*, IWA Publishing, 1 (1) 2-10.
- Metcalf & Eddy / AECOM (2014). *Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery*, 5a edición, McGraw-Hill, Nueva York. 2018 pp.
- Noyola A. y Güereca L. P. (2017). Plantas de tratamiento de aguas residuales (Cap. 7), en Molina L. T. y Páramo V. H., *Avances y oportunidades en la reducción de contaminantes climáticos de vida corta en América Latina y el Caribe*, editores. UNEP & CCAC. 108-117.
- Noyola A, Heller L. y Otterstetter H. (2010). Los desafíos para la universalización del saneamiento básico en Galvao L.A; Finkelman J. y Henao S. (editores), *Determinantes Ambientales y Sociales de la Salud*, PALTEX / McGraw Hill Interamericana, Estados Unidos. 367-381.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J. M. y Güereca L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*, Instituto de Ingeniería UNAM, México. 126 pp. Disponible en: <http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/LibroTratamiento.html>
- Noyola, A.; Padilla-Rivera, A.; Morgan-Sagastume, J. M.; Güereca, P., y Hernández-Padilla, F. (2010). Typology of wastewater treatment technologies in Latin America, *Clean. Soil, Air, Water*, 40, 926-932.
- WHO (2015). *Progress on sanitation and drinking water-2015 update and MDG assessment*. World Health Organization Disponible en: http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-Update-report-2015_English.pdf

El tratamiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México

Margarita González Brambila, José A. Colín Luna y
Héctor Puebla Núñez Navarrete

Antecedentes

En 2015, el Foro Económico Mundial colocó al agua como uno de los tres mayores riesgos para la economía, el ambiente y los seres humanos. Tanto en México como en el mundo entero, el suministro, tratamiento y usos del agua se consideran problemas que es indispensable atender de manera prioritaria (OECD, 2015).

La Organización de las Naciones Unidas reconoció en 2010 que el derecho a contar con agua potable y saneamiento son derechos humanos esenciales para el pleno disfrute de la vida y del resto de los derechos humanos. El derecho a tener agua potable y saludable significa tener el agua necesaria, tanto para el uso personal como para el uso doméstico. Sin embargo, en el mundo entero 663 millones de personas carecen de agua potable, aproximadamente el 9% y 2,400 millones (32%) carecen de saneamiento mejorado (excusado o letrina higiénicos).

Las organizaciones internacionales han concluido que para cubrir las necesidades básicas de agua, ésta debe ser accesible a las personas de acuerdo a las siguientes características:

1. Debe contar con una cobertura suficiente, esto es, que no se encuentre a más de 30 minutos o 1 km de distancia del hogar, escuela, centro de trabajo o centro de salud.
2. Debe ser suministrada en cantidad suficiente. Se ha estimado que se requieren entre 50 y 100 litros de agua por persona como mínimo, para satisfacer sus requerimientos de alimentación, higiene personal, preparación de alimentos, y limpieza de vestuario y hogar.
3. Debe contar con la calidad suficiente, encontrarse libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos, que constituyan una amenaza para la salud humana.
4. Debe tener un costo asequible, no se debe pagar por ella más del 3% del salario familiar.
5. Debe fomentarse una cultura hídrica entre los individuos.

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, dentro de su última reforma, publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 29 de enero de 2016, en su Artículo 4, se menciona que:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativa y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

Es importante señalar que este mismo artículo establece la igualdad entre hombres y mujeres ante la Ley, el derecho de las personas a decidir de manera libre sobre el número de hijos que desean tener, y el derecho a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad. Sin embargo, en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), los problemas para abastecer de agua a la población son cada vez más complejos y un sector importante carece de este servicio. Por una parte, es necesario transportar el agua desde lugares muy lejanos, en su mayor parte obtenerla de acuíferos subterráneos y la orografía de la región incrementa aún más los costos de dicho transporte. Una de las acciones que pueden llevarse a cabo a este respecto es tratar el agua residual *in situ*, para reutilizarla en actividades de acuerdo a la calidad del tratamiento y así disminuir los requerimientos de extracción y transporte de agua.

Introducción

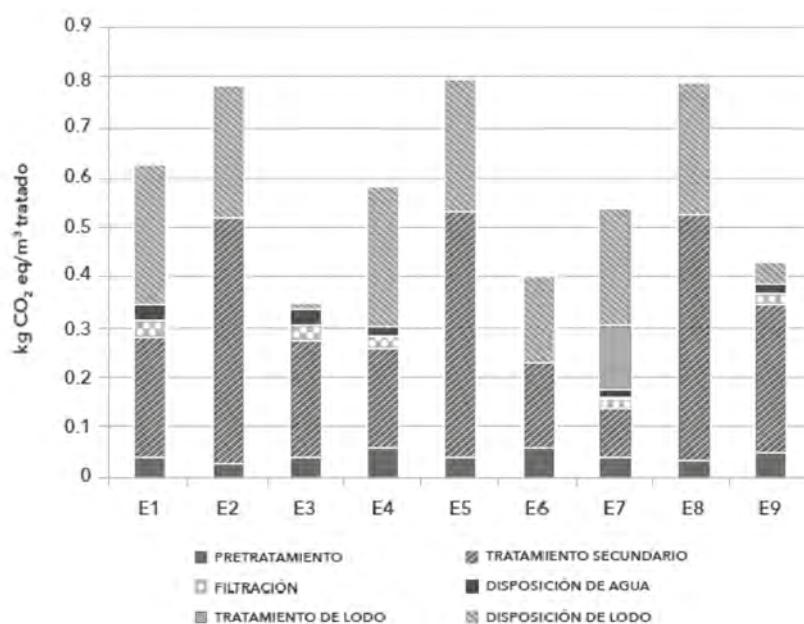
Un cuerpo de agua es cualquier extensión que se encuentra en la superficie terrestre o el subsuelo, tanto en estado líquido como sólido, en cuerpos tanto naturales como artificiales, ya sean de agua dulce o salada. Los de agua dulce son los ríos, lagos y lagunas, y los acuíferos. En la ZMVM se encuentra el Río Lerma, que es el río más largo de México, con 965 km de longitud. Se origina al pie del Nevado de Toluca y desagua en el Lago de Chapala, donde se origina el río Santiago, el cual desemboca en el Océano Pacífico. Sus aguas se utilizan para riego y generación de electricidad.

Los lagos o lagunas se forman debido a la presencia de depresiones en la tierra ocupadas por agua debido a que no puede infiltrarse hacia el subsuelo. Los principales lagos y lagunas en la ZMVM son: Zumpango, San Cristóbal, Xaltocán, Texcoco, Xochimilco y Chalco (Duhau, y Giglica, 2008). Los acuíferos son conjuntos de formaciones geológicas conectadas entre sí, por las cuales circula o se almacena agua subterránea; se explotan por medio de la extracción de agua. Se recargan naturalmente por la filtración de agua de lluvia a través del suelo y artificialmente por la actividad humana.

La ZMVM ocupa el tercer lugar entre las zonas metropolitanas más grandes del mundo, de acuerdo con la OCDE (2015); comprende a la Ciudad de México, con sus 16 alcaldías, 59 munici-

cipios del Estado de México y un municipio del Estado de Hidalgo. Tiene un área total de casi 8,000 km², una población de aproximadamente 19,624,000 habitantes, lo cual equivale al 17% de la población nacional, y una densidad urbana (habitantes/hectárea) promedio de 44, que sin embargo, varía desde 1.06 en el municipio de Tonantitla hasta más de 200 en Cuautitlán Izcalli, ambos en el Estado de México, como se puede observar en la anexo 1 y figura 1.

FIGURA 1
Zona Metropolitana del Valle de México, 2010



Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2012).

En cuanto a la contribución económica de la ZMVM, ésta produce el 23% del PIB nacional y el 18% de los empleos en México; el PIB per cápita promedio anual en 2010 fue de 16,060 dólares, aunque con grandes variaciones entre la Ciudad de México (26,550 dólares) y los municipios (7,140 dólares) (OECD, 2015). La Ciudad de México está formada por 16 alcaldías, que ocupan una superficie de 1,486 km², cuenta con 478 hm³/año de agua renovable por año, una población al 2015 de 8.2 millones de habitantes y un volumen de agua renovable anual de 54 m³/habitante. Es la ciudad que aporta el mayor porcentaje del PIB nacional. Los Municipios del Estado de México que forman parte de la ZMVM ocupan una superficie de 6,390 km², cuentan con una población, al 2015, de 11.34 millones de habitantes y 308 m³ de agua renovable/habitante/año [3].

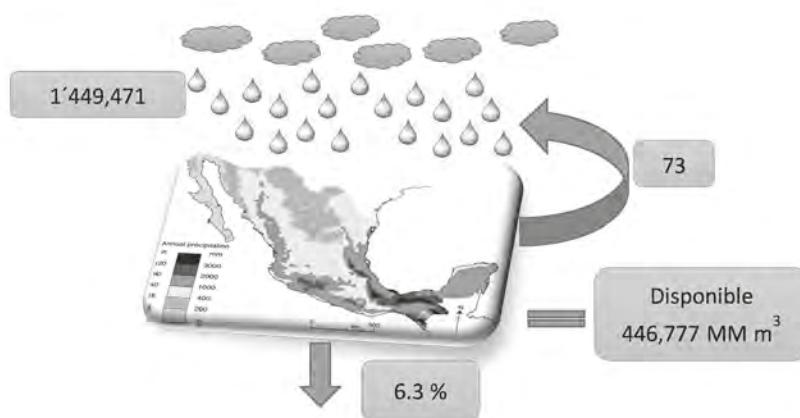
En la ZMVM se encuentra una de las trece regiones hidrológico-administrativas (RHA) del país, la denominada: Aguas del Valle de México. Ésta cuenta con una superficie continental de 18,229 km², 3,442 hm³/año de agua renovable, una población a mediados de 2015 de 23.19 millones de habitantes, una densidad de población de 1,272 habitantes /km², un volumen de agua renova-

ble *per cápita* de 148 m³/hab/año (el más bajo de todo el país), aporta el 24.49% del PIB nacional y cuenta con 121 municipios y delegaciones (Consejo Estatal de Población Estado de México, 2016).

El país recibe anualmente alrededor de 1,449,471 millones de m³ de agua en forma de precipitación pluvial, de los cuales el 72.5% regresa a la atmósfera por evaporación natural, el 21.2% escurre por ríos y arroyos, y el 6.3% se infiltra y recarga los acuíferos. Considerando las entradas y salidas de agua con países vecinos y restando el agua que regresa a la atmósfera, en México se cuenta con 446,777 millones de m³ de agua dulce renovable al año (figura 2). Sin embargo, la distribución del agua renovable en el país es muy distinta en el Norte y Sur del territorio (figura 3). Al dividir esta cantidad entre el número de habitantes, se obtiene el agua renovable *per cápita* disponible. Para la ZMVM, incluyendo las aguas residuales generadas, este valor fue de 148 en el 2015 y se espera que en el 2030 disminuya a 136, debido al aumento de población estimado por el Consejo Nacional de Población. De acuerdo a la OECD, un valor cercano a 1000 se califica como una condición de escasez y valores menores a 500 m³/habitante/año, se califican como una condición de absoluta escasez.

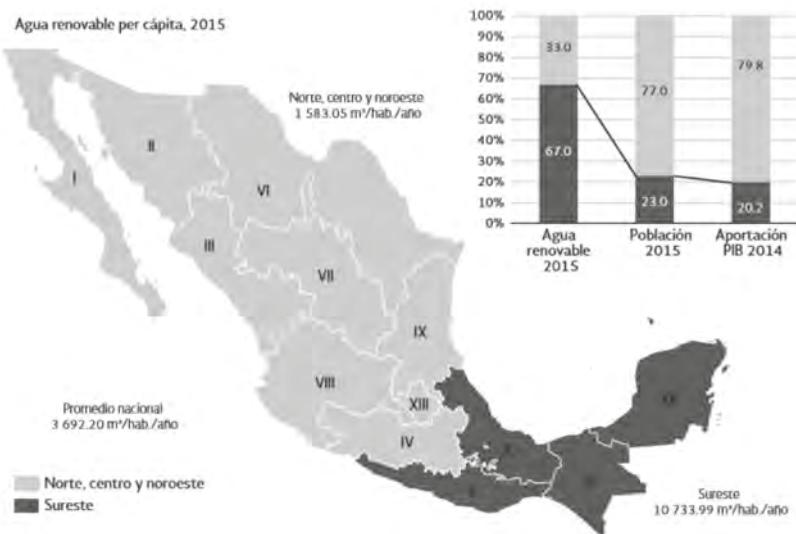
La precipitación pluvial normal mensual en la Ciudad de México, de acuerdo a los datos de 1981 a 2010 en mm (figura 4) permanece con muy pocas variaciones desde que se registran y los datos mostrados son prácticamente los mismos para todos los años.

FIGURA 2
Representación de la distribución del agua de lluvia en el país



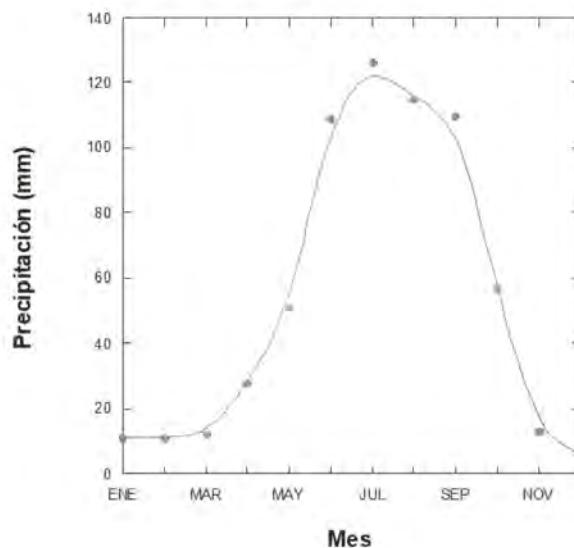
Fuente: Comisión Nacional del Agua (2016).

FIGURA 3
Comparativo entre el agua renovable per cápita en el país en 2015, la concentración de población en 2015 y% de aportación al PIB nacional durante 2014



Fuente: Elaborado con base en CONAPO (2012), INEGI (2008), INEGI (2016), Conagua (2016b).

FIGURA 4
Precipitación pluvial normal mensual promedio en la Ciudad de México, entre 1980 y 2010



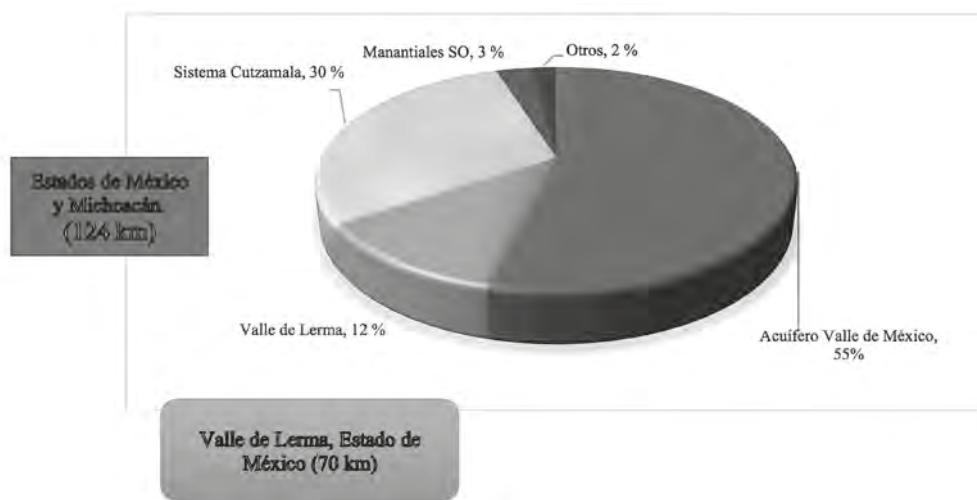
Fuente: Comisión Nacional del Agua (2015).

Usos del agua

En total a la ZMVM se deberían suministrar 200 litros de agua por habitante diariamente (Robledo, s/f), al menos, ya que la recomendación de la OCDE es que un suministro de 500 litros de agua por habitante se considera en situación de escasez. Sin embargo, si se consideran los 200 litros de agua diarios por habitante y ya que el número de habitantes es de 19'624,480 (2015), se requiere abastecer con 45.43 m³/s a la ZMVM, lo que nos da una idea de la magnitud del sistema que nos ocupa. En el país, el 68% del agua se utiliza con fines agrícolas, el 15% para abastecer a las zonas urbanas, el 7.4% lo consume la industria nacional, el 6.5% es para usos múltiples y el 1.7% para el sector económico y de servicios. Sin embargo, en la ZMVM, la distribución es distinta, el agua que se utiliza para la agricultura es el 47.2%, el 42.6% se destina al abastecimiento público, el 3.5% se alimenta a la industria, el 2.28% se utiliza para la generación de energía eléctrica y el 4.4% a las hidroeléctricas.

En el ZMVM, pero principalmente en la Ciudad de México, la problemática del agua es muy compleja. Para abastecer a la población es necesario transportarla desde sus principales fuentes al Valle de México, lo cual implica bombear el agua a una altitud de 2,200 m sobre el nivel del mar, después de subir las montañas que rodean al Valle. El volumen de agua que se suministra a la Ciudad de México es de 32 m³/s, en su mayoría (67.7%) se obtiene del subsuelo y el resto es agua superficial. El 55% se obtiene del Acuífero del Valle, el 12% del Valle de Lerma, el cual se encuentra, aproximadamente, a 70 km de la Ciudad, el 30% del Sistema Cutzamala, en los Estados de México y Michoacán, en promedio a 124 km de distancia, y el resto de manantiales y otras fuentes de agua. Estos datos nos dan una idea de los costos y problemas derivados (figura 5).

FIGURA 5
Fuentes de suministro de agua a la Ciudad de México



Fuente: Comisión Nacional del Agua (2015).

La extracción de agua subterránea ha generado serios problemas como la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación de los diversos ecosistemas, la degradación de los suelos y además se pone en riesgo la seguridad alimentaria. Algunos de estos problemas son (Robledo, s/f):

- Los hundimientos del suelo, los cuales llegan a los 40 cm anuales en el Valle de Chalco y a 25 cm/año en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
- El agrietamiento del suelo que daña construcciones y caminos.
- Inundaciones cada vez mayores y más extensas.
- El deterioro de la calidad del agua de los pozos, debido al aumento de las concentraciones de algunos metales como fierro y magnesio, entre otros.
- Abatimiento de los niveles freáticos.
- La pérdida continua de la pendiente del Gran Canal, por lo que se requiere de centros de bombeo para sacar el agua residual de la Ciudad y la construcción de nuevos sistemas de drenaje, como Sistema de Drenaje Profundo.
- Afectaciones difícilmente reversibles a los ecosistemas y a la sociedad.

A pesar del hecho de que descargar el agua residual a los acuíferos limita el uso de agua disponible para riego y pesca, debido a la contaminación de las fuentes, y esto se hace con frecuencia. Ya que el agua ha llegado a la ZMVM debe potabilizarse, lo cual implica un gasto enorme por los grandes volúmenes de agua que se consumen. El agua potabilizada se distribuye a lo largo de una red de tuberías de miles de kilómetros de longitud, para que llegue a los usuarios finales. Aunado a esto, durante el transporte de agua se pierde el 40% de ésta.

En la Ciudad de México existen 47 plantas potabilizadoras de agua, con una capacidad instalada de 5,000 litros/segundo, sin embargo se potabilizan 3,370 L/s, por lo que las plantas operan al 67% de su capacidad, en promedio. De estas 47 plantas potabilizadoras 25 utilizan el proceso de filtración directa, tratando 2,221 L/s, 21 plantas utilizan el proceso de ósmosis inversa (potabilizan 1,109 L/s) y una utiliza un proceso de adsorción, con una capacidad de 40 L/s [15].

Después de que el agua se ha utilizado es necesario recolectarla y llevarla a las plantas de tratamiento de agua, hasta donde sea posible, y por último se bombea nuevamente a los lugares donde se desecha el agua tratada o no, los cuales normalmente se encuentran fuera del Valle, lo cual implica nuevamente subir las montañas que rodean el Valle. En la figura 6 se muestra la Red de Drenaje de la Ciudad de México y algunas obras por ejecutar.

En México, de acuerdo con el Programa de Monitoreo Conjunto de la Organización Mundial de la Salud y la UNICEF, cinco millones (el 4%) de personas carecen de agua potable y 18.7 millones (15%) no cuentan con sistema de saneamiento mejorado. Sin embargo, de acuerdo con los datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la situación es peor, dado que el 9% de los habitantes carecen de agua potable y el 8.6% no cuentan con servicio de alcantarillado. Los datos del Centro Virtual del Agua de 2017 indican que el consumo nacional promedio de agua en 2015 fue de 184.6 litros por habitante diario. Sin embargo en la Alcaldía de Tlalpan de la Ciudad de México, el consumo diario promedio por habitante fue de 560 L y en la Alcaldía de Venustiano Carranza fue de 203 L/(hab.día).

FIGURA 6
Red de drenaje de la Ciudad de México



Fuente: Robledo, s/f.

Se estima que, debido al aumento poblacional y la creciente necesidad de bienes y servicios, en 2030 la oferta de agua potable en México será de 68,300 MMm³, sin embargo, la demanda será de 91,200 MMm³. Por otra parte, en México, de los cuerpos de agua superficiales monitoreados, el 45.2% se encuentran contaminados y de las 653 fuentes acuíferas subterráneas, 106 están sobreexplotadas (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, s/f).

Tratamiento de agua residual

La Organización Mundial de la Salud ha propuesto como meta para el año 2030 mejorar la calidad del agua, por medio de las siguientes acciones:

- Reducir la contaminación
- Eliminar el desperdicio
- Minimizar la contaminación con productos químicos y materiales peligrosos
- Reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar en el mundo
- Aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos

Junto con esta misma meta se destaca que la salud de millones de personas está en peligro a causa de la contaminación de aguas superficiales y que es importante gestionar las aguas residuales aumentando la recogida y el tratamiento para alcanzar las metas al 2030. Según datos de la ONU,

en 2015, algunos países como Estados Unidos de Norte América, Canadá, Europa y Japón tratan entre el 76 y el 100% de las aguas residuales municipales (Comisión Nacional del Agua, 2003).

La contaminación del agua se debe a diferentes causas, entre las que se encuentran principalmente: el vertido de desechos domésticos e industriales sin previo tratamiento, el aumento en la temperatura del agua (lo cual ocasiona la disminución de oxígeno disuelto en ella), la deforestación y la erosión del suelo, el uso de pesticidas y fertilizantes, y el arrojar desechos sólidos a los cuerpos de agua. También dentro de los aspectos que debe abordar el tratamiento de agua residual se encuentran los derrames y pérdidas en los sistemas de transporte de agua residual, es conveniente considerar que estos problemas representan riesgos serios para la salud pública y el medio ambiente.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos de aguas; la NOM-002-SEMARNAT, los límites para las descargas al Sistema de Alcantarillado y la NOM-003-SEMARNAT, los niveles máximos para reutilizar el agua tratada. En estas Normas se define a las aguas residuales como *agua de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, así como la mezcla de ellas* (Comisión Nacional del Agua, 2003). En la Norma 001 se establecen parámetros como la temperatura máxima a la que pueden realizarse las descargas (40 °C), el rango de pH (5 a 10), diferentes niveles de Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno, según el cuerpo de agua receptor ($\text{DBO}_5 = 150$ en promedio mensual para descargas en ríos utilizados para riego agrícola), los contenidos máximos permisibles de patógenos, de nitrógeno (40), de fósforo (20), de metales pesados, entre otros, así como los métodos para cuantificar cada contaminante.

El desecho del agua contaminada provoca graves problemas de salud y socio-económicos en las poblaciones que se ubican cerca de los espacios donde el agua se desecha. Por otra parte, el agua de lluvia arrastra los contaminantes solubles en agua y los conduce hacia las fuentes de agua, aumentando los problemas de potabilización y de salud pública. Los objetivos principales del tratamiento de agua residual son evitar las afectaciones al medio ambiente y a la salud de las personas. Para llevar a cabo un tratamiento eficiente del agua residual, además de los procesos de tratamiento, es indispensable asegurar una adecuada recolección del agua residual, un transporte eficiente de la misma a las plantas de tratamiento de agua y llevar a cabo una adecuada disposición de los residuos de las plantas de tratamiento de agua.

El ciclo natural del agua puede purificar los cuerpos de agua, siempre y cuando la concentración y el tipo de contaminantes no excedan la capacidad natural de purificación, sin embargo, el aumento de población, la actividad industrial creciente y la falta de tratamientos suficientes y adecuados, provoca que actualmente dichos límites se encuentren ampliamente rebasados. Por lo que es indispensable mejorar los procesos de tratamiento, ampliar la capacidad de las plantas de tratamiento de agua, y apoyar y vigilar que la industria privada trate el agua de manera adecuada. Es importante resaltar que el agua residual industrial se genera en una cantidad mucho menor, comparada con el volumen de agua residual municipal; sin embargo, el agua industrial contiene mayor concentración de contaminantes y éstos son más peligrosos.

La generación de agua residual en la Ciudad de México es de 1,253 MMm³/año, aproximadamente el 87% del agua residual se clasifica como urbana, el 5% como industrial y el 8% restante proviene de usos agrícolas (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Existen diversos tipos de procesos para tratar el agua residual:

1. El tratamiento primario incluye el cribado y desarenado por medio de procesos como la sedimentación, la precipitación química, la filtración, la clarificación y la flotación.
2. El tratamiento secundario incluye, normalmente la utilización de microorganismos en procesos como el crecimiento aerobio suspendido o adherido como los procesos de lodos activos y filtros percoladores. El crecimiento anaerobio en suspensión como en los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA). También se incluyen los procesos con estanques de estabilización y los humedales.
3. El tratamiento terciario incluye procesos como la oxidación avanzada, la filtración con membranas, la adsorción en camas de carbón activado, el intercambio iónico, la desinfección (por cloración o rayos ultravioleta), así como la eliminación de nitrógeno y fósforo.
4. Por último, se conoce como tratamiento avanzado a la combinación de varios tratamientos terciarios.

Mediante los procesos primarios de tratamiento, únicamente se eliminan sólidos y arena del agua, los tratamientos secundarios incluyen la reducción de la DBO y DQO del agua, los tratamientos terciarios incluyen la desinfección del agua y los tratamientos avanzados pueden producir agua que puede utilizarse incluso para potabilizar. En México, las plantas de tratamiento incluyen primero un tratamiento primario, luego uno secundario y en muy pocos casos un tratamiento terciario. Los costos, el nivel de descontaminación y los usos del agua tratada dependen del tipo de tratamiento que se lleve a cabo. Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales y no municipales o privadas; de las municipales se trata aproximadamente el 57% y de las no municipales o industriales únicamente se trata el 32%.

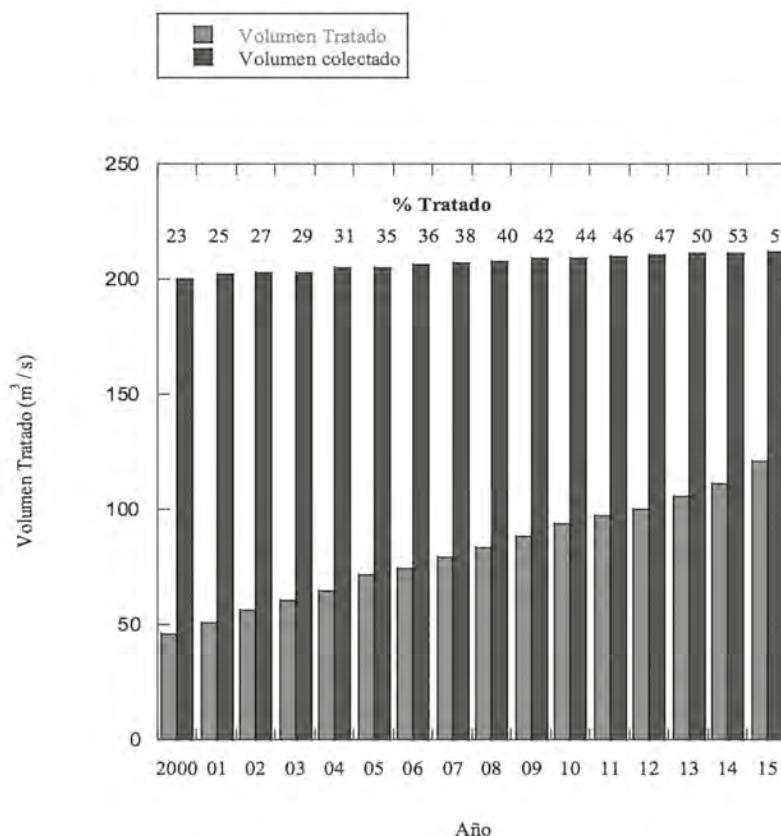
Tratamiento de agua residual municipal

Se incluyen el agua residual doméstica y el agua de lluvia que se colectan en el alcantarillado público. En México, en el año 2000 se trató aproximadamente el 23% del volumen de agua residual colectada; este porcentaje ha ido aumentando lentamente, considerando que además el volumen de agua residual colectado también ha crecido. Actualmente, el agua que se trata es poco más de la mitad del agua residual que se genera, (figura 7).

En la Ciudad y el Estado de México existen 209 plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) con una capacidad instalada de 16,601.7 litros/segundo, sin embargo, las plantas no operan al límite de su capacidad, lo hacen en promedio al 63% (figura 8). En 2015 en la Ciudad de México

había 29 PTAR, con una capacidad instalada de 5,604 L/s, tratando 3,178 L/s; 27 utilizan un proceso secundario de lodos activados, una utiliza un proceso primario avanzado y una incluye un proceso terciario.

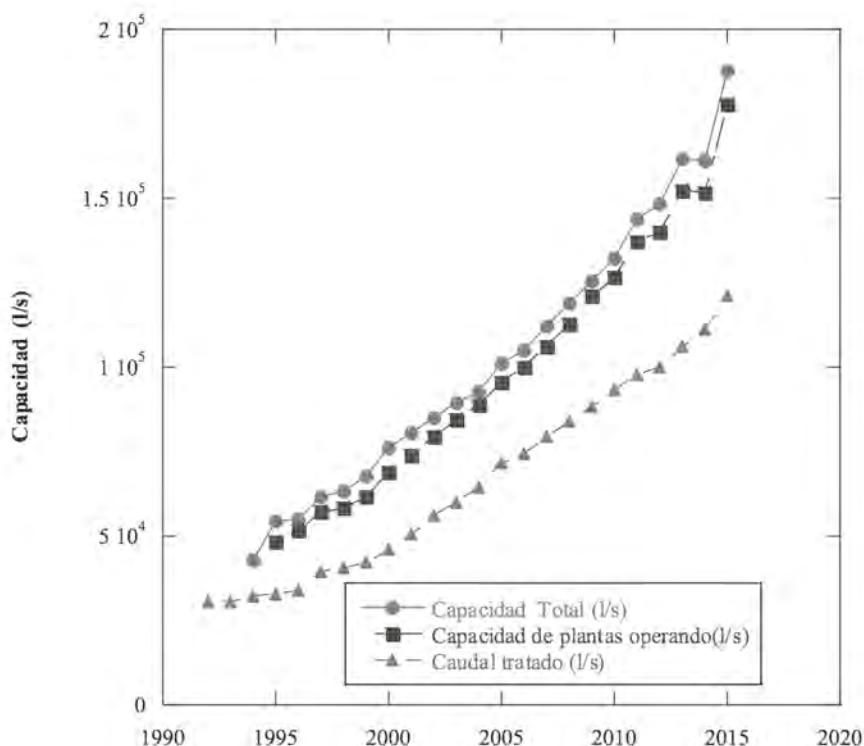
FIGURA 7
Evolución del agua residual generada y tratada en México, de 2000 a 2015



Fuente: Comisión Nacional del Agua (2016).

En todo el Estado de México (no sólo los municipios de la ZMVM) hay 180 PTAR, con una capacidad instalada para tratar 11,000 L/s, que tratan casi 7,600 L/s. De estas PTAR 94 utilizan el proceso de lodos activados, 20 utilizan procesos aerobios diferentes al de lodos activados, 19 utilizan un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y un filtro biológico, 7 utilizan RAFA únicamente, y otros procesos las restantes 40. En el anexo 2 se muestra un resumen de las plantas de tratamiento de agua en la Ciudad y el Estado de México, incluyendo la capacidad instalada y el caudal tratado, así como los procesos utilizados.

FIGURA 8
Evolución de la capacidad y caudal de PTAR municipales

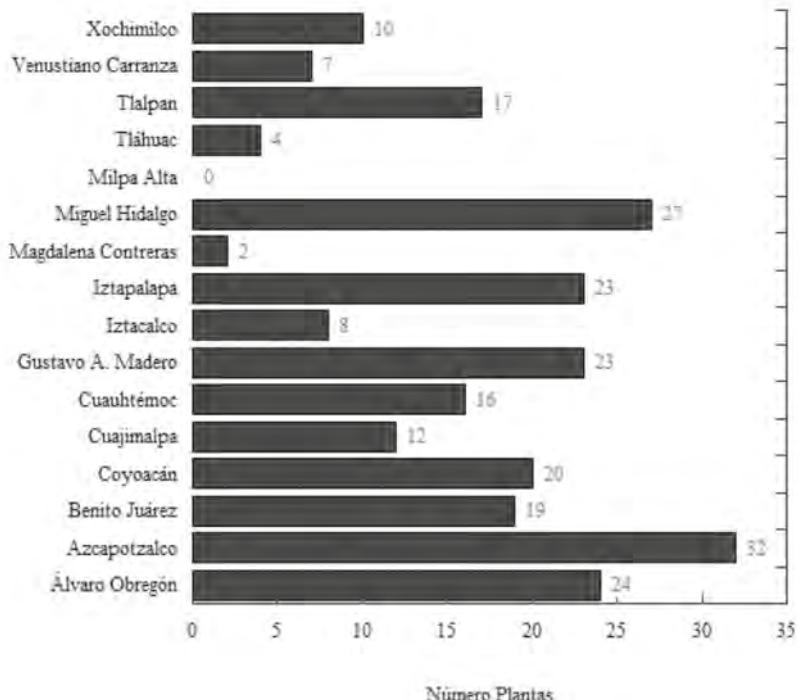


Fuente: Inventario nacional de Plantas Municipales de Potabilización de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre, 2015.

Tratamiento de agua residual industrial

Las aguas residuales industriales son producto de cualquier actividad comercial o industrial, pueden contener sustancias que no es posible eliminar por medio de tratamientos convencionales. En 2015 se contabilizaron en el país 2,832 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, en las cuales se tratan 70,501 L/s, o sea el 80.4% de su capacidad instalada. En el Estado de México 262 plantas con una capacidad instalada de 3,071 L/s con una operación registrada del 72%; de éstas 105 realizan un tratamiento primario, 141 tratamiento secundario y 12 tratamiento terciario [14]. En la Ciudad de México se reportaron 244 PTAR industriales tratando 362.94 L/s, de los cuales el 50% los trata el sector industrial en 103 PTAR, el 44% el de servicios en 118 y 6% corresponden al sector comercial en 23 PTAR. Destaca que la Alcaldía de Azcapotzalco tiene el mayor número de plantas, probablemente debido a la alta concentración de industrias ubicadas en la demarcación; mientras que en Milpa Alta no se reporta ninguna (figura 9).

FIGURA 9
Plantas de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México en 2015



Fuente: Secretaría de Medio Ambiente (2015).

Dentro del sector industrial las industrias que cuentan con una mayor cantidad de plantas de tratamiento son: en primer lugar la industria química con 28 plantas, la industria de fabricación de productos metálicos con 20 y en tercero, la industria alimentaria con 15. En el sector de servicios los subsectores que tienen un mayor número de plantas son el de servicios inmobiliarios con 29, 28 en el de *alojamiento temporal* y 14 en el de *servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas*. En el sector comercial existen 23 plantas de tratamiento, 22 se ubican en el subsector de *bienes de autoservicio y departamentales* y una en el de *vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes* (Secretaría de Medio Ambiente, 2015).

Usos del agua tratada

El agua residual se utiliza en México en grandes cantidades sin tratamiento previo, debido a la falta de este líquido, lo cual pone en riesgo la salud de cientos de miles de habitantes. Por ejemplo, en 2012, de acuerdo con información publicada por el Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua (2012), se trataron en el país 2,857 millones de m³ y se reutilizaron 5,051 millones de m³.

Aunque se hubiera utilizado toda el agua tratada se usaron casi 2,200 millones de metros cúbicos de agua sin tratar ese año (Mendoza, 2012).

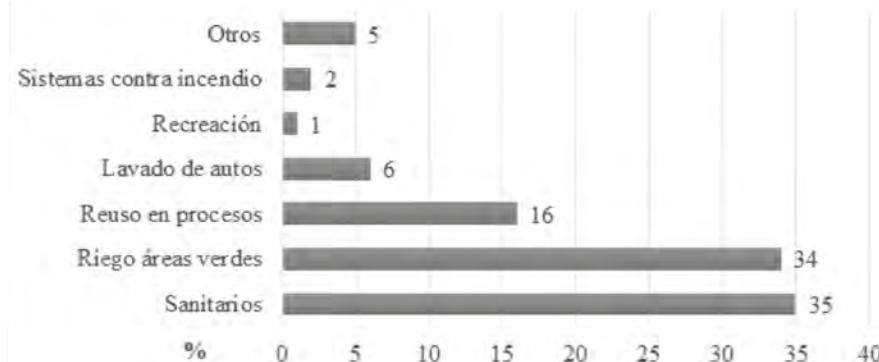
El agua tratada puede utilizarse en la industria, para riego agrícola, para diversos usos municipales y para la recarga de acuíferos. En la industria puede utilizarse en las torres de agua de enfriamiento, que sirven para enfriar líquidos de proceso sin entrar en contacto con éstos últimos, y en los sistemas de agua contra incendio. En actividades municipales puede usarse para el riego de parques y jardines, en los sanitarios, para el llenado de lagos artificiales, para la limpieza de parques y calles, y en el lavado de vehículos de transporte público y privados. Uno de los principales usos es el riego con fines agrícolas, principalmente en las zonas de poca precipitación pluvial y en épocas de sequía, además normalmente el agua residual contiene nitrógeno y fósforo, el cual puede servir como fertilizante para aumentar la productividad (Jiménez, 2008a).

En cuanto a la recarga de acuíferos con agua residual tratada debe contemplarse alcanzar un balance adecuado entre la extracción y la recarga de agua a los mismos, para evitar la concentración de contaminantes que posteriormente traería problemas públicos de salud. Puede considerarse como una fuente de almacenamiento de agua subterránea ya que elimina las pérdidas por evaporación en los cuerpos subterráneos de agua.

Todos estos usos son adecuados siempre y cuando el tratamiento de agua se lleve a cabo de manera adecuada y se controlen acertadamente las concentraciones y contaminantes en ellas, ya que de no ser así se generan riesgos a la salud y contaminación de los cuerpos naturales de agua. En México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-014-Conagua, que regula los requisitos que debe cumplir el agua tratada para ser utilizada en la recarga de acuíferos.

Cualquiera que sea el uso que se le dé, es indispensable asegurar que el agua se haya tratado con procesos primarios y secundarios, pero preferentemente además con algún proceso terciario. De no ser así se utilizaría agua con microorganismos patógenos, nitrógeno, fósforo o metales pesados, entre otros, en concentraciones dañinas (Jiménez, 2008b). En la Ciudad de México el agua residual industrial tratada se reutiliza principalmente en riego de áreas verdes y en sanitarios, solamente el 16% se reutiliza en procesos.

FIGURA 10
Usos del agua tratada en el sector industrial en la Ciudad de México

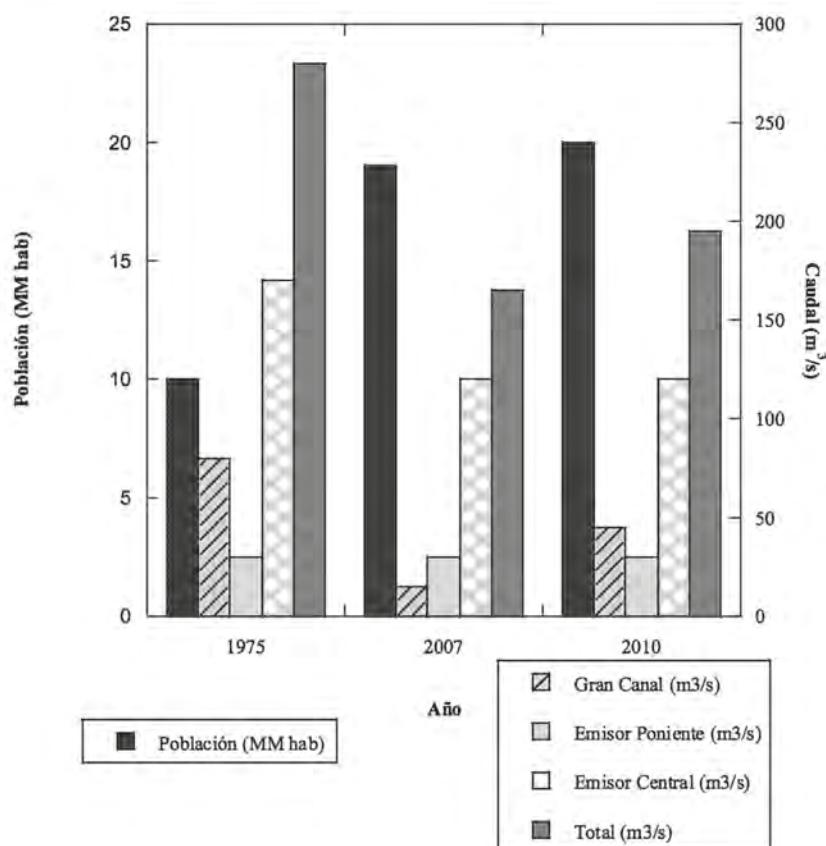


Fuente: Secretaría de Medio Ambiente (2015).

Desecho del agua de la ZMVM

El agua residual de la Ciudad de México, tratada o no, se transporta fuera de ésta por medio de 3 sistemas: El Gran Canal, el Emisor Poniente y el Emisor Central (figura 11). A pesar de que la población ha ido aumentando, el volumen desalojado de agua residual fue mucho menor en 2010 que en 1975. También puede verse que la capacidad de desalojo del Gran Canal y del Emisor Central ha disminuido considerablemente, lo cual se debe principalmente a los asentamientos del terreno y a la falta de mantenimiento de los sistemas.

FIGURA 11
Población de la ZMCM y caudal de agua residual desalojado en cada emisor



Fuente: Comisión Nacional del Agua (2015).

Conclusiones

La ZMVM es una zona densamente poblada que continúa creciendo hacia las periferias, además es una zona económicamente muy activa en la que se produce alrededor del 26% del PIB nacional; dentro de esta zona existen superficies muy densamente pobladas y otras escasamente pobladas, con diferencias económicas y sociales fuertes, una composición del suelo que facilita su hundimiento y una orografía que aumenta los problemas de transporte de agua. Por otra parte el volumen de agua que requiere esta zona es muy grande, con un volumen muy bajo de agua renovable anual *per cápita* de 148 m³ en promedio, lo cual de acuerdo con la OCDE se califica como una condición de escasez de agua, ya que se encuentra muy por debajo de los 500 m³ que esta organización ya califica como de escasez.

El tratamiento de agua residual puede generar un ahorro importante al liberar el agua de primer uso para actividades como limpieza y riego, lo cual ayudaría a disminuir la sobreexplotación de los acuíferos y prevenir la contaminación de cuerpos de agua, mejorando el bienestar de las comunidades. Es necesario considerar que la recuperación de cuerpos de agua subterráneos requiere de décadas, durante las cuales estos cuerpos no pueden explotarse, ni contaminarse para lograr su saneamiento. Por otra parte, los cuerpos de agua superficiales requieren de meses para su recuperación. Además, como se comentó anteriormente, la sobreexplotación de los mantos acuíferos ocasiona serios problemas a la Ciudad tales como los hundimientos y por tanto las inundaciones en época de lluvias, la ruptura de tuberías de transporte de agua limpia y usada, y por tanto el desperdicio de ésta; se estima que del total de agua que se extrae desde su lugar de origen, sólo el 60% llega a los usuarios finales.

Para lograr una disminución de la contaminación del agua se requiere de fuertes inversiones en infraestructura para la construcción y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales y potabilización de agua; estos gastos se verían compensados por el ahorro en atención médica por enfermedades provocadas por el consumo de agua y productos agrícolas contaminados; se estima que en 2015 murieron 3,754 personas debido a enfermedades infecciosas intestinales relacionadas con el consumo de agua contaminada (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, s/f).

En 2015 se realizó para el Valle de México, una inversión en infraestructura para agua potable, alcantarillado y saneamiento de \$ 9,173 millones de pesos, (26% de la inversión en cuestiones de agua del país). Algunas proyecciones señalan que en 2030 la ZMVM generará 9.2 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales, que si son tratadas y reusadas, reducirían en un 40% la demanda de agua de esta zona (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, s/f).

Como recomendaciones generales para mejorar el abasto y el tratamiento de agua a la ZMVM es indispensable contar con una planeación estratégica, que contemple el suministro, la potabilización, distribución, consumo responsable, tratamiento, reutilización y la disposición del agua, a corto, mediano y largo plazos. Es importante financiar proyectos técnicos y científicos que contribuyan a resolver los problemas de agua urbanos y rurales, así como promover una cultura hídrica

responsable en la población, e invertir en la creación de la infraestructura necesaria para cumplir los objetivos de la planeación estratégica generada.

En cuanto al tratamiento de agua es primordial evitar el mezclado de corrientes de agua residual con distintos contaminantes, ya que es más fácil tratar el agua con pocos contaminantes similares. Es indispensable que las plantas de tratamiento trabajen a su capacidad instalada y mejorar la calidad del agua tratada para aumentar sus usos, reduciendo así la demanda de agua potable. Es importante reducir el transporte y el tratamiento de agua, mediante la recolección de agua de lluvia en un sistema diferente al de drenaje, ya que ésta requiere tratamientos más sencillos y menos costos para su reutilización. De acuerdo con los datos mostrados en la Figura 4 la cantidad de agua de lluvia que cae en la Ciudad de México durante los meses entre mayo y octubre es sustancial y construir sistemas de recolección y almacenamiento contribuirá a reducir el transporte de agua que es necesario traer a la ZMVM en épocas de sequía. Una opción que puede analizarse es almacenar el agua de lluvia en acuíferos naturales, para promover la alimentación de agua a los mantos acuíferos de la Ciudad con agua tratada adecuadamente, y disminuir los severos problemas de hundimiento, que además generan la ruptura de tuberías y el desperdicio de agua.

Planificar el mantenimiento preventivo de las plantas potabilizadoras, de tratamiento y de la red de distribución, utilizando sistemas computacionales que programen los mantenimientos preventivos, antes de que se requieran mantenimientos correctivos, mucho más costos, es una práctica que debe contemplarse. Es muy conveniente contar con un sistema alterno de suministro de agua para poder realizar mantenimientos sin necesidad de cortar el suministro de agua completamente a la Ciudad. Es recomendable crear incentivos fiscales para las empresas que traten el agua, incluyendo diferentes niveles de estímulo, en función de la calidad del agua que obtengan después del tratamiento.

En cuanto a las actividades de investigación y desarrollo tecnológico se debe invertir en la investigación sobre mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua, para mejorar la calidad del agua tratada. También es importante incentivar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación sobre procesos de tratamiento de agua que mejoren la rentabilidad económica de las plantas de tratamiento, como son los proyectos de foto catalizadores para tratamiento, distintos tipos de reactores y biorreactores, así como las biorrefinerías, sólo por mencionar algunos.

En cuanto a educación y cultura es necesario crear grandes campañas para difundir una cultura hídrica en la población en general, para lo cual podría comenzarse con los alumnos de la IES, para que sean ellos quienes concienticen al resto de la población. Crear programas de estudio en los que se enseñen los problemas de abastecimiento y tratamiento de agua, y se enseñe a los alumnos la forma de solucionar estos problemas de manera conjunta, así como las metodologías para crear la infraestructura necesaria para asegurar el abastecimiento y uso responsable del agua. Crear programas de estudio de posgrado en las áreas del conocimiento que se requieren para resolver los problemas metropolitanos.

Continuar abasteciendo a la ZMVM de agua de manera sustentable es un reto que debe abordarse de manera holística y que requiere el conocimiento y talento de los miembros de la comunidad académica de diversas especialidades, pero es un desafío que vale la pena superar.

NOMENCLATURA

Abreviatura	Significado
Conagua	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
IES	Instituciones de educación superior
IMHOFF	Recipiente para sedimentación y tratamiento anaerobio
L	Litros
m	Metros
MM	Millones
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PIB	Producto interno bruto
RAFA	Reactor anaerobio de flujo ascendente
RHA	Región hidrológico-administrativa
s	Segundos
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

Referencias

- Comisión Nacional del Agua (2016). *Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* (en línea): <https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-edicion-2016/> [consulta: 20/11/2018]
- Comisión Nacional del Agua (2015). *Atlas del Agua en México.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Comisión Nacional del Agua (2003). *Normas Oficiales Mexicanas.* Secretaría de Medio Ambiente.
- Comisión Nacional del Agua (2016). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento.* Secretaría de Medio Ambiente.
- Consejo Estatal de Población Estado de México (2016). "Encuesta Intercensal 2015", *Cuaderno Estadístico.* Estado de México.
- Duhau, Emilio; Giglica, Ángela (2008). *Las reglas del desorden: habitar la metrópoli.* UAM-AZC, Siglo xxi. México.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. Contaminación en México (en línea) <https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/> [consulta: 15/09/208]
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. Visión General del agua en México (en línea) <https://agua.org.mx/cuenta-agua-tiene-mexico/> [consulta: 20/09/2018].

- Fragoso, Carlos (1996). *Estado de México. Monografía estatal*. México: Comisión Nacional de los Libros de Texto Gratuitos. 2^a. edición.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2012). *Programa de Investigación y desarrollo tecnológico del agua, horizonte 2030*. IMTA.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la megalópolis. (en línea) <http://www.paot.org.mx/centro/libros/proaire/cap02.pdf> [consulta: 12/09/2018]
- Inventario nacional de Plantas Municipales de Potabilización de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre, 2015. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente.
- Jiménez, B. (2008). "Unplanned reuse of wastewater for human consumption: The Tula Valley, Mexico", en Jimenez, B. & Asano, *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*.
- Jiménez, B. (AÑO). Water reuse in Latin America and the Caribbean, en *Water Reuse: An international survey on current practice, uses and needs*. IWAP. pp. 177-195.
- Mendoza Espinosa (2012). *Reutilización de aguas tratadas. Foro Nacional para la elaboración del Programa Especial de Ciencia y Tecnología en Materia de Agua*.
- OECD (2015). *OECD Territorial Reviews: Valle de México*, Mexico, OECD Publishing, Paris.
- Robledo Cabello, Luis. *Abastecimiento de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México*. Foro Metropolitano: El Reto: 1º. El agua. Colegio de Ingenieros Civiles de México. (en línea): <http://www.aldf.gob.mx/archivo-3dbec297284ef26ec6363104588225a9.pdf>. [consulta: 25/11/2018]
- Secretaría de Desarrollo Metropolitano. *Municipios metropolitanos del Valle de México*. Gobierno del Estado de México (en línea) http://sedemet.edomex.gob.mx/municipios_metropolitanos_edomex [consulta: 18/09/2018].
- Secretaría de Medio Ambiente (2015). *Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México.
- Sedesol-Conapo-INEGI (2015). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*, 2010.

Anexo

ANEXO 1 Alcaldías y municipios que conforman el ZMCM [4, 5, 6, 8]

	ALCALDÍA/MUNICIPIO	Población 2015	Territorio (km ²)	Densidad urbana (hab/ha)
0	ZMVM	19,624,480	7952.58	44.64
1	Álvaro Obregón	749,982	95.90	78.20
2	Azcapotzalco	400,161	33.70	118.74

Continúa...

	ALCALDÍA/MUNICIPIO	Población 2015	Territorio (km ²)	Densidad urbana (hab/ha)
3	Benito Juárez	417,416	26.50	157.52
4	Coyoacán	608,479	53.90	112.89
5	Cuajimalpa	199,224	70.80	28.14
6	Cuauhtémoc	532,553	35.50	150.01
7	Gustavo A Madero	1,164,477	88.10	132.18
8	Iztacalco	390,348	23.20	168.25
9	Iztapalapa	1,827,868	113.50	161.05
10	Magdalena Contreras	243,886	63.50	38.41
11	Miguel Hidalgo	364,439	46.30	78.71
12	Milpa Alta	130,582	287.50	4.54
13	Tláhuac	361,593	86.30	41.90
14	Tlalpan	677,104	308.70	21.93
15	Venustiano Carranza	427,263	33.80	126.41
16	Xochimilco	415,933	119.20	34.89
0	CIUDAD DE MÉXICO	8,161,326	1486.40	90.86
1	Tizayuca	119,442	76.70	15.57
0	EDO. DE HIDALGO	119,442	76.70	15.57
1	Acolman	152,506	83.95	18.17
2	Amecameca	50,904	189.48	2.69
3	Apaxco	29,347	75.73	3.88
4	Atenco	62,932	83.80	7.51
5	Atizapán de Zaragoza	11,875	6.92	17.16
6	Atlautla	30,945	162.06	1.91
7	Axapusco	27,709	230.94	1.20
8	Ayapango	9,863	36.41	2.71
9	Coacalco	284,462	35.10	81.04
10	Cocotitlán	14,414	14.86	9.70
11	Coyotepec	41,810	49.32	8.48
12	Cuautitlán	149,550	26.32	56.82
13	Cuautitlán Izcalli	531,041	26.32	201.76
13	Chalco	343,701	219.22	15.68
14	Chiautla	29,159	20.70	14.09
15	Chicoloapan	204,107	53.91	37.86
16	Chiconcuac	25,543	6.92	36.91
17	Chimalhuacán	679,811	44.69	152.12
18	Ecatepec	1,677,678	160.17	104.74

	ALCALDÍA/MUNICIPIO	Población 2015	Territorio (km ²)	Densidad urbana (hab/ha)
19	Ecatzingo	9,414	50.77	1.85
20	Huehuetoca	128,486	118.02	10.89
21	Hueypoxtla	43,748	233.91	1.87
22	Huixquilucan	267,858	140.67	19.04
23	Isidro Fabela	11,726	75.79	1.55
24	Ixtapaluca	495,563	335.85	14.76
25	Jaltenco	27,825	4.73	58.83
26	Jilotzingo	19,013	119.70	1.59
27	Juchitepec	25,436	140.11	1.82
28	Melchor Ocampo	57,152	17.78	32.14
29	Naucalpan de Juárez	844,219	156.63	53.90
30	Nezahualcóyotl	1,039,867	63.74	163.14
31	Nextlalpan	39,666	54.41	7.29
32	Nicolás Romero	410,118	235.65	17.40
33	Nopaltepec	8,960	83.70	1.07
34	Otumba	35,274	195.56	1.80
35	Ozumba	29,114	45.64	6.38
36	Papalotla	3,963	3.19	12.42
37	La Paz	293,725	36.36	80.78
38	San Martín de las Pirámides	26,960	67.22	4.01
39	Tecámac	446,008	157.34	28.35
40	Temamatla	12,984	28.75	4.52
41	Tamascapala	38,622	163.80	2.36
42	Tenango del Aire	12,470	37.77	3.30
43	Teoloyucan	66,518	54.03	12.31
44	Teotihuacán	56,993	83.16	6.85
45	Tepetlaoxtoc	30,680	178.37	1.72
46	Tepetlixpa	19,843	42.98	4.62
47	Tepotzotlán	94,198	187.82	5.02
48	Tequixquiac	36,902	122.32	3.02
49	Texcoco	240,749	432.61	5.57
50	Tezoyuca	41,333	17.46	23.67
51	Tlamanalco	47,390	161.57	2.93
52	Tlalnepantla de Baz	700,734	77.17	90.80
53	Tonantitla	9,728	91.98	1.06
53	Tultepec	150,182	27.22	55.17

Continúa...

	ALCALDÍA/MUNICIPIO	Población 2015	Territorio (km ²)	Densidad urbana (hab/ha)
54	Tultitlán	520,557	69.15	75.28
55	Valle de Chalco	396,157	219.22	18.07
56	Villa del Carbón	47,151	306.56	1.54
57	Zumpango	199,069	223.95	8.89
0	Estado de México	11,343,712	6,389.48	27.49

**ANEXO 2
PTAR en la Ciudad y el Estado de México [15]**

	Ciudad de México	Estado de México
No. de Plantas	29	180
Capacidad Instalada (CI, L/s)	5,604	10,977
Caudal Tratado (CT, L/s)	3,178	7,593
% de uso de las plantas	56.7%	69.2%
Procesos aerobios/CT (L/s)		20/106
Procesos biológicos/CT (L/s)		5/25
Biodiscos/CT (L/s)		1/10
Procesos Diales*/CT (L/s)		2/200
Filtros biológicos/CT (L/s)		3/14.5
Fosas sépticas/CT (L/s)		3/5.5
Humedales/CT (L/s)		1/5
Lagunas de estabilización/CT (L/s)		15/557
Otros procesos/CT (L/s)		1/85
Proceso de lodos activados/CT (L/s)	27/3,153.0	94/5,338
Proceso primario avanzado/CT (L/s)	1/15	1/20
Proceso RAFA+Filtro biológico/CT (L/s)		19/147
RAFA/CT (L/s)		7/18
Proceso RAFA + Humedal/CT (L/s)		2/5
Reactor enzimático		1/3
Tratamiento terciario/CT (L/s)	1/10.0	1/15
Tanque Imhoff/CT (L/s)		1/12
Zanjas de oxidación/CT (L/s)		1/27
TOTAL PLANTAS/CT (L/s)	29/3,178	180/7,593

*Proceso dual. Lodos activados + Biofiltros

Transformación sociotécnica para la implementación de saneamiento descentralizado en la Unidad Cuajimalpa de la Universidad Autónoma Metropolitana

Flor Y. García-Becerra y Miriam Alfie Cohen

Introducción

El campo de saneamiento de hoy se encuentra en una importante oportunidad de innovación debido a tres factores principales: tecnologías convencionales inflexibles e inadecuadas, el cambio de paradigma que ahora ve a los residuos como recursos para ser recuperados, y un creciente cuerpo de conocimiento alrededor de ecosistemas, sistemas socio-ecológicos y la biotecnología. En primer lugar, las tecnologías de saneamiento centralizadas han alcanzado sus límites tecnológicos, superado en capacidad, operatividad y efectividad para las megaciudades de hoy en día, y carecen de financiamiento estable (Morales *et al.*, 2014; Semiyaga *et al.*, 2015). En segundo lugar, a medida que nos acercamos a los límites de las capacidades de cuidado de los ecosistemas urbanos, se hace evidente la necesidad de gestionar (desperdiciar) el agua en ciclos cerrados de producción. Finalmente, el estado del arte en los ecosistemas y la biotecnología nos permiten comprender mejor los procesos biológicos para gestionar el agua en un contexto de metabolismo urbano cerrado.

Las tendencias actuales de saneamiento sustentable incluyen soluciones descentralizadas, como baños secos y fosas sépticas. Sin embargo, las (eco) tecnologías de saneamiento descentralizadas se han desarrollado para áreas periurbanas, principalmente rurales o marginadas. Se sabe que para el año 2030, el cincuenta por ciento de la población humana necesitará depender de sistemas de saneamiento descentralizados, y que la mayoría de estas personas estarán en las ciudades a medida que nuestra población se urbaniza aceleradamente (Yigitcanlar *et al.*, 2018).

Sin embargo, múltiples estudios han demostrado que el público en general tiene una percepción negativa de los sistemas descentralizados, ya que los sistemas de alcantarillado centralizados se equiparan con un mejor estatus social (Córdoba y Knuth, 2005; Ramos-Mejía *et al.*, 2018). Nuestro proyecto utiliza un campus universitario en la Ciudad de México como laboratorio donde buscamos informar a la población urbana sobre los beneficios del saneamiento sostenible, así

como apoyar la transformación de su cultura y sus hábitos a través de metodologías participativas y presenciales para el diseño, la implementación, la operación, la automatización y el uso sostenido de un prototipo de baño seco urbano (UDT). También nos enfocaremos en el desarrollo de prácticas de gestión de saneamiento descentralizadas.

La innovación central de este trabajo radica en la combinación de dos disciplinas diferentes: sociología (estudios socioterritoriales) para la adopción de valores y tecnologías de saneamiento sustentable a través de métodos participativos; e Ingeniería Biológica para el diseño, la operación, el monitoreo y el mantenimiento de esta nuevas ecotecnología. Es fundamental que ambas disciplinas estén involucradas para apoyar la adopción de UDT por parte de la comunidad universitaria de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Cuajimalpa en la Ciudad de México, conformada por aproximadamente 2,800 estudiantes, 200 administrativos / personal de mantenimiento y 210 profesores.

Métodos y materiales

Este proyecto de investigación se llevó a cabo por dos años (2015 a 2017) y se dividió en tres fases: 1) diagnóstico y promoción, 2) diseño y prototipo, 3) evaluación.

- *Fase 1) Diagnosis y promoción.* Esta fase incluyó la realización de investigaciones cualitativas a través de metodologías participativas para estudiar las percepciones de la comunidad sobre el saneamiento en general y los UDT específicamente. Este trabajo de campo se llevó a cabo durante un año por un grupo de trabajo compuesto por aproximadamente 20 miembros de la comunidad de la universidad, en su mayoría estudiantes de diferentes programas de licenciatura, algunos profesores y trabajadores del campus. La composición diversa del grupo fue tal que mejoró el rango de impacto en todos los sectores de la universidad. Este grupo fue capacitado continuamente durante 2015 y 2016 en ecotecnologías, metodologías participativas y habilidades de promoción necesarias para llegar al resto de la universidad.
- *Fase 2) Diseño y prototipo.* La segunda fase incluyó el establecimiento de los objetivos de diseño social, cultural y tecnológico con estudiantes de diferentes programas de licenciatura: Ingeniería Biológica, Biología Molecular, Diseño y Estudios Socioterritoriales. El diseño arquitectónico del UDT fue co-diseñado con estos estudiantes y Lilly Wolfensberger, una arquitecta que se especializa en bioconstrucción de GRUPEDSAC. El diseño tecnológico del UDT, los procedimientos normalizados de operación (PNO) para la operación, el mantenimiento y el monitoreo, así como los planes de escalamiento (reducción o ampliación), fueron desarrollados por estudiantes de pregrado de ingeniería biológica y biología molecular. Esta fase también incluye la construcción del UDT mediante las técnicas del COB (construcción de tierra, arena, paja) y el ferrocemento. Además, la construcción se realizó de forma comunitaria para fomentar su conexión con el prototipo. Esto se llevó a cabo

durante marzo de 2017. Las primeras actividades mencionadas se realizaron durante septiembre de 2016.

- *Fase 3) Evaluación.* Una vez construido, se estudiaron las posibilidades de la automatización del UDT en colaboración con sus usuarios. Además, evaluar el cambio en los hábitos de la comunidad, se realizó una encuesta anónima al grupo de trabajo 4 meses después de la construcción participativa.

Resultados y conclusiones

Fase 1) Diagnosis y promoción. Durante la Jornada de Sustentabilidad del 2015 (Figura 1) se entrevistaron a 400 estudiantes después de haber recibido talleres sobre saneamiento sostenible: únicamente el 23% no estuvo de acuerdo en implementar UDT en el campus, ya que no los consideraron útiles o porque no sabían lo suficiente de esta tecnología. La gran mayoría, casi el 80% de los estudiantes desconocía las diferentes soluciones de saneamiento antes del taller, pero consideró importante conocerlas. Estos resultados indicaron la necesidad de socializar mejor la información sobre UDT y saneamiento sostenible en todo el campus. Por tal motivo se crearon cuentas de Facebook y Twitter y una página web de la universidad para informar y actualizar a la comunidad continuamente sobre este proyecto. También se generó material de divulgación y educación sobre el tema.

FIGURA 1

Actividades de Diagnóstico durante la Jornada de Sustentabilidad durante Noviembre del 2015, UAM-Cuajimalpa



Fase 2) Diseño y prototipo. Los objetivos de diseño para el UDT fueron co-desarrollados con la comunidad de la UAM-C y el grupo de trabajo del proyecto. Los tipos de objetivos y los objetivos incluyen: *social*: alcance comunitario, crear conciencia, transformar prácticas de saneamiento, construir comunidad, fortalecer la misión de la universidad en el desarrollo sostenible, descontruir mitos con respecto a la comunidad; *cultural/status*: ganar reputación como una universidad pionera en saneamiento sostenible, responsabilidad social, prácticas interdisciplinarias innovadoras, liderazgo en saneamiento sostenible; *tecnológico*: tecnología ecológica (ecotécnia) urbana, recuperación de recursos (nutrientes y energía), tecnología innovadora de gestión de recursos de ciclo cerrado. Las tecnologías contempladas para el tratamiento para el UDT con desviación de orina incluyen: celda de combustible microbiana en orina y compostaje acelerado de humanos mediante la técnica de Bokashi. También se desarrollaron PNOS y hojas de trabajo para la operación, monitoreo y mantenimiento del UDT.

En esta fase también se incluyeron sesiones de aprender-haciendo de bioconstrucción del Laboratorio de Baños Secos (LaBS), para lo cual se invitó a toda la comunidad Cuajimalpa y al público en general a participar (Figura 2 y Figura 3). Se abordaron temas revisados durante las sesiones de co-diseño y se hizo énfasis en la práctica de la bioconstrucción. Se preparó el sitio y se proveyó material, herramientas y talleristas que capacitaran a los participantes. Así estudiantes de diversas licenciaturas de estudios socioterritoriales, diseño, ingeniería biológica y biología molecular aprendieron y colaboraron con los talleristas en la construcción de los muros y de las dos cámaras para el baño, ayudaron en la limpieza, el detallado de la mampostería y el zoclo y pintar (pintura de nopal). Se considera que esta actividad proporcionó a los alumnos una cercanía profunda a los rasgos permaculturales y de tecnologías descentralizadas.

FIGURA 2
Construcción del Laboratorio de Baños Secos LABS



FIGURA 3
Fotografía del Laboratorio de baños secos (LABS) terminado



Fase 2) Evaluación. Cuatro meses después de la co-construcción del LABS se realizó una encuesta anónima a alumnos participantes. La encuesta se colectó tanto en línea como en papel. El objetivo de la encuesta era ver el manejo de temas centrales de esta investigación (separación de residuos, valorización de residuos sólidos orgánicos y las tecnologías decentralizadas —ecotecnias— de compostaje y baños secos) y el grado de concientización en relación a los temas centrales mencionados. Para la evaluación de cambio de cultura interrogamos sobre los cambios de valores y hábitos en los encuestados y su comunidad. Los resultados indicaron lo siguiente:

- 78% los alumnos tienen un manejo de básico a profundo sobre las ecotecnias de este proyecto.
- 80% de alumnos tiene manejo profundo sobre la separación de residuos y valorización de éstos.
- 83% de los alumnos han cambiado sus hábitos en relación a los residuos orgánicos (separan basura, cuidan sus recursos y disminuyen el consumo de éstos).
- 70% de los alumnos han impactado a su comunidad con su cambio de hábitos en relación a los residuos orgánicos (sus familias/comunidades ahora separan basura habitualmente, han implementado ecotecnias en sus viviendas, etc.).

- 80% de los alumnos consideraron efectivas las metodologías participativas en el diseño, la construcción y la operación de las ecotecnias en la UAM-C.
- 90% de los alumnos considera que el baño seco tiene una visibilidad media a alta en la UAM-C.

Conclusiones y perspectivas

Con base en el objetivo de esta investigación, que se enfocó en transformar la cultura universitaria para la adopción y la acción de valores sustentables en el manejo de residuos sólidos orgánicos (del comedor y sanitarios), consideramos que los alumnos encuestados mostraron: a) un conocimiento adecuado sobre las ecotecnias manejadas en este proyecto de investigación; y b) que indicaron una modificación de su cultura en cuanto a la separación de residuos orgánicos (de comedor y sanitarios), ya que no sólo valoraron a dichos residuos como recursos sino también llevaron a cabo acciones que muestran un cambio de hábitos e inclusión de ecotecnias en su vida cotidiana. Por dicho motivo, consideramos que el objetivo general de transformación sociotecnológica de este proyecto fue alcanzado en la población que fue encuestada. Con esta experiencia de investigación interdisciplinaria, se ha desarrollado un proyecto para el desarrollo sociotécnico asociado a humedales periurbanos, que tienen la intención apoyar a una comunidad vecina a la UAM-C a adaptar esta ecotecnología para la gestión integral del agua de su comunidad.

Referencias

- Cordova, A., & Knuth, B. A. (2005). Barriers and strategies for dry sanitation in large-scale and urban settings. *Urban Water Journal*, 2 (4), 245-262.
- Morales, M. D. C., Harris, L., & Öberg, G. (2014). Citizenshit: the right to flush and the urban sanitation imaginary. *Environment and Planning A*, 46 (12), 2816-2833.
- Ramos-Mejía, M., Franco-Garcia, M. L., & Jauregui-Becker, J. M. (2018). Sustainability transitions in the developing world: Challenges of socio-technical transformations unfolding in contexts of poverty. *Environmental science & policy*, 84, 217-223.
- Semiyaga, S., Okure, M. A., Niwagaba, C. B., Katukiza, A. Y., & Kansiime, F. (2015). Decentralized options for faecal sludge management in urban slum areas of Sub-Saharan Africa: A review of technologies, practices and end-uses. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 109-119.
- Yigitcanlar, T., Foth, M., & Kamruzzaman, M. (2018). Towards post-anthropocentric cities: Reconceptualizing smart cities to evade urban ecocide. *Journal of Urban Technology*, 1-6.

Contaminación del agua por líquidos radiográficos

Iván Maceda Mejías

Introducción

Existen evidencias documentadas de que el ejercicio de la profesión odontológica participa en la contaminación ambiental, vinculada con los líquidos utilizados en el proceso para la obtención de la imagen radiográfica, ya que los mismos se constituyen por sustancias tóxicas, y al ser utilizados forman compuestos inorgánicos con metales pesados (Silva y Herrera, 2004; Maddalena *et al.*, 2010; Sharim *et al.*, 2011; Pôrto, Guerra y Zanchin, 2012; Danaei *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2014; Kazemi, Yousefi y Mohammadpour, 2016).

Actualmente el proceso para la obtención de la imagen radiográfica se puede llevar a cabo en un cuarto oscuro con una luz roja, en una caja de revelado o con el uso de tecnología altamente especializada, sin embargo esta última aún no es accesible para la mayoría de los cirujanos dentistas por su costo elevado; aún es muy delicada esta nueva tecnología y mucha se encuentra en etapa de prueba (Nair *et al.*, 2009). Dentro las formas convencionales para la obtención de la imagen radiográfica, en las que se utiliza la película y los líquidos radiográficos, la película contiene granos de haluro de plata, principalmente cristales de bromuro de plata y, en menor medida, de yoduro de plata, distribuidos uniformemente en una matriz adhesiva (Haring y Jansen, 2002).

Los líquidos para revelar y fijar la imagen radiográfica se encuentran compuestos por agua, en su mayoría, y de distintas sustancias químicas como la hidroquinona, etilenglicol o el tiosulfato amónico, entre otras, que resultan ser altamente tóxicas (Silva y Herrera, 2004). La hidroquinona, que constituye el líquido revelador, es catalogada como venenosa al inhalarse o absorberse a través de la piel y produce contaminación del agua. El etilenglicol, presente tanto en el líquido revelador como en el fijador, puede causar irritación, enrojecimiento y quemaduras en la piel, así como producir efectos tóxicos al absorberse a través de la piel, por inhalación o al ingerirse.

Algunos de los componentes de estos líquidos son clasificados como sustancias peligrosas, es decir que por sí mismos ya son potencialmente dañinos para los seres vivos y el ambiente que los rodea (NOM-052-SEMARNAT-2005; Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ASTRE], 2005). El lixiviado conformado entre los líquidos mencionados y la película radiográfica en el proceso de revelado de las radiografías genera además otras sustancias como el

sulfuro de plata que puede producir irritación de la piel y de las mucosas de las membranas (Silva y Herrera, 2004).

En la atención odontológica en México, a nivel de salud pública, en la Ciudad de México se registraron en el año 2014, 21,521 radiografías tomadas, mientras que en el 2015, 18,262, (Secretaría de Salud del Distrito Federal [SSDF], 2014; SSDF, 2015). En el 2010, se registraron 295,965 radiografías dentales tomadas, considerando todas las entidades federativas (SINAVE/DGE/SSA, 2010).

Otro problema que se ha identificado es que el contacto de estas sustancias con otros residuos sólidos pueden interactuar de manera corrosiva y volver disponibles fracciones de otros metales o compuestos dañinos para el ambiente y seres vivos, como el caso del líquido fijador, mismo que puede interactuar con el plomo del que se constituye en la lámina metálica contenida en el paquete radiográfico individual en los casos en que existen descuidos. En algunos casos los residuos del líquido fijador se diluyen o neutralizan antes de arrojarlos al desagüe, dejando estos residuos presentes en el agua residual (Maddalena *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2014).

La NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características y las rutas para identificar y clasificar las características de corrosión, reactividad, explosividad, toxicidad y punto de inflamación (CRETI), señala listados de los residuos peligrosos de acuerdo con sus características particulares, haciendo explícita también la forma en que se deben manejar. De acuerdo con esto, cualquier centro de atención a la salud bucal o centro de estudios radiográficos representan una fuente puntual de contaminación, por lo que conllevan la responsabilidad en el cumplimiento de la Normatividad relacionada con las descargas de aguas residuales y el manejo de residuos tóxicos (NOM-001-ECOL-1996; NOM-002-ECOL-1996-SEMARNAT; NOM-052-2005- SEMARNAT).

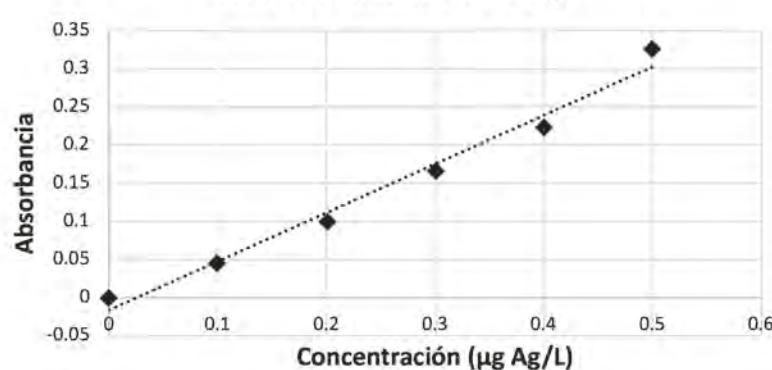
Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar las concentraciones de plata (Ag) y plomo (Pb) en los líquidos de revelado, agua para baño de paro y líquido fijador, utilizados en la atención odontológica, para la obtención de la imagen radiográfica.

Material y métodos

Esta investigación es experimental con un estudio de tipo prospectivo y descriptivo (Sánchez, Tomasis y Sáenz, 2002). Se realizó la toma 1 serie de 10 radiografías a 4 pacientes respectivamente, con un aparato de rayos X de la marca Trophy® a 4,42mA/0.14seg y 75KVP AVG con técnica de cono corto. Posteriormente cada serie, que consiste en toma, revelado y fijación de la imagen de dichas 10 radiografías, fue procesada en una caja de revelado, pasando por 3 vasos estériles de polietileno en el siguiente orden: revelador durante 45 segundos, agua (baño de paro) durante 5 segundos y fijado durante 2 minutos; al término de procesado de cada serie, se guardaron los 3 vasos en refrigeración. Los líquidos de la 1^a serie procesada se refrigeraron y se utilizó como control (sc); los líquidos de la 2^a serie se refrigeraron (S1) dejando dentro de cada vaso —durante una hora— una radiografía insatisfactoria; los líquidos de la 3^a serie se refrigeraron, dejando dentro de cada vaso —durante una hora— una lámina de plomo (S2); los líquidos de la 4^a serie se refrigeraron dejando dentro de cada vaso —durante una hora— una radiografía insatisfactoria y una lámina de plomo(S3); también se recolectaron los 3 líquidos del proceso radiográfico sin uti-

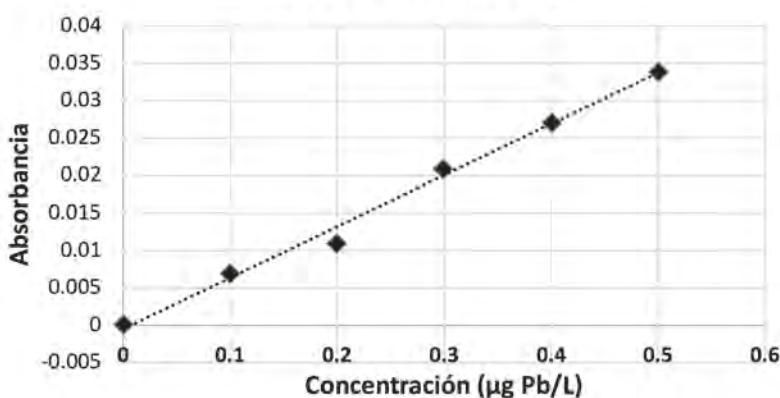
lizarse para contar con muestras testigo (st). En el Laboratorio de Edafología de la UAM-X se determinaron las concentraciones de plata (Ag) y plomo (Pb) en las muestras de líquidos radiográficos colectados, mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 3110, con base en el método sugerido por la NMX-051-AA-SCFI y la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, se llevaron al laboratorio para ser analizados (NMX-AA-051-SCFI-2016). Se realizaron las curvas de calibración, previamente a la de terminación de la concentración de Ag y Pb (Gráfica 3.4.1 y 3.4.2).

GRÁFICA 2.1
Cumplimiento de la ley de Beer-Lambert (Curva de calibración de Ag)



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICA 2.2
Cumplimiento de la ley de Beer-Lambert (Curva de calibración de Pb)

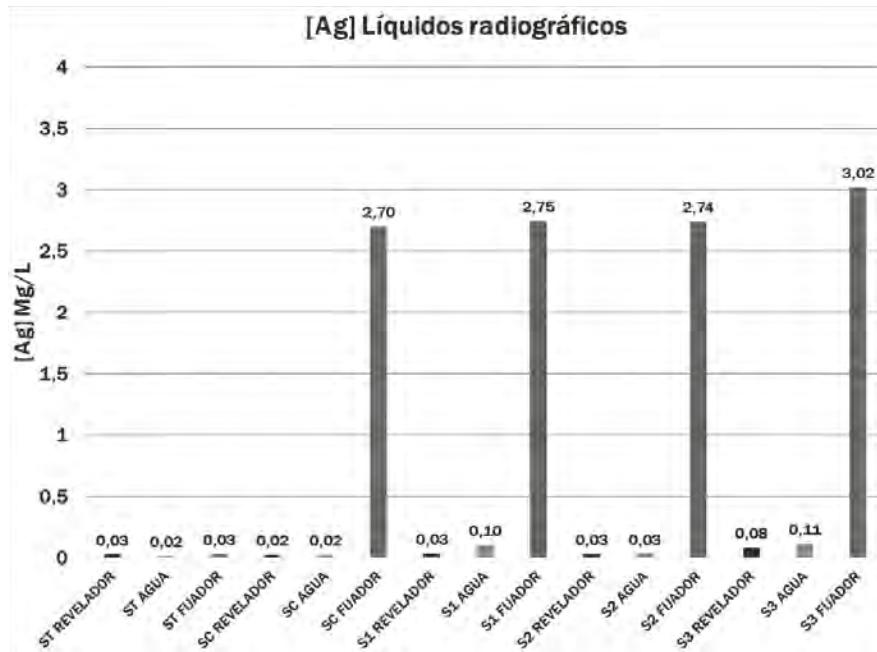


Fuente: elaboración propia.

Discusión

La concentraciones de Ag más altas se encontraron en el líquido fijador de la sc (2.7 mg L⁻¹), S1 (2.75mg L⁻¹), S2 (2.74 mg L⁻¹) y S3 (3.02 mg L⁻¹).

GRÁFICA 3.1
Concentración de plata en series de líquidos radiográficos

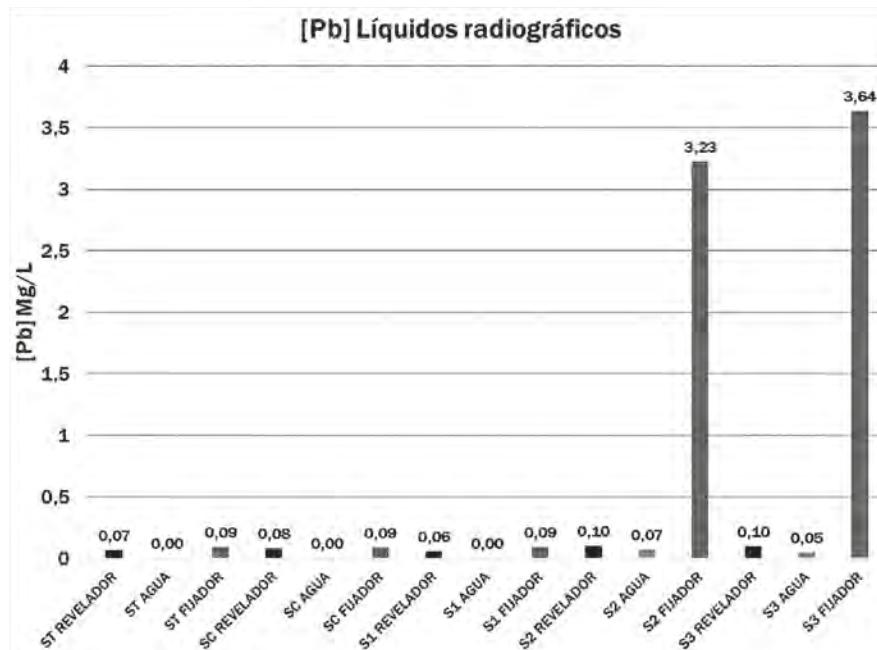


Fuente: elaboración propia.

La concentraciones de Pb más altas se encontraron en el líquido fijador de la S2 (2.74 mg L⁻¹) y S3 (3.02 mg L⁻¹).

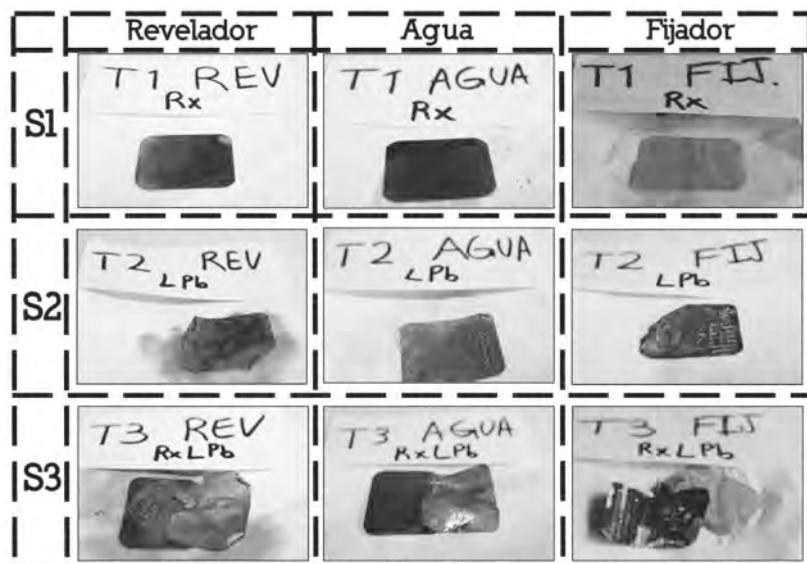
El estado en el que quedaron los componentes del paquete radiográfico que fueron sumergidos en los líquidos radiográficos presentó distintas características que evidencian las reacciones que pueden tener los líquidos con otros materiales. En el caso de la película radiográfica que fue sumergida en el fijador quedó desprovista de los haluros de plata, misma situación que sucedió en el caso de la S3 con el fijador, sólo que en ese caso formó sales. En el caso de la lámina de plomo sumergida en el revelador, la lámina se oxidó y se volvió más frágil, y en el caso de la lámina de plomo junto con la película en la S3, la lámina se volvió aún más frágil y aparentemente la oxidación fue mayor. El agua resultó ser el líquido más inocuo para estos objetos sumergidos.

GRÁFICA 3.2
Concentración de plomo en series de líquidos radiográficos



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 3.1
Estado físico de las películas y láminas de plomo sumergidas en los líquidos radiográficos



Fuente: elaboración propia.

El tema de la contaminación derivada de los líquidos utilizados para la obtención de la imagen radiográfica en la práctica odontológica puede tener su origen en la desvinculación de la responsabilidad que se tiene de estos desechos por parte de las empresas que fabrican los materiales radiográficos. Si bien existen servicios de reciclaje que ponen a disposición algunas empresas fabricantes de estos materiales, será importante que se consideren de igual manera los residuos de los líquidos radiográficos (Hiltz, 2007). De acuerdo con la Asociación Dental Americana, al menos una empresa dedicada a la fabricación y la distribución de las radiografías intraorales ha proveído el servicio de reciclaje de sus desechos, sin embargo ya no es posible dicho servicio en la dirección electrónica que sugería el Consejo de Asuntos Científicos de la ADA (ADA, 2003). Paralelamente a este problema, la brecha que imposibilita estas acciones se amplía, ya que los practicantes de la carrera universitaria no están enterados de esta situación.

Si se toma en cuenta que la interacción entre los líquidos radiográficos y la película se generan distintos compuestos inorgánicos tóxicos, es importante dar relevancia a la necesidad del manejo adecuado de estos residuos (Silva y Herrera, 2004).

Algunas investigaciones resaltan que existe desconocimiento sobre este problema por parte de los odontólogos. Un estudio realizado en Brasil, donde se aplicó una encuesta a 40 odontólogos, presentó que aproximadamente el 35%, vertían los residuos de los líquidos radiográficos al sistema de desagüe, 22.5% los vertía al desagüe después de diluirlo y 7.5% realizaba lo mismo después de neutralizarlos (Pôrto *et al.*, 2012), mientras que en otro estudio, en el mismo país, de 64 odontólogos encuestados, el 42.85% los vertía en el sistema de desagüe, el 37.14% en desagüe después de diluir, el 34.28% en el desagüe después de diluir (Maddalena *et al.*, 2010). En otra investigación llevada a cabo en la India, con la participación de 200 odontólogos encuestados que se dedicaban a la práctica privada, se encontró que el 45% vertía estos residuos en el desagüe común y el 49.4 % en el desagüe después de diluir (Singh *et al.*, 2014).

FIGURA 3.2

Destino final de residuos de líquidos radiográficos en Minas Gerais, Brasil

Fuente: elaboración propia. De 40 odontólogos encuestados, advertidos previamente del tema de sustentabilidad (2012).

En otro estudio en Shiraz, ubicado al sur de Irán, se hizo la recolección de los desechos que fueron agrupados en desechos de amalgama, líquido fijador y láminas de plomo. En relación con los residuos de los líquidos radiográficos, se registró que el 80.3% los vertía en el sistema de desagüe (Danaei *et al.*, 2014).

FIGURA 3.3
Destino final de residuos de líquido revelador en Pelotas, Brasil



Fuente: elaboración propia. De 64 odontólogos encuestados (2010).

FIGURA 3.4
Destino final de residuos de líquido fijador en Pelotas, Brasil



Fuente: elaboración propia. De 64 odontólogos encuestados (2010).

FIGURA 3.5

Destino final de residuos de líquidos radiográficos en India



Fuente: elaboración propia. De 200 odontólogos encuestados (2014).

FIGURA 3.6

Destino final de residuos de líquidos radiográficos en Irán



Fuente: elaboración propia. De encuestas realizadas en 86 consultorios privados, 14 clínicas privadas y 10 clínicas públicas (2014).

Otro problema que se ha identificado es que el contacto de estas sustancias con otros residuos sólidos puede interactuar de manera corrosiva y volver disponibles fracciones de otros metales o compuestos dañinos para el ambiente y seres vivos, como el caso del líquido fijador y el plomo del que se constituye en la lámina metálica, contenida en el paquete radiográfico individual, por lo cual en algunos casos se diluyen o neutralizan estos líquidos antes de arrojarlos al desagüe (Maddalena *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2014). Sin embargo, estas acciones no evitan la participación

de estos residuos en la bioacumulación y la biomagnificación de los metales pesados en las cadenas tróficas, ni el fenómeno conocido como eutrofización (Smith y Smith, 2002; Parra, 1989).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la determinación de Ag y Pb, la concentración de plomo aumenta drásticamente cuando el fijador entra en contacto con la lámina contenida en el paquete radiográfico individual, situación que representa mayor riesgo en el caso de que no se manejen adecuadamente los líquidos utilizados para la obtención de la imagen radiográfica.

Las leyes y normas que toman un papel fundamental en el cuidado del medio ambiente y la correcta disposición de los desechos y residuos generados en las actividades humanas, son aplicables en la problemática planteada en todas sus aristas, además de poderse vincular directamente con la práctica odontológica (NOM-087-ECOL-SSA1-2002; NOM-013-SSA2-2015; Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente, 2015; Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2018).

Otra falla que puede ocurrir en el momento del procesado de la imagen radiográfica, es cuando resulta insatisfactoria la obtención de la imagen para el diagnóstico, por lo que la película es depositada en el bote de basura, sin tomar en cuenta que puede recuperarse plata coloidal a partir de las mismas (Sathaiyan *et al.*, 2002; Ramirez, Reyes y Veloz, 2011; Arsalan, Ucurum, Vapur y Bayat, 2011). Según el estudio realizado en Brasil, que se ha mencionado anteriormente, señala que el 90% de los odontólogos encuestados desecharan las radiografías insatisfactorias en el basurero municipal (Maddalena, *et al.*, 2010).

El tema del cuidado del agua en las ciudades es en principio una responsabilidad compartida por tratarse de un bien común, y se requiere tomar medidas en todos los sectores, ya que actualmente los mecanismos de regulación y vigilancia para el cuidado del agua no son suficientes (Cannabal y Narchi, 2014).

En la práctica odontológica se ha adherido el término ecoamigable al igual que en muchas otras actividades, término que desde un punto más estricto hace referencia a las acciones mínimas necesarias para mitigar la contaminación ambiental, aunque aún se puede avanzar mucho más sobre este tema dentro de las acciones de fondo, sin dejar de tomar en cuenta estas recomendaciones (Chadh, Panchmal, Shenoy, Siddique y Jodalli, 2015). Por lo pronto es importante entender que tomar medidas para el manejo de estos residuos representa un beneficio económico a la par, pues existe la posibilidad de recuperar el valor económico de estos residuos, además de existir distintas empresas encargadas en la recuperación del valor de estos residuos (SEMARNAT, 2010).

Conclusiones

Existen evidencias suficientes que señalan la falta del cuidado que se tiene sobre con los residuos de los líquidos radiográficos, por lo que resulta importante ir más allá del diagnóstico de dicho problema y comenzar a tomar medidas para resolverlo de la mejor manera posible. La problemática de sustancias corrosivas y el aumento de la contaminación por la interacción que tienen

con otras sustancias puede ser difícil de percibir, pero es un hecho que debe asumirse con responsabilidad y hacerlo evidente. El contenido de ciertos contaminantes como los iones de plata pueden impedir el correcto tratamiento de aguas residuales.

El manejo ordenado y adecuado de dichos residuos puede facilitar el uso de tecnologías encaminadas a la recuperación del valor económico de los materiales que los constituyen, como la plata. Aunque a lo largo del presente artículo no se mencione el tema de educación ambiental, es preciso señalar que es de primer interés incluir esta temática en el programa de estudios de todas las carreras universitarias, por tratarse de un tema de interés común.

Referencias

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2017). Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU Servicio de Salud Pública División de Toxicología y Medicina Ambiental. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- American Dental Association (2003). Association Report: *Managing silver and lead waste in dental offices*, JADA, 134.
- Arsalan, V., Ucurum, M., Vapur, H y Bayat, O. (2011). Recovery of Silver from Waste Radiographic Films by Chemical Leaching. *Asian Journal of Chemistry*, 23 (1), 67-70. Recuperado de http://www.asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=23_1_16
- Canabal B. y Narchi, N. (2014). *El agua en los pueblos del sur de la ciudad de México*. Madrid, España. Plaza y Valdés Editores.
- Chadh G. M., Panchmal G. S., Shenoy, R. P., Siddique, S., Jodalli, P. (2015). Establishing an Eco-friendly Dental Practice: A review. *IJSS Case Reports & Reviews*, 1 (11), 78-81.
- Danaei, M., Karimzadeh, P., Momeni, M., Palenik, C. J., Nayebi, M., Keshavarzi, V. y Askarian, M. (2014). The Management of Dental Waste in Dental Offices and Clinics in Shiraz, Southern Iran. [El manejo de los desechos odontológicos en consultorios y clínicas dentales en Shiraz, sur de Irán] *Int J Occup Environ Med*, 5 (1), 18-23.
- Haring, J. I. y Jansen. L. (2002). Radiología dental: principios y técnicas. 2^a ed. México. McGraw-Hill Interamericana.
- Hiltz, M. (2007). The Environmental Impact of Dentistry. [Impacto de la práctica dental en el ambiente] *JCPA*, 73 (1), 59-62.
- Kazemi, F., Yousefi, Mohammadpour, R. A. Dental waste characterization in the city of Ilam in 2014. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3 (3), 115-21.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente. *Diario Oficial de la Federación* (DOF). México, D.F. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janum/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación* (DOF). México, D.F. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf

- Maddalena, D. I., Santos, E. E, Oliveira, C. R., Pereira, L. F. P., Pereira L. A. P. y Lopes D. K. (2011). Evaluación del destino dado a los residuos de materiales radiográficos por parte de los dentistas de la ciudad Juiz de Fora (Minas Gerais, Brasil). *Acta Odontológica Venezolana*, 49 (3), 1-11. Recuperado de www.actaodontologica.com.
- Nair, M. K., Pettigrew, J. C., Loomis, J. S., Bates, R. E., Kostewicz, S., Robinson, B... Dolan, T. A. (2009). Enterprise-wide Implementation of Digital Radiography in Oral and Maxillofacial Imaging: The University of Florida Dentistry System. [Implementación en toda la empresa de la Radiografía Digital en Imágenes Oral y Maxilofacial: El Sistema de Odontología de la Universidad de Florida] *Journal of Digital Imaging: The Official Journal of the Society for Computer Applications in Radiology*, 22 (3), 232–241. <http://doi.org/10.1007/s10278-008-9149-5>
- NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de agua-Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. *Diario Oficial de la Federación* de 07-12-2016.
- NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D. F., 30 de octubre de 1996.
- NOM-002-ECOL-1996-SEMARNAT. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal México, D.F., 17 de abril de 2015.
- NOM-013-SSA2-2015. Para la prevención y control de enfermedades bucales. SSA, 2016. México, D. F., 23 de noviembre de 2016.
- NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. México D.F., 15-12-2005
- NOM-087-ECOL-SSA1-2002, protección ambiental-salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos- clasificación y especificaciones de manejo. México, D. F., 12- 06-1996.
- Parra, O. O. (1989) La eutrofización de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo*, 1, 117-136
- Pôrto, B. K. F., Guerra, L. R. y Zanchin, B. E. F. (2012). Gerenciamento dos resíduos radiológicos em consultórios odontológicos da cidade de Pelotas (RS, Brasil). [Gestión de los residuos radiológicos en consultorios odontológicos de la ciudad de Pelotas (RS, Brasil)] *Arq Odontol, Belo Horizonte*, 48 (4), 242-250.
- Ramírez, P.A., Reyes, V.E., Veloz, M.A. (2011). Silver Recovery from Radiographic Films Using an Electrochemical Reactor, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 6, 6151- 64. Recuperado de <http://www.electrochemsci.org/papers/vol6/6126151.pdf>
- Sánchez, T. L., Tomasis, J. N., Sáenz, L. P. (2002). *Guía Metodológica para la educación de un protocolo de investigación en el área de la salud*. México. Editorial Prado.
- Sathaiyan, N., Pandiammal, M., Vincent, S., Adaikkalam, P., Venkateswaran, K. V., Mahadeva, I. (2002). Cost effective potentiostatic control unit for recovery of silver from photographic fixer solution. *Bulletin of Electrochemistry*, 18 (7), 333-6. Recuperado de http://krc.cecni.res.in/ro_2002/019-2002.pdf

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/transparencia/transparenciafocalizada/residuos/Documents/directorio_residuos.pdf
- Shraim, A.; Alsuhami, A. y Al-Thakafy, J. T. (2011). Dental clinics: A point pollution source, not only of mercury but also of other amalgam constituents. [Clínicas dentales: Una fuente puntual de contaminación, no sólo de mercurio sino también de otros constituyentes de la amalgama] *Chemosphere*. 84, 1133-9.
- Silva, T. P. y Herrera, V. J. J. (2004). Determinación de los componentes de las aguas residuales de los tanques de revelado de radiografías de laboratorios dentales. *Odovtos*, 6, 110-113.
- Singh, R. D., Jurel S. K., Tripathi S., Agrawal K. K. y Kumari R. (2014). Mercury and other biomedical waste management practices among dental practitioners in India. [Manejo de los residuos de mercurio y otros desechos resultantes de las prácticas biomédicas por odontólogos en la India] *BioMed Research International*, Vol. 2014, Article ID 272750, 6 p. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1155/2014/272750>.
- SINAVE/DGE/SSA. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Dirección General de Epidemiología y Secretaría de Salud (2010). Perfil epidemiológico de la salud bucal en México 2010. Recuperado de www.salud.gob.mx/www.dgepi.salud.gob.mx
- Smith, R. y Smith, T. (2001). *Ecología*. 4^a Ed. Madrid: Pearson Educación.
- SSDF. Secretaría de Salud del Distrito Federal (2015). Agenda estadística 2015. Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial Dirección de Información en Salud México, D. F. Recuperado de http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/agenda_2015/inicio.html
- SSDF. Secretaría de Salud del Distrito Federal (2014). Agenda estadística 2014. Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial Dirección de Información en Salud México, D. F. Recuperado de http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/agenda2014_portal/inicio.html

Proceso y equipo para el tratamiento biológico de efluentes domésticos a alta tasa

Hugo Velasco Bedrán

Antecedentes

Diversos organismos internacionales han señalado que la población humana se enfrenta a un creciente déficit de agua para su uso (Global Environment Outlook, 2000; Banco Mundial, 2000). Es muy oportuna una nueva tecnología para promover su reuso. Recientemente se midió el estrés hídrico en 13 regiones del territorio nacional como proporción entre la tasa del uso del agua y la tasa natural de recuperación. Se define como estrés severo el 40 %. En la Zona Metropolitana de la CDMX: se evalúa el estrés como de 132.3 %. (Farell Baril C., 2013). En esta misma zona, la tecnología tradicional de “Lodos Activados” para el tratamiento de agua es predominante, pero no se ha construido en dos sexenios ninguna planta nueva y sólo se trata el 11 % del agua vertida.

Los reactores biológicos de biomasa adherida a soportes móviles aplicados a la depuración de aguas residuales ofrecen importantes ventajas respecto a otros tipos (Anoxkaldnes, 2006; González-Brambila, 2006; Heijnen, 1997) y se basan en la movilidad de los soportes para los microorganismos mediante una corriente de líquido o de gas y a su pequeño tamaño. Estos factores aseguran una buena mezcla y una alta concentración de biomasa en el interior del reactor, por lo que se consiguen elevados rendimientos con tiempo de retención hidráulico (TRH) muy corto (Hernández, 2009). En el Laboratorio de Ingeniería de Bioprocessos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas se desarrolló un proceso continuo con lodos adheridos a soportes en un reactor de ascenso por aire con un sistema de aireación por recirculación a través de un inyector de Venturi (RAAV).

Concepto y finalidad

Las plantas tradicionales de tratamiento de aguas residuales con lodos activados tienen capacidades para tratar flujos de miles de L/s y por ende son de gran volumen (50 000 m³), puesto

que el tiempo de tratamiento es de 12 h de TRH. Además generan un volumen de gran magnitud de lodos activados excedentes, el cual no es aprovechado. Su construcción implica inversiones cuantiosas. Una alternativa es el diseño de escala descendente de plantas de tratamiento en el punto de descarga con dispositivos para minimizar el contenido de sólidos suspendidos volátiles en el agua tratada.

Diseño a 30 L

A partir de estos conceptos y con ese objetivo, se diseñó un dispositivo y un proceso de tratamiento biológico de efluentes domésticos que puede emplearse en el punto de descarga por ser un proceso de alta tasa y que mantiene a los “lodos activados” como una bio-película adherida a soportes y no como flóculos en suspensión. El dispositivo consta de un recipiente cilíndrico cuyas dimensiones conserven una proporción de altura igual a dos veces su diámetro. En su interior se posiciona un cilindro concéntrico cuyo borde inferior no llega al fondo sino que permite el paso al fluido y a los soportes sólidos que flotan en el seno del fluido, y cuyo diámetro es tal que permite el paso a por lo menos dos de los soportes mencionados. Su borde superior permanece sumergido en el fluido.

Un circuito de tubería comercial, servido por una bomba comercial de uso continuo y de descarga de por lo menos 10 L/min, succiona en un extremo del circuito y a través de una pichancha el agua a tratar y la conduce a través de una válvula de Venturi en cuya garganta se encuentra una tubería abierta a la atmósfera. El flujo de recirculación es tal que el tubo de la válvula Venturi aspira el aire a una tasa conveniente para la transferencia de oxígeno. La emulsión gas/líquido formada en la descarga de la válvula Venturi es conducida por la parte final de la tubería hasta un eyector colocado en el fondo del cilindro concéntrico y en una posición central.

La descarga de la emulsión gas/líquido provoca una corriente ascendente en esta zona del reactor (zona del ascensor) hasta el espacio superior entre el borde superior del cilindro interno y la superficie de la columna del líquido. En ese espacio las burbujas se escapan a la atmósfera y el líquido solo, más denso que la emulsión, circula en dirección descendente en el espacio entre el cilindro interior y la pared del reactor (zona del bajante). Esta recirculación interna promueve un buen mezclado y una eficiente transferencia de oxígeno (Hernández, Mújica, Velasco, 2010).

El reactor prototipo de laboratorio tiene las siguientes dimensiones: diámetro del reactor: 28 cm; diámetro del cilindro interno (“riser”): 17 cm; altura del reactor: 59.5 cm; altura del “riser”: 36 cm; altura de la columna de líquido: 48 cm; volumen: 28 L; Relación altura/diámetro: 1.7.

Reactor Agitado Mecánicamente vs RAAV

En reactores de laboratorio se discriminó entre un diseño de reactor agitado mecánicamente y aireado (RAM, Anoxkaldnes, 2006) y un diseño de ascenso por aire con inyector de Venturi (RAAV). La concepción de un diseño para el tratamiento *in situ* y una mayor eficiencia de remoción dirigieron el esfuerzo hacia la segunda opción, logrando eficiencias de abatimiento de la demanda química de oxígeno (DQO, un indicador de la materia orgánica contaminante) de 90 % aproximadamente con un tiempo de proceso de entre tres y cuatro horas. Las dos opciones se compararon con la operación del sistema tradicional (ver la Tabla 1).

TABLA 1

Resultados de la operación de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales con lodos activados. DQO_e, carga contaminante de entrada, DQO_s, descarga de lodos activados, ssv_s

Proceso	RAM	RAM	RAAV	RAAV	Tradicional
V (L)	25	25	28	28	6
t _r (h)	4	6	4	6	12
DQO _e (mg/L)	324	324	324	324	324
DQO _s (mg/L)	178	66	68	27	10
ssv _s (mg/L)	-	215	190	240	2077
Eficiencia %	45	79	79	91	97

Fuente: elaboración propia.

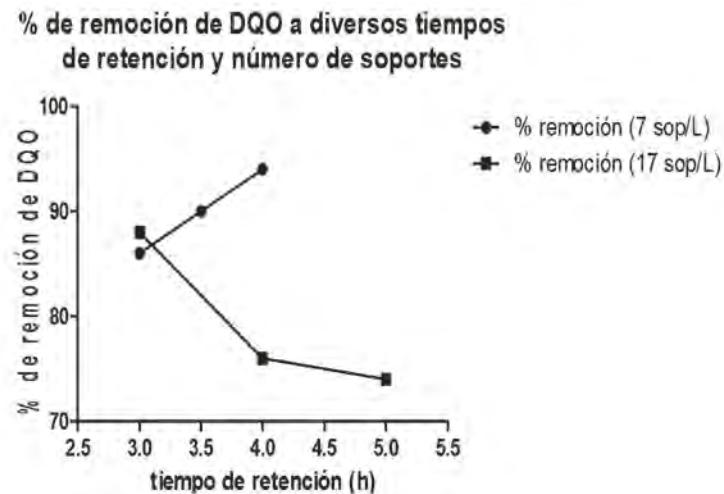
El sistema RAAV ofrece la misma eficiencia satisfactoria que el RAM, pero en un TRH 33 % menor.

Optimización del número de soportes

Definida la opción de reactor de ascenso por aire con inyector de Venturi (RAAV) se optimizó el número de soportes en el reactor, encontrando que entre 6 y 15 soportes por litro se obtiene una eficiencia de 90 % comparando asimismo con tiempos de retención hidráulica de 3 a 5 h. Para estas pruebas se sustituyó el material y el equipo para la línea de recirculación, con material y equipo comercial (PVC y una bomba de uso continuo). Los resultados se muestran en la Figura 1.

FIGURA 1

Gráfica de las eficiencias de remoción de DQO a distintos tiempos de retención y con distintas cargas de soportes con lodos adheridos por L de líquido (Orozco, 2013)



Fuente: elaboración propia.

Se observa que una carga de soportes de 17/L disminuye la eficiencia de tratamiento.

Diseño a escala ascendente

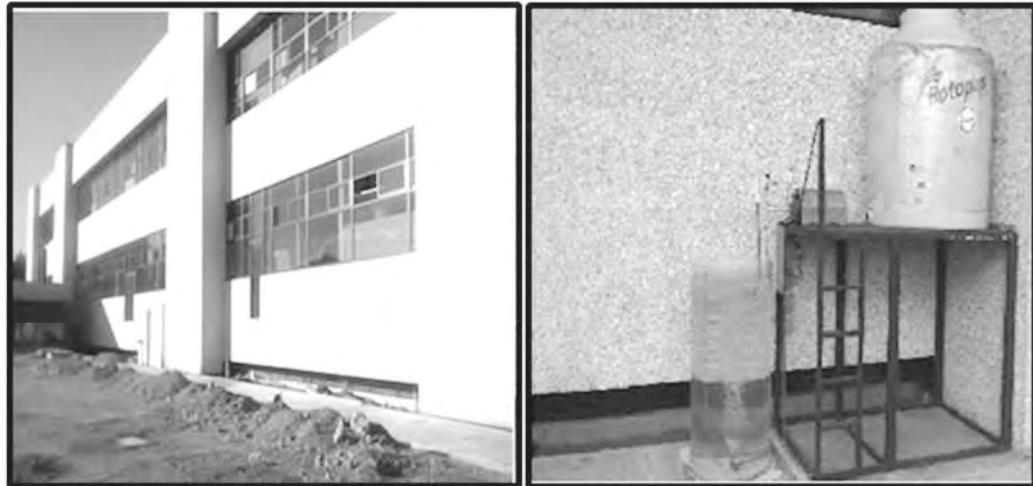
Bases de diseño

Con la eficiencia y la cinética obtenidas en el prototipo de laboratorio, se diseñó, construyó y caracterizó un reactor prototípico sobre la base de tener la capacidad de procesar las aguas residuales de una familia de cinco miembros considerando una carga contaminante de 500 mg DQO/L. Se estima una descarga diaria urbana de 200 L/persona, o sea una descarga familiar de 1 m³/día. (40 L/h), considerando con holgura un tiempo de tratamiento de 6 h, un reactor de 240 L puede ser eficaz.

Diseño

Se diseñó un reactor prototípico experimental de acrílico, con las siguientes dimensiones: Diámetro Externo (m) 0.625; Altura (m) 1.20; Espesor (cm) 1; Diámetro Interno (m) 0.524; Altura de la columna de líquido (m) 1; Espesor de la pared (cm) 0.8. La Figura 2 muestra el reactor durante su instalación con la estructura de soporte.

FIGURA 2
Exterior del Departamento de Ingeniería Bioquímica (ENCB, IPN) y reactor RAAV en proceso de montaje



Fuente: elaboración propia.

El reactor tiene un volumen de operación de 300 L y un volumen total de 340 L. En la Figura 2 se muestra asimismo la estructura metálica para las bombas tanto de recirculación como de alimentación y descarga para la operación continua del proceso (que no se muestra en la Figura). El recipiente de 1 m³ sobre la plataforma sustituye un cárcamo de acopio del agua residual previa a su tratamiento.

Caracterización del biorreactor

Se midieron los valores de las variables que caracterizan los fenómenos de transporte de masa y de *momentum* en el biorreactor.

La velocidad de circulación del líquido: en el Ascensor es de 0.14 y en el Bajante de 0.1 m/s. Considerando una velocidad de crecimiento de 0.15 h⁻¹ para los lodos activados, y estableciendo el criterio de que el tiempo de mezcla sea 1000 menor al tiempo característico de la reacción, 24 s es el valor de referencia. La medición experimental arrojó un valor de 18 s, lo que es satisfactorio.

Considerando un consumo de 450 mg DQO/L en 3 h de tratamiento, la velocidad de consumo de oxígeno será de 150 mg DQO/L-h. Con una saturación de oxígeno de 5 mg/L en la Ciudad de México, se requiere un coeficiente de transferencia de oxígeno de 30 h⁻¹. La tabla 2 muestra los valores experimentales medidos.

TABLA 2
Valores experimentales del coeficiente de transferencia de oxígeno en distintas zonas del reactor

Riser (fondo)	Riser (medio)	Riser (superior)	Succión	Down comer
39	34.5	31.3	24.5	25

Fuente: elaboración propia.

La caracterización del biorreactor es satisfactoria.

Conclusión

Se perfila un proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas *in situ* de bajo costo y de operación sencilla, como una alternativa para ampliar la capacidad de tratamiento de aguas en zonas urbanas.

Referencias

- Anoxkaldnes (2006). Patente europea: EP 0 575 314 B2.
- Banco Mundial (2000). "México. Una Agenda Integral de Desarrollo en la Nueva Era".
- Farell Baril C., Turpin Marion, S. y Suppen Reynaga, N. (2013). Huella de agua de uso público-urbano en México. Revista Internacional de Geografía y Estadística.
- González-Brambila; Monroy, López-Isunza F. (2006). "Experimental and theoretical study of membrane-aerated biofilm reactor behaviour under different modes of oxygen supply for the treatment of synthetic wastewater". *Chem. Eng. Sci.* 61 5268-5281.
- Heijnen, J. J.; Hols, J.; van der Lans, R. G. J. M.; van Leeuwen, H. L. J. M.; Mulder, A y Weltevreden, R. (1997). "A simple hydrodynamic model for the liquid circulation velocity in a full-scale two- and three-phase internal air-lift reactor operating in the gas recirculation".
- Hernández, J. (2009). "Tratamiento Biológico de Alta Tasa de Aguas Residuales Domésticas". Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.
- Hernandez, J.; Mujica, R.; Velasco, H. (2010). IMPI Patente 343218. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Jiménez, R. (2018). "Arranque y caracterización de un reactor piloto de ascenso de aire con válvula venturi para el tratamiento de aguas residuales domésticas". Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.
- Orozco, G. (2013). "Identificación de las condiciones de operación eficaz y eficiente de un RAAV para efluentes domésticos". Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.

Capítulo 3

Abastecimiento de agua potable y redes de distribución

Agua embotellada en México, derecho humano al agua e inseguridad hídrica: desafíos de la gobernanza del agua en ciudades mexicanas

Raúl Pacheco-Vega

Introducción

El agua es mucho más que el vital líquido del cual depende la supervivencia de los seres humanos, de los animales y las plantas. Es un recurso no renovable que se puede comportar tanto como un bien común (o en los términos de la Premio Nobel de Economía 2009, Elinor Ostrom, un *commons* o recurso de acceso común), o como una mercancía (*commodity*). La distribución inequitativa del recurso sobre la superficie del planeta y en sus cuerpos subterráneos garantiza que exista siempre la posibilidad de que se generen conflictos por las divergencias e inequidades en la asignación o accesibilidad del vital líquido (Castro, Kloster, & Torregrosa, 2004; Kloster, 2014, 2016, Pacheco-Vega, 2014b, 2014a, 2017b; Torregrosa Armentia, 2017). Estos conflictos se pueden hacer presentes tanto en contextos rurales como en ámbitos urbanos y en las periferias (Ruiz Ortega, 2017).

La problemática de agua en México es multifacética: no solamente existe un gran nivel de escasez del vital líquido en el país, sino que también hay una diversidad de usos consumtivos que compiten entre sí, dándosele la prioridad al agua para la agricultura (López Morales, 2017). Dada la competencia que existe entre diversos usos, aunado a la falta de información confiable sobre la disponibilidad real del recurso hídrico en el país, no es de sorprender que la toma de decisiones en materia de política hídrica en México se realice en muchas ocasiones a ciegas. Más aún, los datos que tenemos sobre consumo de agua en ciudades están limitados por las fuentes de donde provienen y la calidad de los reportes que ofrecen las diferentes instancias, los organismos operadores de agua municipales, las comisiones estatales de agua y el gobierno federal, la Comisión Nacional del Agua (Conagua).

Las propiedades inherentes del agua como recurso de uso común (*commons*) y como posible mercancía (*commodity*) han implicado que un enfoque de derechos humanos para garantizar el acceso irrestricto (aunque controlado y gobernado apropiadamente) ha sido difícil de imple-

mentar, a pesar del empuje internacional para que se haga patente el derecho de todos los seres humanos a acceder a agua en el mundo. Denegar el acceso al vital líquido se ha convertido en una herramienta política, no sólo en países como India (Anand, 2012; Ranganathan, 2014) y Bolivia (Mirosa, 2012; Mirosa & Harris, 2012), sino incluso también en México (Herrera, 2017). El agua se ha convertido no solamente en un recurso natural sino en un recurso político (Ostrom, 1990, 2005, Pacheco-Vega, 2014c, 2014d) y el establecimiento de restricciones para su utilización ha pasado a ser una de las herramientas más poderosas para el control social. Este enfoque materialista y de biocontrol contrasta con la visión de derechos humanos que propone la ONU en materia de derechos de tercera generación.

El 28 de julio del 2010, la Organización de las Naciones Unidas, a través de la Resolución 64-292, reconoció explícitamente que todos los seres humanos tienen derecho al agua y al saneamiento.¹ Si bien hace algún tiempo que se ha tratado de implementar esta visión de derechos humanos hacia el agua y el saneamiento, fue hasta el 2002 que el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (que ahora incluyen los ambientales, DESCA) adoptaron la Observación General No. 15 sobre el derecho al agua.² A estos derechos se les denomina de segunda generación porque se consideran prácticamente de equidad entre los seres humanos, mientras que los de generaciones anteriores se consideran “fundamentales”.³

En México, la norma internacional del derecho humano al agua y al saneamiento ha permeado hasta la declaración constitucional del 28 de Abril del 2012, donde se insertó en el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establece que:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.⁴

Para complicar el análisis aún más, México tiene el dudoso honor de ser el primer país a nivel mundial en consumo de agua embotellada con un promedio entre 174 y 254 litros por persona por año en formato de botella de consumo único (Pacheco-Vega, 2017a). El mercado mundial de agua embotellada es un negocio redondo, que se estimará llegará a aproximadamente \$217,120 millones de dólares para el año 2026.⁵ Cuatro empresas han mantenido el mercado de agua embotellada global cautivo: Coca-Cola, Danone, Nestlé y PepsiCo, si bien en México tres de éstos jugadores son quienes mantienen el dominio (Montero-Contreras, 2015). Aunque existe una gran

¹ Ver: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

² Ver: <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>

³ Es curioso ver al derecho humano al agua dentro esta clasificación cuando una de las actividades más fundamentales del ser humano es precisamente tomar agua, un compuesto fundamental para la vida. Debería ser un derecho primario.

⁴ Ver: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/4.pdf>

⁵ Ver: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/02/12/1720577/0/en/Bottled-Water-Market-Size-Worth-217-12-billion-by-2026-Acumen-Research-and-Consulting.html>

diversidad de factores que han favorecido el crecimiento exponencial en el consumo de botellas de agua en México y el mundo, diferentes autores enfatizan distintos aspectos del problema, desde el pobre estado de la infraestructura hasta el desarrollo de un “paladar educado” para el agua embotellada “gourmet”.

En este capítulo ofrezco una innovadora problematización sobre el reto del derecho humano al agua, misma que se encuentra en la intersección de la existencia de una industria del agua embotellada que sigue ganando adeptos y la importancia que tiene el garantizar el derecho humano al agua en nuestro país. Para ello hago uso del concepto de inseguridad hídrica, y lo utilizo para examinar una posible razón adicional por la cual la población mexicana consume agua embotellada. En mi análisis presento un argumento soportado con evidencia empírica sobre la percepción de inseguridad hídrica en contextos urbanos. Al mismo tiempo integro la discusión sobre agua embotellada, inseguridad hídrica y el derecho humano al agua, y la aplico en la escala de afectación más directa que existe: las ciudades. Para complementar mi análisis hago una evaluación conceptual de lo apropiado y ético (o no) que pudiera ser el consumo y la producción del agua embotellada. Es de hacer notar que en este capítulo no hago énfasis en las bebidas gaseosas ni en los jugos enlatados, ni tampoco en las cervezas, ya que sus aspectos políticos y de política pública son bastante distintos a los del agua embotellada.

El capítulo se encuentra estructurado de la siguiente forma: en la segunda sección presento el marco conceptual de la inseguridad hídrica y específicamente hago referencia al trabajo de Wutich, Jepson y Young sobre inseguridad hídrica al nivel de hogar (Jepson *et al.*, 2017). En la tercera sección examino los aspectos éticos del consumo de agua embotellada en un contexto en el cual se asume que el derecho al agua debe ser universal. En la cuarta sección describo los retos de la inseguridad hídrica urbana, en particular del diseño de estrategias para mejorar el acceso al recurso en contextos urbanos y periurbanos. En la quinta sección analizo cómo la percepción de inseguridad hídrica urbana es un factor decisivo en el incremento en el consumo de agua embotellada, si bien también hay otros elementos a considerar que requieren investigación más profunda a futuro. Concluyo en la sexta sección con una discusión sobre la complejidad de la resolución del problema intratable (*wicked problem*) de la gobernanza urbana en México y las posibles soluciones para atacar de frente el problema de la inseguridad hídrica en ciudades del país.

El concepto de inseguridad hídrica

La noción de seguridad hídrica había estado permeando en el discurso académico y gubernamental sobre la gobernanza del agua (Cook & Bakker, 2012; Garrick & Hall, 2014). La definición que la Organización de las Naciones Unidas establece como consenso es:⁶

The capacity of a population to safeguard sustainable access to adequate quantities of and acceptable quality water for sustaining livelihoods, human well-being, and socio-economic

⁶ Ver: <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:2651/Water-Security-and-the-Global-Water-Agenda.pdf>

development, for ensuring protection against water-borne pollution and water-related disasters, and for preserving ecosystems in a climate of peace and political stability.

Esta definición de seguridad hídrica establece la capacidad de una población de garantizar y cuidar del acceso sustentable a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para sostener el bienestar humano, el desarrollo socioeconómico, proteger contra la contaminación y preservar ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política. Dicha definición, desafortunadamente, centra la discusión en una población cuyos límites y composición son vagos. Por lo mismo, en este capítulo argumento que una mejor forma de analizar la problemática del agua urbana es utilizar el paradigma de inseguridad hídrica.

La historia intelectual del término tiene distintas etapas, pero es posible rastreiarla a esfuerzos por parte de Amber Wutich (Arizona State University) y Sera Young (Northwestern University) de integrar las discusiones sobre acceso al agua e inseguridad alimentaria para comprender mejor cómo el denegar el vital líquido afecta la nutrición y el bienestar de los seres humanos, desde una perspectiva biocultural. En gran parte, el cambio de escala analítica, de la población al hogar, ha permitido comprender mejor cómo cada hogar desarrolla estrategias ante la inseguridad del acceso al vital líquido. También de manera importante, el enfoque de inseguridad hídrica se ha popularizado, dando lugar a una red global de investigadores liderados por Wutich, Young y Wendy Jepson (Texas A&M University), enfocándose en el desarrollo de una métrica culturalmente válida e interdisciplinaria de inseguridad hídrica (Jepson *et al.*, 2017; Young, Wutich, Boateng, Jepson, & Collins, 2017).

Un elemento clave de la definición de inseguridad hídrica es el componente emocional y de percepción (Stevenson *et al.*, 2012). Aún si el agua es aparentemente de buena calidad, la percepción de que pudiera estar contaminada implica que haya quienes consideren que no tiene la calidad que precisan para su consumo. Detectar la percepción de inseguridad hídrica es importante (y así mismo lo es el desarrollar una escala homologada) porque de dicha percepción dependen los mecanismos de toma de decisiones de los individuos. Ciertamente, hay casos en los cuales la inseguridad hídrica está asociada más con la ausencia del vital líquido en contextos de alta marginalización. Pero aún en zonas donde el nivel de pobreza es menor, es posible que haya percepción de inseguridad hídrica.

En mi opinión y desde la perspectiva de la investigación acumulada que llevo realizando desde hace más de 15 años, los retos inmediatos de la gobernanza del agua se pueden resumir en cinco apartados mayores:

- 1) El crecimiento acelerado en el consumo de agua embotellada.
- 2) La falta de acceso a infraestructura de saneamiento.
- 3) El empuje de las instituciones internacionales a mecanismos privatizadores.
- 4) El incremento en el número y la intensidad de los conflictos por el agua.
- 5) El advenimiento de eventos climáticos abruptos y alto potencial para desastres naturales.

En todos estos casos, la inseguridad hídrica puede ser tomada como variable dependiente o independiente. Esto quiere decir que el incremento en la ingestión de bebidas empaquetadas puede verse como detonador de una percepción generalizada de inseguridad hídrica, o por otro lado, como resultado de la misma. De igual manera se puede considerar que la inseguridad sanitaria en cuanto a presencia o ausencia de retretes puede ser un factor o resultado. Y no hay duda que los conflictos pueden resultar de posiciones divergentes en cuanto al grado de inseguridad hídrica que padecen diferentes actores y comunidades.

En México, el mayor énfasis del estudio de la gobernanza de agua urbana en México se ha dado en el tema de la privatización del servicio público (Pineda-Pablos, Salazar Adams, Moreno-Vazquez, & Navarro-Navarro, 2017), en particular analizando el caso de Aguascalientes (Caldera Ortega, 2006), y a la configuración tanto financiera como política de la operación de los organismos operadores de agua (Lutz Ley & Salazar Adams, 2011; Nicolás Pineda Pablos, 2008; Salazar Adams, 2012). Hay también mucho trabajo publicado en materia de participación social en la gobernanza del agua en México, del saneamiento y del agua residual (Guzman Puente, 2017; Guzmán Puente, 2013), los determinantes de conflictividad en la gobernanza de los recursos hídricos urbanos (Becerra Pérez, Sáinz Santamaría, & Muñoz Piña, 2006; Tetreault & McCulligh, 2012), evaluaciones de la implementación del derecho humano al agua en el país, y algunos análisis empíricos recientes del problema del agua embotellada en México (Estrada-Vivas, 2016; Ortega-Castañeda, 2016; Pacheco-Vega, 2019). A pesar de ser el mecanismo más utilizado para el suministro de agua potable para consumo humano en México, el fenómeno sociopolítico del agua embotellada en México sigue siendo muy poco estudiado, con excepción de trabajos de Raúl Pacheco-Vega del CIDE y Delia Montero Contreras de la UAM.

Inseguridad hídrica urbana y sus peculiaridades

En México, la responsabilidad de la provisión de agua potable de buena calidad, servicios de alcantarillado y drenaje, y plantas de tratamiento de aguas residuales, es directamente asignada por mandato constitucional. Sin embargo, como he demostrado en otros trabajos, la arquitectura institucional de la política hidráulica mexicana es extraordinariamente compleja, presentando un sinnúmero de traslapes jurisdiccionales, duplicación de funciones u obstrucción entre diferentes niveles de gobierno (Pacheco-Vega, 2018). Este problema de diseño del arreglo institucional y un estilo de política ambiental nacional jerárquico (de arriba hacia abajo) poco federalizado fiscalmente han hecho cada vez mayor el tremendo abismo que ha existido tradicionalmente entre política hidráulica y política ambiental en el país (Pacheco-Vega, 2007). Los organismos operadores de agua mexicanos han sido debilitados prácticamente por mandato gubernamental. Cuando se establecieron las responsabilidades para las agencias locales de agua en el país, no se les habilitó con la capacidad de recolectar más allá de lo que les suministra el presupuesto del gobierno municipal, cuando el costo de mantenimiento de la infraestructura es alto y la necesidad de cuidarlo también.

Dada la estructura fiscal y la arquitectura institucional de la política hidráulica mexicana, donde quien es responsable de la provisión de agua potable, alcantarillado y saneamiento es el municipio, por el artículo 115 constitucional en su fracción B en su modificación de 1989 (Pacheco-Vega, 2015a; Pineda Pablos, 2002), pero al mismo tiempo es el nivel de gobierno con el menor acceso a recursos fiscales y a mecanismos de captación de ingresos, es problemático tratar de utilizar un enfoque de derechos humanos, y particularmente de derecho humano al agua para establecer reglamentos, regulaciones, leyes y normas que permitan el acceso al vital líquido por parte de todos los ciudadanos en zonas urbanas, periurbanas y rurales. ¿Cómo podemos garantizar el derecho humano al agua en un contexto regulatorio en el que los organismos operadores de agua están debilitados de origen, tienen infraestructura que requiere de atención inmediata y frecuente, y los gobiernos municipales carecen de ingresos para poder sostener procesos de rehabilitación de redes de agua potable y alcantarillado y sistemas de saneamiento? En un país en el cual la impunidad prevalece, donde la corrupción es rampante, y donde el estado de derecho se encuentra en sus niveles más bajos en la historia, el reto de la implantación del derecho humano al agua resulta sumamente difícil y la respuesta en términos de soluciones de política pública no es muy clara y por lo mismo el objetivo, por loable que sea, se torna mucho muy difícil de alcanzar.

Sin embargo, es en las ciudades en donde encontraremos los problemas más complejos del suministro de agua (Sotelo Núñez, 2019). Los centros urbanos siguen creciendo a velocidades aceleradas, la población sigue migrando de los entornos rurales a las ciudades, y la presión sobre el recurso hídrico se torna cada vez más fuerte. ¿Qué pueden hacer los gobiernos locales para afrontar el reto de la implantación del derecho humano al agua en los niveles subnacionales en un contexto en donde la misma arquitectura institucional y la estructura fiscal son graves obstáculos para el mantenimiento y el fortalecimiento de los organismos operadores de agua? ¿Cuáles son las estrategias que deben implementar los gobiernos en México, en los tres niveles (municipal, estatal y federal), para poder contrarrestar los efectos negativos de la creciente inseguridad hídrica en los centros urbanos? Éstas son preguntas cuya respuesta requiere de una consideración cuidadosa y profunda de las realidades tanto fiscales como regulatorias en nuestro país.

La solución de los problemas de gobernanza urbana del agua en ciudades mexicanas requiere de un análisis integrado no solamente de la política hidráulica, sino de un contexto más amplio de política ambiental, cuestionando si el abismo entre ambos sectores (medio ambiente y agua) en México sigue existiendo. Así mismo, se requieren estrategias de coordinación robustas que permitan fortalecer a los organismos operadores de agua. Sin embargo, esta tarea no es fácil dados los intereses de agentes económicos privados (corporaciones multinacionales y mega-consorcios de empresas mexicanas) que tienen como meta la explotación del vital líquido para convertirlo en mercancía y venderlo a precios exorbitantes en comparación con el costo que tiene para ellos la extracción y el empaquetado.

Agua embotellada y derecho humano al agua: ¿dos caras de la misma moneda?

Garantizar el acceso al recurso hídrico es lo que realmente tiene importancia central tanto para activistas como para actores gubernamentales. Ese es tal vez el mayor reto de los gobiernos actuales: ¿cómo poder ofrecer a todos sus ciudadanos el derecho a acceder a suficiente agua potable de buena calidad, es decir, *aceptable, disponible físicamente en todo momento, y que sea asequible*⁷ (es decir, que se pueda pagar), con los recursos financieros disponibles para dichos gobiernos? La base fiscal para la implementación del derecho humano al agua no está establecida en ningún convenio marco ni puede derivarse de la Resolución de las Naciones Unidas. Generalmente son los gobiernos municipales los que se encargan de la entrega de servicios públicos; al menos así es el caso mexicano (Pacheco-Vega, 2018) y el de muchos países en América Latina (Pacheco-Vega, 2015b) cuyos balances financieros pueden o no ser robustos, y cuya capacidad de operar es por lo tanto bastante diversa.

En años recientes el discurso internacional sobre seguridad hídrica ha tomado el concepto de derecho humano al agua como estandarte, y al mismo tiempo estándar universal y objetivo integrador de política pública. El paradigma que ahora rige las políticas hídricas globales es el derecho universal al recurso hídrico. Ciertamente también es notorio que el derecho humano al saneamiento tiene una importancia preponderante, pero también es evidente que en la agenda global no es la prioridad, lo cual es muy extraño porque más de mil millones de seres humanos en el mundo carecen de la dignidad de acceso a un retrete (Coffey & Spears, 2017). Sin embargo, para los propósitos de este capítulo, me centro específicamente en el derecho humano al agua debido a que el acceso al vital líquido es lo que está en contienda cuando existe una gran diversidad de usuarios industriales y de provisión de servicios que compiten para la asignación de flujos, concesiones de extracción en pozos y distribución de licencias para la explotación. Ciertamente, el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales son problemas que requieren de atención de manera imperativa, pero cuando hablamos del agua embotellada, tenemos que centrar nuestro análisis en la distribución de agua potable y dejar alcantarillado y saneamiento momentáneamente de lado, sin olvidar que son también parte de la ecuación.

El texto del Artículo 4 Constitucional es muy claro en que el Estado debe garantizar este derecho, con la participación de los tres niveles de gobierno y de la ciudadanía. Sin embargo no existen realmente leyes secundarias, ni reglamentos, ni estrategias para implementar el derecho al agua en el país al día de hoy. ¿A quién le compete realizar qué componente de la estrategia nacional para la implementación del derecho humano al agua? ¿Quién de cada tipo de actor tiene qué responsabilidades y cuáles son los mecanismos que se utilizarán para garantizar el acceso de todos los ciudadanos en la heterogeneidad del territorio mexicano? Estas y otras preguntas similares generan escepticismo en cuanto a la posibilidad de que la implantación de la norma internacional sobre derecho humano al agua se haga realidad en el país.

⁷ Es importante hacer notar que la traducción que ofrezco aquí es exactamente la sugerida por las Naciones Unidas. Ver: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

Pero entonces existe una contraposición moral, ética y conceptual. ¿Cómo podemos garantizar el acceso universal al agua en una sociedad capitalista en la cual la extracción del vital líquido y su envasado la convierten en una mercancía? La respuesta exige un re-análisis de las dimensiones éticas del manejo del agua, en particular enfocándonos en dos preguntas. La primera es: ¿es ético envasar un recurso de uso común? Y la segunda, ¿es moralmente aceptable el consumo de agua embotellada?

En el caso de la producción de bebidas envasadas, un análisis de ética se confronta con la visión de mercado de las políticas públicas. En sentido estricto, el agua embotellada puede existir como mercancía porque proviene de una utilización considerada natural, como lo podrían ser la madera o los recursos pesqueros. Es decir, la existencia de “recursos de la Nación”, explotables para el consumo humano, es precisamente lo que da lugar a la existencia de recursos naturales que se aprovechan como materias primas y se transforman en productos intercambiables por dinero. Esta lógica de mercado justifica la existencia de las bebidas envasadas, ya que las industrias extraen el agua (invirtiendo capital humano y financiero) y le “agregan valor” al empaquetarlas, etiquetarlas, distribuirlas y venderlas. Las campañas mercadotécnicas y de posicionamiento también forman parte de la mezcla de mercados y por lo mismo se deben considerar dentro de los costos de producción de las bebidas envasadas.

La ética hídrica (*water ethics*) raramente es clara y blanco y negro, sino que existen matices. Sin embargo, una visión analítica de ética hídrica nos permite determinar si un uso consuntivo del recurso es necesario o derrochador (Groenfeldt, 2018). En su crítica del agua embotellada, específicamente de la marca FIJI Water, Zenner establece que es poco ético hablar de un agua embotellada “amigable al ambiente”, como promueve la empresa embotelladora (Zenner, 2018), ya que en realidad, FIJI Water es una marca que viaja miles de millas, independientemente de que genera desechos de plástico que tienen un alcance internacional (Pacheco-Vega, 2016). Resulta poco (o nada) ético promover a FIJI Water como una marca “pura, prístina, ambientalmente amigable” en un contexto en el cual empresas multinacionales extraen agua de países en desarrollo y la envasan para venderlas a un sobreprecio en países del primer mundo. En particular, Zenner nos recuerda que el beneficio de algunas marcas de agua embotellada no le queda como residual a las comunidades de donde se extrae, sino que se queda con los inversionistas.

Cuando hablamos de la moralidad del consumo de agua embotellada, también nos confrontamos con la realidad: en muchas ocasiones, la infraestructura de las comunidades bajo análisis no tiene realmente la capacidad de ofrecer el acceso al vital líquido con la calidad o la frecuencia necesaria. Por este tipo de inseguridad hídrica que emergen los “piperos” y los pequeños embotelladores de agua. Así mismo, es importante recordar que hay ubicaciones físicas donde no es posible acceder a agua potable de buena calidad a menos que sea en garrafones o con pipas. Por lo mismo se puede considerar que es moralmente ético utilizar el agua embotellada. También en el caso de desastres naturales que tienen impacto en la infraestructura de suministro del organismo operador. Sin embargo, es importante que sea solamente una solución temporal y no definitiva (Pacheco-Vega, 2019).

Factores del crecimiento en el consumo de agua embotellada en México

En la literatura anglosajona, los factores a los que se atribuye la consolidación y el crecimiento del negocio de agua embotellada incluyen el surgimiento de materiales ligeros para el empaquetado de la misma (Hawkins, 2011), las extensas y exitosas campañas de mercadotecnia globales de las empresas multinacionales de embotellado de agua (Brei, 2017), el desarrollo de un paladar para el consumo de agua embotellada “gourmet” (Biro, 2017), el debilitamiento de la infraestructura de los organismos operadores de agua (Walter, Kooy, & Prabaharyaka, 2017), el miedo al agua de la llave (Doria, 2006; Geissler & Gamble, 2002; Prasetiawan, Nastiti, & Muntalif, 2017), y la captura regulatoria de los gobiernos por parte de las empresas embotelladoras (Pacheco-Vega, 2019). En su análisis de una encuesta no-probabilística en línea con aproximadamente 300 respuestas, Ortega-Castañeda muestra que el 46% de la muestra considera el agua de la llave de mala calidad, 65% no consumen agua de la llave, y de los que lo hacen, 40% la hierve y 31% la filtra (Ortega-Castañeda, 2016). Como puede verse de los resultados de Ortega-Castañeda, la percepción de inseguridad hídrica que genera la falla en infraestructura es fundamental en la toma de decisiones para el consumo de agua embotellada. En resumen, podemos establecer que en México las causales de crecimiento en consumo son, fundamentalmente:

- La mercadotecnia agresiva
- El pobre estado de la infraestructura
- La conveniencia de tener una botella desechable cerca siempre
- Las fallas regulatorias y la arquitectura institucional capturada

El agua embotellada llegó al consumidor mexicano en forma relativamente permanente alrededor de los años 1980s con el terremoto de la Ciudad de México en 1985, si bien ya anteriormente habían existido algunos intentos por fomentar el consumo del vital líquido envasado. Sin embargo, las condiciones de suministro y la utilización del tiempo en los hogares permitían hervir el agua para tomar. Uno de los factores que se ha omitido en la mayor parte de los análisis es precisamente el cambio de costumbres en los hogares mexicanos. Mientras que antes de la década de los 1980s era posible y viable para las amas de casa hervir el agua en caso de tener duda sobre la salubridad del recurso hídrico que llegaba a sus casas, a partir de los años 1990s, el agua embotellada entregada en garrafones de 20 litros se convirtió no solamente en una necesidad en la Ciudad de México, sino una nueva forma de vivir. Ya no era necesario hervir el agua porque se había adquirido la costumbre de tomar agua del garrafón.

Si bien algunos autores asignan mucho valor explicativo al crecimiento en el consumo de agua embotellada en México tanto a la epidemia de cólera de los años 1990s como al sismo de 1985 en la Ciudad de México, mi trabajo ha demostrado que hay otros factores concomitantes que pudieran incluso explicar mejor este incremento en la adquisición de bebidas empaquetadas. En gran parte ha sido resultado de estrategias mercadotécnicas muy efectivas que al mismo

tiempo que posicionan el producto en un mercado nacional, logran imbuir miedo al agua del grifo en la sociedad mexicana. El viejo refrán y la sugerencia que se hace a los visitantes extranjeros de “no tomar el agua de la llave si no se quiere enfrentar a la venganza de Moctezuma” es una fábula que se vuelve realidad diariamente, reificando la existencia de un organismo operador debilitado en su infraestructura e incapaz de ofrecer el servicio público de agua potable. Más aún, la debilidad regulatoria en la política hídrica mexicana y la ausencia del gobierno en la regulación de la industria embotelladora han sido factores determinantes (Pacheco-Vega, 2017a).

La débil infraestructura no es solamente patente en términos de tuberías y sistemas de tratamiento para el suministro a casas hogar sino también en los contextos urbanos de recreación. La mayor parte de las ciudades mexicanas carecen de bebederos y fuentes rellenadoras de botellas. Los edificios gubernamentales se abastecen de garrafones, y quienes mantienen hasta cierto punto un liderazgo en esta materia son las instituciones educativas. Por ejemplo, el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) en la Ciudad de México, y el Instituto de Estudios Superiores de Occidente (ITESO University) en la zona metropolitana de Guadalajara tienen sistemas de tratamiento y relleno de botellas sumamente sofisticados. Es importante notar que en el *campus* del ITESO hay estaciones rellenadoras de botellas aproximadamente cada 200 pasos.⁸ Dado que el *campus* de Rio Hondo del ITAM es muy pequeño, una sola fuente abastece la totalidad de éste.⁹ Es de hacer notar que, en ambas instituciones de educación superior, el relleno de botellas portables es sumamente popular.¹⁰

Soluciones de política pública en contextos complejos

Establecer directrices de política pública hídrica universales es un error garrafal. Los contextos en los cuales operan los distintos actores de la gobernanza del agua tienen efectos muy diferentes dependiendo de las características del problema hídrico, de los intereses económicos que se vean afectados por cambios de política, de las ideas que prevalecen, y de la arquitectura institucional que prevalece en el momento. La política hídrica mexicana ha estado en un estado de movimiento y cambio sumamente rápido, en mucho empujado por una sociedad civil vigorosa que ha estado impulsando cambios a la Ley de Aguas Nacionales, cuya última reforma fue la del 2004, en la que se estableció el principio de la gobernanza por cuencas hidrográficas. Sin embargo, los problemas de agua urbana no reconocen las mismas fronteras de las cuencas, y si bien muchas ciudades se encuentran dentro de una misma cuenca, en otros casos la transferencia de recursos hídricos entre cuencas y sub-cuencas es lo que abre la posibilidad para ciertos gobiernos subnacionales de poder ofrecer acceso al vital líquido.

Si bien en instituciones de educación superior como el ITAM, el ITESM, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el ITESO existe equipamiento para suministrar agua filtrada para

⁸ Fuente: diario de campo del autor, visita al campus del ITESO, Noviembre 2, 2018.

⁹ Fuente: diario de campo del autor, visita al campus del ITAM, Agosto 1, 2018.

¹⁰ En mi trabajo de campo, utilicé técnicas observacionales para determinar los patrones de relleno de botellas en ambas instituciones. De mis notas de campo se desprende esta aserción.

consumo humano y rellenado de botellas, es notable que en los principales jardines, plazas y parques recreativos de las ciudades mexicanas no exista infraestructura para rellenado de botellas. Una notable y honrosa excepción es el Parque México en la colonia León Moderno de la ciudad guanajuatense de León, en el centro del país. En dicho parque hay al menos cuatro bebederos con sus respectivos rellenadores de botellas.¹¹ En la misma ciudad, en 2012 el gobierno del entonces alcalde Ricardo Sheffield Padilla instaló 16 bebederos en zonas de acceso público como la Calzada de los Héroes,¹² la Zona Peatonal, la Plaza Benedicto XVI, Plaza Expiatorio, Plaza Fundadores, Plaza de los Mártires del 2 de Enero, así como en las estaciones de transferencia del SIT San Jerónimo, San Juan Bosco y Delta. En particular, las fuentes de la Calzada de los Héroes no sólo son estéticamente atractivas sino muy funcionales.¹³

Desafortunadamente este tipo de acciones no se han replicado en otros municipios del país, excepto en Ciudad de México. Tres iniciativas son particularmente importantes. La primera fue la instalación de bebederos en estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano (Metro). Con 200 fuentes instaladas en 195 estaciones, y una inversión de 12 millones de pesos, los bebederos reportan un costo unitario de 30,000 pesos, con el objetivo establecido de poner 2 fuentes en el futuro, de acuerdo con el entonces director del Metro, Jorge Gaviño.¹⁴ Dado el costo tan bajo de los bebederos, resulta incomprendible que este tipo de esfuerzos no se expandan a través de la ciudad, con la consecuente reducción de consumo de agua embotellada. Un reporte del Metro indica que al 5 de Junio del 2018 se habían instalado ya un total de 423 bebederos.¹⁵

La segunda acción relevante que la Ciudad de México implementó fue una iniciativa de reformas a la Ley de Establecimientos Mercantiles (LEM) aprobada en Diciembre del 2013 y adicionada por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal durante el gobierno del perredista Miguel Ángel Mancera, en la cual se estableció que los restaurantes se obligan a servir de manera gratuita a los clientes agua potable purificada y a instalar sistemas de purificación. El dictamen, que modifica el artículo 28 de la mencionada Ley indica que el incumplimiento puede generar multas para el dueño del establecimiento en el rango de 25 a 125 días de salario mínimo. Coincidientemente, el mismo director del Metro que implementó el programa de bebederos fue diputado de Nueva Alianza, y fue quien propuso esta iniciativa de reforma a la LEM. Los *policy entrepreneurs* o emprendedores de política son actores clave para la implementación de políticas públicas (Arnold, Nguyen Long, & Gottlieb, 2016; Bourblanc, 2014) y Jorge Gaviño ha sido un emprendedor de política para iniciativas que reducen el consumo de agua embotellada en la Ciudad de México.

Una tercera iniciativa fue el programa Agua Potable en Escuelas de Álvaro Obregón. Este programa arrancó también alrededor de Diciembre del 2013 con la intención de llevar agua potable a 290 de las 304 escuelas públicas de la Delegación Álvaro Obregón, con una inversión conjunta

¹¹ Fuente: diario de campo del autor. Visita al Parque México, 7 de Diciembre del 2018.

¹² Fuente: Ver https://www.facebook.com/pg/SheffieldGto/photos/?tab=album&album_id=357967374287134&_tn_=H-R

¹³ Visita de campo a la Calzada de los Héroes, León, Guanajuato, 7 de Diciembre del 2018.

¹⁴ Fuente: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/04/26/1159928>

¹⁵ Ver: <https://www.metro.cdmx.gob.mx/ comunicacion/nota/el-stc-celebra-el-dia-mundial-del-medio-ambiente>

por parte de la Secretaría de Educación Pública, el gobierno del entonces DF, y la autoridad delegacional de 15 millones de pesos, acompañados por la Secretaría de Salud.¹⁶

Conclusiones: resolviendo el reto de la inseguridad hídrica urbana en ciudades mexicanas

El agua en México es un recurso vital y escaso. Considerando el creciente reto que presenta el cambio climático, en especial los eventos episódicos abruptos, es fundamental crear no solamente conciencia colectiva sobre la escasez del vital líquido, sino también la necesidad de diseñar innovadoras soluciones para el problema de la gobernanza del agua en centros urbanos que crecen día con día. Estas soluciones tendrán que ser integrales y tomar en cuenta a todos los actores que participan en la gobernanza del vital líquido. Sin embargo, es importante también no dejar de lado a los grupos tradicionalmente marginalizados. Como ha indicado Daniel Murillo Licea, los grupos indígenas han sido tradicionalmente excluidos de la gobernanza del agua en México, y por lo mismo, sus derechos siguen siendo vulnerados (Murillo-Licea, 2006). Es lamentable que se considere que los grupos indígenas solamente viven en contextos rurales, cuando es claro que también existen en contextos urbanos (Vázquez García, 2008).

La implementación del derecho humano al agua no solamente a nivel nacional sino a escalas subnacionales se contrapone directamente con la existencia del agua embotellada. Las empresas embotelladoras pelearán activamente por mantener el control de los pozos de los cuales extraen el vital líquido para su envasado, su distribución y su venta. Por lo mismo, es fundamental que quienes se encargan de la política hídrica tengan tanto la visión holística como la voluntad política para regular a la industria del agua embotellada. Sin embargo, como indica Estrada-Vivas, no es posible analizar el agua embotellada como un problema público y de política pública tratando de “encontrar al malo de la historia” (Estrada-Vivas, 2016). La situación tan compleja de la gobernanza del agua en México, y específicamente de la garantía del agua como derecho humano en contextos urbanos, requiere de una visión que sea holística y multifacética.

La regulación de una industria que se beneficia de la extracción de un recurso no renovable, escaso en el país y altamente impugnado, que en sí mismo genera conflictos por su escasez y la desigual distribución, es fundamental. El país no puede seguir capturado por la industria del agua embotellada si se desea realmente llegar a cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sustentable e implantar la norma internacional del derecho humano al agua en México, tanto en las zonas urbanas como rurales y periurbanas.

¹⁶ Ver: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2013/impreso/llevaran-agua-potable-a-ninios-120540.html>

Referencias

- Anand, N. (2012). MUNICIPAL disconnect: On abject water and its urban infrastructures. *Ethnography*, 13 (4), 487-509. <https://doi.org/10.1177/1466138111435743>
- Arnold, G., Nguyen Long, L. A., & Gottlieb, M. (2016). Social Networks and Policy Entrepreneurship: How Relationships Shape Municipal Decision Making about High-Volume Hydraulic Fracturing. *Policy Studies Journal*, 00 (00), 1-27. <https://doi.org/10.1111/psj.12175>
- Becerra Pérez, M., Sáinz Santamaría, J., & Muñoz Piña, C. (2006). Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y Política Pública*, xv (1), 111-143.
- Biro, A. (2017). Reading a water menu : Bottled water and the cultivation of taste. *Journal of Consumer Culture*, 1-21. <https://doi.org/10.1177/1469540517717779>
- Bourblanc, M. (2014). Framing Environmental Problems: Problem Entrepreneurs and the Issue of Water Pollution from Agriculture in Brittany, 1970-2005. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 16 (1), 21-35. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2013.817944>
- Brei, V. A. (2017). How is a bottled water market created? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5 (February), 1-16. <https://doi.org/10.1002/wat2.1220>
- Caldera Ortega, A. R. (2006). Agua, participación privada y gobernabilidad en Aguascalientes (1989-2001). In *La Gestión del Agua en México: Retos, Debates y Bienestar* (pp. 197-216).
- Castro, J. E., Kloster, K., & Torregrosa, M. L. (2004). Ciudadanía y gobernabilidad en México: El caso de la conflictividad y la participación social en torno a la gestión del agua. In L. Aboites Aguilar, B. Jimenez Cisneros, & M. L. Torregrosa Armentia (Eds.), *El Agua en México* (pp. 339-369). México, D. F.: Academia Mexicana de Ciencias.
- Coffey, D., & Spears, D. (2017). *Where India Goes. Abandoned Toilets, Stunted Development, and the Costs of Caste*. London, UK: Harper Collins Publisher.
- Cook, C., & Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- Doria, M. F. (2006). Bottled water versus tap water : understanding consumers ' preferences. *Journal of Water and Health*, 4 (2), 271-276. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.008>
- Estrada-Vivas, L. Y. (2016). Los rostros del agua embotellada en México: ¿Porqué somo los mayores bebedores de este problema?, 56. Retrieved from <http://repositorio-digital.cide.edu/bitstream/handle/11651/584/150934.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garrick, D. E., & Hall, J. W. (2014). Water Security and Society: Risks, Metrics, and Pathways. *Annual Review of Environment and Resources*, 39 (1), 611-639. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-013012-093817>
- Geissler, G. L., & Gamble, J. E. (2002). Straight from the Tap? *Journal of Food Products Marketing*, 8 (2), 19-32. <https://doi.org/10.1300/J038v08n02>
- Groenfeldt, D. (2018). Introduction to water ethics. In *Water Ethics* (pp. 1-20).
- Guzman Puente, M. A. de los A. (2017). El agua residual y saneamiento: mirada global regional y mirada local. Propuesta de participación y responsabilidad compartida. In R. Pacheco-Vega, C. Denzin, & F. Taboada (Eds.), *El agua en México: Actores, sectores y paradigmas para*

- una transformación social-ecológica (pp. 79–100). Ciudad de México, México: Friedrich Ebert Stiftung.
- Guzmán Puente, M. A. de los A. (2013). La gestión participativa del agua en México (2002-2012): El caso de San Agustín Amatlipac (Morelos). *Agua y Territorio*, 2 (0), 93 106.
- Hawkins, G. (2011). Packaging water: plastic bottles as market and public devices. *Economy and Society*, 40 (4), 534-552. <https://doi.org/10.1080/03085147.2011.602295>
- Herrera, V. (2017). From Participatory Promises to Partisan Capture: Local Democratic Transitions and Mexican Water Politics. *Comparative Politics*, 49 (4), 479-499.
- Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E., O'Reilly, K., ... Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *Water Security*, 1, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.07.001>
- Kloster, K. (2014). La construcción de ciudadanía y los conflictos por el agua. In F. de Alba & M. de L. Amaya (Eds.), *Estado y ciudadanías del agua: Cómo significar las nuevas relaciones* (pp. 65-106). Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana Campus Cuajimalpa.
- Kloster, K. (2016). *Las luchas por el agua en México (1990-2010)*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- López Morales, C. A. (2017). El estado del agua en México: retos, oportunidades y perspectivas. In R. Pacheco-Vega, C. Denzin, & F. Taboada (Eds.), *El Agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (pp. 13-42). Friedrich Ebert Stiftung.
- Lutz Ley, A., & Salazar Adams, A. (2011). Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 26 (78), 563-599.
- Mirosa, O. (2012). *The Global Water Regime: Water's Transformation from Right to Commodity in South Africa and Bolivia*. University of Wisconsin-Madison.
- Mirosa, O., & Harris, L. M. (2012). Human Right to Water: Contemporary Challenges and Contours of a Global Debate. *Antipode*, 44 (3), 932-949. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2011.00929.x>
- Montero-Contreras, D. P. (2015). *Transnacionales, gobierno corporativo y agua embotellada: El negocio del siglo XXI*. Ciudad de México, México: Ediciones del Lirio.
- Murillo-Licea, D. (2006). De frailes agustinos, cosmovisión indígena, haciendas y cambios en la concepción del agua en Guanajuato, México (Siglo XVI). *Boletín Del Archivo Histórico Del Agua*, 34, 7'15.
- Ortega-Castañeda, A. de J. (2016). *Los factores determinantes del aumento del consumo de agua embotellada en México. Análisis desde el enfoque de políticas públicas*. Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Retrieved from <http://repositorio-digital.cide.edu/bitstream/handle/11651/1440/153342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton, New Jersey and Oxford, UK: Princeton University Press.

- Pacheco-Vega, R. (2007). Construyendo puentes entre la política ambiental y la política de tratamiento de aguas en la cuenca Lerma-Chapala. *Economía, Sociedad y Territorio*, VI (24), 995-1024.
- Pacheco-Vega, R. (2014a). Conflictos intratables por el agua en México: Aplicando el recorte analítico de Intratabilidad, Enmarcamiento y Reenmarcamiento (IER). In F. de Alba & M. de L. Amaya Ventura (Eds.), *Estado y ciudadanías del agua: Cómo significar las nuevas relaciones* (pp. 277-317). Ciudad de México: UAM-Cuajimalpa.
- Pacheco-Vega, R. (2014b). Conflictos intratables por el agua en México: el caso de la disputa por la presa El Zapotillo entre Guanajuato y Jalisco. *Argumentos. Estudios Críticos de La Sociedad*, 74 (27), 221-260.
- Pacheco-Vega, R. (2014c). Ostrom y la gobernanza del agua en México. *Revista Mexicana de Sociología*, 75 (6), 137-166.
- Pacheco-Vega, R. (2014d). The Impact of Elinor Ostrom's Scholarship on Commons Governance in Mexico. An Overview. *Policy Matters*, 1 (19), 23-33. <https://doi.org/10.4135/9781446219478.n3>
- Pacheco-Vega, R. (2015a). Gobernanza del agua residual en Aguascalientes: captura regulatoria y arreglos institucionales complejos. *Región y Sociedad*, xxvii (64), 313 350.
- Pacheco-Vega, R. (2015b). Urban Wastewater Governance in Latin America. In I. Aguilar-Barajas, J. Mahlknecht, J. Kaledin, & A. Earle (Eds.), *Water and Cities in Latin America: Challenges for Latin America* (pp. 102-108). London, UK: Earthscan/Taylor and Francis.
- Pacheco-Vega, R. (2016). The global politics of bottled water: Towards a research agenda. In *2016 Meeting of the International Studies Association (ISA)* (pp. 0-16). Atlanta, Georgia, USA: International Studies Association.
- Pacheco-Vega, R. (2017a). Agua Embotellada en Mexico: Realidades, Retos y Perspectivas. In R. Pacheco-Vega, C. Denzin, & F. Taboada (Eds.), *El Agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (pp. 195-214). Ciudad de México, México. Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- Pacheco-Vega, R. (2017b). El megaproyecto de la presa El Zapotillo como nodo centroidal de conflicto intratable. Un análisis desde la ecología política. *Espiral: Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 24 (69), 193. Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,url,uid&db=zh&AN=123297473&lang=es&site=ehost-live>
- Pacheco-Vega, R. (2018). Policy styles in Mexico: Still muddling through centralized bureaucracy, not yet through the democratic transition. In M. Howlett & J. Tosun (Eds.), *Policy Styles and Policy-Making: Exploring the Linkages* (pp. 89-112). Abingdon, Oxon and New York, NY: Routledge.
- Pacheco-Vega, R. (2019). Implementing the human right to water in the context of increasing bottled water consumption: Governing at the intersection of water justice, rights, and ethics. In F. Sultana & A. J. Loftus (Eds.), *Governance, Rights, and Justice in Water: New Ideas and Realities*. London, England: Routledge.
- Pineda-Pablos, N., Salazar Adams, A., Moreno-Vazquez, J. L., & Navarro-Navarro, L. A. (2017). La gestión urbana del agua: entre el oportunismo y el desarrollo adaptativo. In *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (pp. 171-192).

- Pineda Pablos, N. (2002). La política urbana de agua potable en México: del centralismo y los subsidios a la municipalización, la autosuficiencia y la privatización. *Región y Sociedad*, XIV (24), 41-69.
- Pineda Pablos, N. (2008). Nacidos para perder dinero y derrochar agua. El inadecuado marco institucional de los organismos operadores de agua. In D. Soares, S. Vargas, & M. R. Nuño (Eds.), *La Gestión de los Recursos Hídricos: Realidades y Perspectivas. Tomo 1* (pp. 121-150). Jiutepec, Morelos y Guadalajara, Jalisco: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad de Guadalajara.
- Prasetiawan, T., Nastiti, A., & Muntalif, B. S. (2017). 'Bad' piped water and other perceptual drivers of bottled water consumption in Indonesia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4 (4), e1219. <https://doi.org/10.1002/wat2.1219>
- Ranganathan, M. (2014). "Mafias" in the waterscape: Urban informality and everyday public authority in Bangalore. *Water Alternatives*, 7 (1), 89-105.
- Ruiz Ortega, R. (2017). Conflictos socioambientales en torno al agua en México. In R. Pacheco-Vega, C. Denzin, & F. Taboada (Eds.), *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (pp. 57-78). Friedrich Ebert Stiftung.
- Salazar Adams, A. (Ed.). (2012). *Fugas de agua y dinero. Factores políticos- institucionales que inciden en el desempeño de los organismos operadores de agua potable en México*. Hermosillo, Sonora, México: El Colegio de Sonora.
- Sotelo Núñez, E. I. (2019). Agua y periferia en el contexto metropolitano: entre la provisión pública y los mecanismos sociales de ajuste. In B. Graizbord & J. Arroyo (Eds.), *Agua. El Futuro Ineludible* (pp. 129-144). Ciudad de México y Guadalajara, México: Juan Pablos Editor.
- Stevenson, E. G. J., Greene, L. E., Maes, K. C., Ambelu, A., Tesfaye, Y. A., Rheingans, R., & Hadley, C. (2012). Water insecurity in 3 dimensions: An anthropological perspective on water and women's psychosocial distress in Ethiopia. *Social Science and Medicine*, 75 (2), 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.03.022>
- Tetreault, D., & McCulligh, C. (2012). Panorama de conflictos socioambientales en Jalisco. In D. Tetreault, H. Ochoa, & E. Hernández (Eds.), *Conflictos Socioambientales y Alternativas de la Sociedad Civil* (pp. 93-126). Guadalajara, Jalisco, México: ITESO Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Torregrosa Armentia, M. L. (Ed.). (2017). *El conflicto del agua. Política, gestión, resistencia y demanda social*. Ciudad de México, México: Flacso México.
- Vázquez García, V. (2008). Clase, etnia, género y agua. El sistema Cutzamala y el movimiento mazahua en defensa del agua. In D. Soares, S. Vargas, & M. R. Nuño (Eds.), *La Gestión de los Recursos Hídricos: Realidades y Perspectivas. Tomo 1* (pp. 283-309). Jiutepec, Morelos y Guadalajara, Jalisco: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua & Universidad de Guadalajara.
- Walter, C. T., Kooy, M., & Prabharyaka, I. (2017). The role of bottled drinking water in achieving SDG 6.1: An analysis of affordability and equity from Jakarta, Indonesia. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, washdev2017046. <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.046>

- Young, S. L., Wutich, A., Boateng, G. O., Jepson, W. E., & Colllins, S. M. (2017). Progress in household water insecurity metrics: a cross-disciplinary approach. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4 (3), e1214. <https://doi.org/10.1002/wat2.1214>
- Zenner, C. (2018). *Just Water: Theology, Ethics and Fresh Water Crises*. Maryknoll, New York, USA: Orbis Books. Retrieved from <https://www.shopjustwater.com/>

La relación entre el desarrollo inmobiliario y el desabasto de agua en la Ciudad de México. Un análisis de los instrumentos de factibilidad y compensación

María Guadalupe Díaz Santos

Introducción

La Ciudad de México se ha caracterizado por una aguda crisis hídrica, es decir, un desbalance hídrico donde hay mayor extracción de agua que recarga, ya que cuatro de los siete acuíferos de la región están sobreexplotados (BM, 2015), así como una distribución socioespacial desigual e inequitativa, dejando a 286 colonias con el acceso por tandem condonado (distribución del agua por días o por horas) (Gaceta Oficial, 1999-2018), y el 70% de la población en la Ciudad tiene agua menos de 12 horas al día (Watts, 2017). Esta situación se complejiza con los nuevos proyectos inmobiliarios por la gran cantidad de agua que necesitan para su construcción y para su operación, es decir, los desarrollos inmobiliarios representan una importante presión en la demanda de agua en la Ciudad de México.

Los cambios urbanos han sido drásticos: en el 2010 había 2,453,031 viviendas y para el 2015 se contabilizaron 2,601,323 (INEGI, 2015); “se construyeron 81 viviendas por día en promedio en los últimos cinco años” (Zamarrón, 2018). En relación a los proyectos no habitacionales, un estudio (Gasca-Zamora, 2017) señala que entre 1969 y 2016 se construyeron 221 megadesarrollos comerciales en la Zona Metropolitana del Valle del México, de los cuales la mitad (121) se levantaron de 2000 a 2016, lo que refleja el acelerado e incontrolado boom inmobiliario de los últimos 16 años.

Algunos de estos proyectos son Forum Buenavista (Cuauhtémoc) construido sobre una antigua estación de trenes; Parque Delta (Benito Juárez), en un antiguo parque de béisbol; Oasis (Coyoacán), en una antigua fábrica de cosméticos (Zamarrón, 2018). Se reconoce que existen 70 proyectos de alto impacto urbano bajo el modelo mixto que contempla en un mismo lugar oficinas, centros comerciales y vivienda (Aristegui noticias, 2018).

La política urbana e hídrica muestra tenues intentos de controlar, mitigar y compensar el impacto urbano de dichas construcciones mediante los dictámenes de factibilidad otorgados

por Sacmex así como con una serie de medidas recomendadas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (Seduvi), entre las cuales se encuentra, por ejemplo, que las construcciones condicionadas bajo estas medidas son para uso habitacional de más de 10 mil m², y para uso no habitacional con más de 5 mil m², pero el problema está en que si son menores aunque sea por un m², ya no están obligadas a cumplir con dichas medidas.

El presente documento tiene como objetivo indagar sobre la relación entre el boom de desarrollos inmobiliarios y la falta de agua en la Ciudad de México. En la primera parte se expone la relación que encontramos entre la falta de agua y los proyectos inmobiliarios; en seguida se analiza la manera en cómo ha operado Sacmex los dictámenes de factibilidad; en la tercera y cuarta secciones se presentan los instrumentos de las medidas de compensación y de los sistemas alternativos de captación para edificaciones nuevas de Seduvi; y finalmente se plantean algunas conclusiones sobre los retos y desafíos, así como algunas sugerencias para atender en la política pública urbana e hídrica de la Ciudad.

Metodología

Se siguió un análisis de tipo cualitativo mediante búsqueda de documentos legales y hemerográficos, tanto impresos como audiovisuales, con el fin de realizar un análisis crítico de instrumentos referidos al ordenamiento territorial de la Ciudad de México. Asimismo se realizaron entrevistas semiestructuradas a habitantes en colonias con tandeo condonado, con el fin de ahondar en la perspectiva social sobre el tema.

Para analizar los instrumentos, se revisó el contenido legal que los definía y que establecía sus términos y condiciones, y se comparó con la situación objetiva de los avances de cada instrumento; se trianguló con las encuestas realizadas a los habitantes.

Sin embargo, entre los límites de la metodología resalta un problema de acceso a la información, por ejemplo, se realizó una solicitud de información pública sobre los dictámenes de factibilidad, a lo cual no se accedió.

Discusión

La relación entre agua-proyectos inmobiliarios

La vulnerabilidad hídrica urbana aparece cuando la población no tiene agua, ya que responde al grado de exposición al riesgo por problemas con el agua en términos de suficiencia, calidad, asequibilidad. Todos los días leemos cifras como que alrededor del 70% de la población en la Ciudad de México tiene menos de 12 horas de agua disponible por día, y en períodos de escasez, la situación empeora considerablemente (Watts, 2017); o que el 18% de las viviendas no recibe agua todos los días, sino cada tercer día o esporádicamente, y que del 32% de las viviendas que

no cuenta con dotación diaria de agua recurre a pipas (Torres, 2017; INEGI, 2015). Las causas son varias: la gestión, el cambio climático, la expansión urbana desordenada, y dentro de ésta, está el *boom* inmobiliario.

Es común leer, e incluso experimentar, la relación entre la falta de agua y la construcción de proyectos inmobiliarios, es decir, la escasez del líquido vital se presenta también con la aparición de nuevas edificaciones. Por ejemplo, la Unidad Habitacional Demet San Antonio se quedó sin agua desde que empezó el desarrollo residencial Punto Cero para 403 departamentos de lujo, en la alcaldía Álvaro Obregón; de la misma manera, el Pueblo Santa Catarina en Azcapotzalco ahora sufre de tandeos desde que desarrolladores construyeron una Plaza Comercial y dos unidades habitacionales a unos cuantos metros; o en la colonia Tepepan donde los habitantes ya no tienen agua desde la construcción de la plaza comercial Terrazas Arenal en Tlalpan (González, 2017). Asimismo se encuentran los casos de Oasis o Cantil en Coyoacán o un Chedraui en Xochimilco.

La construcción de nuevos proyectos implica el aumento de una fuerte demanda de servicios, ya que muchos de los nuevos condominios incluyen en sus instalaciones albercas, por ejemplo, el desarrollo de City Tower Green, en avenida Popocatépetl 415, en la Alcaldía Benito Juárez, donde se cuenta con alberca: “[...] estos nuevos condominios, que son de lujo, están gastando mucha más agua de la que consumían otros desarrollos, lo que por supuesto está afectando el suministro de agua de las personas que ya vivían ahí antes” (Zamarrón, 2018, entrevista a Velázquez Zúñiga).

Esta tensión ha sido evidenciada por los vecinos que han notado los cambios drásticos en el servicio del agua a partir de nuevos proyectos inmobiliarios y quienes han percibido y experimentado directamente las afectaciones, generando así una constante oposición vecinal a las construcciones en la Ciudad de México (Velázquez, 2018). La Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, entre el 2011 y 2017 recibió 234 quejas referidas a cambios de uso de suelo, por inobservancia de los programas delegacionales y parciales de desarrollo urbano, por falta de armonización legislativa para evitar la discrecionalidad en el otorgamiento de permisos, licencias, manifestaciones de construcción y respecto a los criterios de redensificación de predios; dichas quejas abarcaban 700 colonias por 1,200 obras (CDFDF, 2018).

El abastecimiento o los tubos que antes había eran justo para la comunidad que vivía, si en las casas fincan edificios y rentan, si te pones a ver que antes era una familia por terreno y ahora viven seis familias o más, es mayor la cantidad que se requiere, yo siento que los tubos no alcanzan a abastecer porque la jalan en algunos lados, desde los nuevos edificios nos empezó a faltar el agua” (Díaz, 2018; entrevista a Habitante 1 - Adolfo Ruiz Cortines).

Uno de los movimientos más sobresalientes es el que mantiene la Asamblea General de los Pueblos, Barrios, Colonias y Pedregales de Coyoacán frente al proyecto Cantil (Fotografía 1) donde se pretende construir 377 departamentos con 683 cajones de estacionamiento. La Asamblea ha denunciado que para su construcción afectaron el acuífero, acusando a la inmobiliaria de daño ecológico y violación al Derecho Humano al Agua, ya que señala que han derramado millones de litros del agua al drenaje.

FOTOGRAFÍA 1

Doña Trini, Página Facebook Asamblea General de los Pueblos, Barrios, Colonias y Pedregales de Coyoacán



Fuente: pendiente.

Asimismo, en las delegaciones Benito Juárez y Álvaro Obregón los vecinos están muy activos buscando clausurar estos nuevos proyectos del boom inmobiliario, por ejemplo en esta última delegación se construyeron 116 conjuntos habitacionales: "Nuestra agua bajaba de los pozos de las montañas y estas enormes constructoras que tienen acceso a un capital increíble y logran desviar el cauce pluvial y muchos vecinos comenzamos a sufrir de escasez de agua" (Silva, 2017); aunado a que esta masiva oferta de vivienda afecta no sólo los servicios de esta demarcación, sino que limita el acceso al agua a la población de Iztacalco.

Cabe señalar que el responsable de vigilar que no se desperdicie el agua en obras nuevas a cargo de empresas constructoras, es el Sacmex (LASH, 2017, Art. 42), sin embargo, resulta una contradicción que sea el principal organismo que permite el desarrollo de dichos proyectos, como se explica en el siguiente apartado.

La factibilidad opaca: dictámenes otorgados por el Sacmex

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) es el responsable de otorgar —o no— el Dictamen de Factibilidad, es decir, dar la opinión técnica, vinculante y obligatoria del Sacmex previamente a la obtención de la licencia de construcción, que permita otorgar el servicio de agua potable y drenaje a los nuevos desarrollos inmobiliarios (LASH, 2017). El Dictamen de Factibilidad del Sacmex es el primer instrumento que analizaremos en la relación agua-proyectos inmobiliarios.

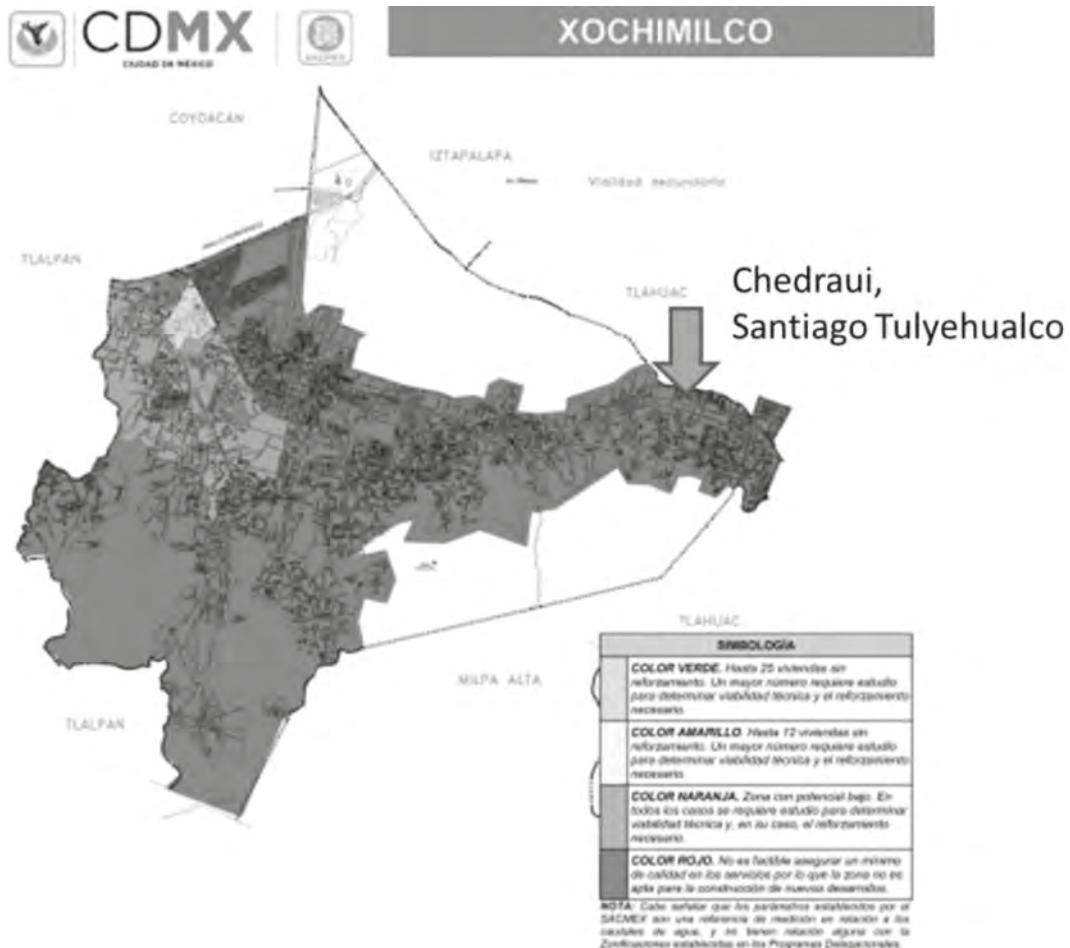
El ex director del Sacmex declaró que se estaba estudiando la medida de negar construcciones en zonas de escasez de agua como parte de un plan para solucionar el desabasto creciente en la capital, es decir, “frenar” permisos de construcción “[...] negar ya la cuestión de desarrollos donde el servicio no sea regular” (Excélsior, 2017) “Si el servicio es deficiente y no permite la construcción de un edificio más, pues ni modo, vamos a tener que negarlo” (Obras, 2017).

La Coparmex Ciudad de México calificó como tardía la medida que analizó el Sistema de Aguas capitalino y que negaría permisos de construcción en zonas con problemas de abasto de agua. El presidente de la Comisión de Desarrollo Urbano de la Confederación Patronal de la República Mexicana Ciudad de México, Ignacio Cabrera, señaló que desde hace muchos años se debió haber contado un plan hidráulico que indicara límites al desarrollo urbano (Obras, 2017).

Sin embargo, el Sacmex ha otorgado en los últimos cuatro años 4,872 dictámenes hídricos positivos de factibilidad para construcción, lo que representa 98%, mientras que los negativos fueron apenas 121 (El Heraldo, 2018), es decir, 9 de cada 10 desarrollos obtienen el aval de factibilidad hídrica, y de éstos 4,586 se dieron a construcciones de vivienda y 286 para megadesarrollos de vivienda o comerciales (Velázquez, 2016). ¿Por qué si hay una crisis hídrica este rango de dictámenes es tan grande?, porque el Sistema los otorga a partir de su revisión de la infraestructura, sin contar con información o estudios suficientes, es decir, sin evaluar la verdadera disponibilidad hídrica y cómo la nueva construcción afectará al resto de los vecinos, atentando contra el derecho humano de la población.

En otras palabras, los dictámenes de factibilidad se basan en las características de la red hidráulica, no de la presión hídrica; esta última se refiere a la presión del sistema social sobre la base ecológica de la región, que es el cociente entre la extracción y la disponibilidad natural de agua, que para nuestro caso es de 148% (Garavito, 2012), es decir, se extrae 148 veces más agua de la que se recarga. Se pueden revisar los mapas de factibilidad hídrica del Sacmex donde por colores señalan las zonas donde se prohíben construcciones, pero que a la vez en esas mismas colonias otorgan dictámenes positivos. Incluso, en las colonias que fueron catalogadas por Sacmex como “no factibles” para suministrar agua a nuevos proyectos, en el mismo lugar la institución ha aprobado dictámenes, como el caso de la construcción de una tienda Chedarui en Santiago Tulyehuelco en Xochimilco.

MAPA 1
Factibilidad hídrica de Xochimilco



Fuente: Sacmex, 2017.

Aunado a que los dictámenes no se basan en la disponibilidad hídrica e incluso se contradicen cuando son positivos pero los mapas de factibilidad están en rojo, otro problema es que son clasificados como información reservada por el Sacmex y por el Instituto de Transparencia y Acceso a la Información Pública de la Ciudad de México, argumentando que de transparentar su información causaría daños a la infraestructura; así, la información, en lugar de evitar conflictos para el gobierno, compromete la seguridad del resto de la ciudadanía (INFODF, 2015).

Medidas de compensación por el impacto urbano

Los dictámenes de factibilidad contienen medidas de mitigación, compensación e integración urbana, como condiciones para la construcción del proyecto, expresadas en obras de reforzamiento. Las medidas de compensación son acciones que el promovente o desarrollador deberá ejecutar para resarcir el deterioro ocasionado por la obra o actividad proyectada, en un elemento natural distinto al afectado, cuando no se pueda restablecer la situación anterior en el elemento dañado; las medidas de mitigación son acciones, instalaciones o equipos que el promovente debe implantar para atenuar los impactos negativos que las obras o actividades en la Ciudad de México puedan causar a los ecosistemas o sus componentes (GOCDMX, 2018).

Es decir, se parte de que las construcciones tendrán impactos urbanos, por lo que se les condiciona la construcción con medidas para el mejoramiento del entorno: “[...] cada uno de los m² que se construyen debe tener una corresponsabilidad de la construcción, de redes de infraestructura, en los equipamientos, en la generación de satisfactores urbanos, como el mejoramiento de parques, calles, banquetas, etcétera” (Felipe de Jesús Gutiérrez en entrevista para Notimex, 2017).

Los Dictámenes de Estudio de Impacto Urbano para los proyectos de construcción contienen a su vez un Estudio Técnico Financiero en donde se plantean las medidas de compensación. En este sentido, los desarrolladores tienen que contribuir al mejoramiento urbano como lo explicita el Código Fiscal en los artículos 300 (impacto ambiental con \$40.50 por m² de construcción), 301 (impacto vial con \$86 por m² de construcción habitacional, \$117 por otros usos), y el artículo 302, que explicita cubrir el pago por concepto de aprovechamientos a razón de \$295.00 por cada m² de construcción para que el Sistema de Aguas esté en posibilidad de prestar los servicios relacionados con la infraestructura hidráulica. En el artículo 70 de la LASH se señala que las personas que incrementen su consumo de agua por nuevos desarrollos urbanos tendrán que pagar las contribuciones de mejoras según el Código Financiero del Distrito Federal (2014).

Asimismo, los desarrolladores se quejan del artículo 300 porque argumentan que pagan lo que establece la Ley, pero Tesorería no los manda para obras en la colonia, entonces los vecinos no los ven y agudiza los problemas: “Nos cobran muchísimo por las medidas de mitigación viales, ambientales y de agua. Son los famosos artículos 300 del Código Financiero local” (Empresario Jorge Gamboa de Bueno en Aristegui Noticias, 2018b)

Un Dictamen de Estudio de Impacto Urbano que está en internet se refiere a la Ampliación de la Línea 12 del Metro tramo Mixcoac-Observatorio en junio de 2015; la Dirección General de Obras Públicas “le pidió” cumplir con distintas medidas de integración urbanas y medidas de compensación en materia delegacional como espacios deportivos y materia de movilidad como letreros de desviación por la obra; o en materia de entorno urbano le pidieron reparar las banquetas. En particular, en materia de agua y drenaje, el Sacmex debió definirle las obras en específico para el reforzamiento del servicio en la zona (Seduvi, 2016), sin embargo, no hay algún indicio de que se haya cumplido.

Otro caso se vive en Coyoacán, donde las medidas al no ser claras, no son percibidas y vividas por los habitantes, por el contrario, son ajenas a las necesidades de la población de los lugares:

"Del análisis del expediente se acredita que el SACM omitió justificar y explicar de qué manera las obras de reforzamiento establecidas beneficiarían a la colonia Pueblo de Santa Úrsula Coapa en su conjunto; ni cómo dichas obras responderían a las demandas de las y los vecinos, consistentes en la realización de obras de reforzamiento integral" (Velázquez Zúñiga en entrevista para El Heraldo, 2018).

Con el fin de compensar las afectaciones al entorno urbano, la Seduvi determina medidas de integración urbana, condicionantes para la construcción de proyectos que buscan sobre todo el mejoramiento de movilidad y accesibilidad mediante proyectos en la vía pública: como restituir piezas para ciclovías, cambiar la carpeta de asfalto, plantar árboles. Dichas medidas deben estar contenidas en el Dictamen de Impacto Urbano.

En un comunicado público de Seduvi se determinan las medidas de integración urbana por construcción de la Torre Bancomer, entre ellas el desazolve del drenaje. Asimismo, el caso de Oasis Coyoacán que no cumplió con las medidas exigidas como la construcción de un paso inferior vehicular o la construcción de rampas para discapacitados (Seduvi, 2015).

Sin embargo, aunque dichas medidas de compensación y mitigación están en la Gaceta Oficial y en el Código Fiscal, el pago con dinero para obras de mitigación no garantiza que se minimice el impacto, ya que existe un amplio cuestionamiento sobre si entra o no el dinero, y en caso de que el dinero entre a la Tesorería del Gobierno de la Ciudad de México no se etiqueta para las obras señaladas, es decir, se envía a otros rubros, por lo que este instrumento no minimiza los impactos al balance hídrico-urbano en la Ciudad.

Sistema alternativo de lluvia para nuevas edificaciones

La Política hídrica de la Ciudad de México no ha avanzado lo suficiente para vincular el desarrollo urbano e inmobiliario con la gestión del agua. Una expresión de esto es lo que se expresa en la nueva Ley de Aguas y Sustentabilidad Hídrica en sus artículos 40c y 95 donde se establece que en las nuevas construcciones se deberán efectuar instalaciones como drenajes separados, uno para aguas residuales y otro para grises o pluviales, así como infraestructura hidráulica necesaria que les permita desalojar las aguas de lluvia para evitar las afectaciones que el agua pluvial pueda ocasionar al interior del inmueble.

Asimismo, se dicta utilizar agua residual tratada, cuando los terrenos ocupen más de 2,500 m², y deberán contar con la instalación de sistemas alternativos de uso de agua pluvial (arts. 135 y 136). En específico, en las edificaciones nuevas que se construyan en los predios localizados en las Zonas I y II de lomas o de transición en la Ciudad de México, será obligatorio contar con sistemas de cosecha y recarga de aguas pluviales al subsuelo que permitan su infiltración.

Decimos que el Sistema alternativo para agua pluvial es perverso porque los dueños de las edificaciones tienen que construir redes para agua de lluvia y aguas grises como parte del Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia en Todas las Nuevas Edificaciones, Instalaciones, Equipa-

mientos, Viviendas y Obras Públicas de la Ciudad de México, aunque los desarrolladores pueden demostrar que lo construyeron pero no funcionan, y aun así obtengan beneficios financieros, ya que la Ley establece que a las edificaciones existentes que modifiquen sus instalaciones hidráulicas obtendrán la certificación de edificación sustentable y tendrán derecho a reducciones fiscales que establezca el Código Fiscal del Distrito Federal.

Construir proyectos inmobiliarios con sistemas de captación de agua pluvial no ayuda a la recaudación de recursos económicos para el sector del agua, ya que, según el Código Financiero, obtendrán una reducción de hasta el 20% de los derechos por suministro de agua (art. 293).

Cabe señalar que los planos de la instalación del sistema deben ser presentados en el proyecto arquitectónico en el registro de la Manifestación de Construcción o Licencia de Construcción Especial, y dicho mecanismo tiene que ser aprobado por Sacmex, Seduvi y la Alcaldía. Los propietarios de los inmuebles serán responsables de los daños que se occasionen por el incumplimiento (LASH, 2016).

Este instrumento de los Sistemas alternativos es importante porque las responsabilidades están claras, pero Sacmex, aunque recientemente ha empezado a controlar, no tiene suficientes recursos humanos para monitorear toda la captación de agua en las nuevas construcciones; y las delegaciones se han involucrado en procesos de corrupción para afirmar que los desarrolladores sí construyeron dichos sistemas y están operando, por lo que no hay sanciones.

Conclusiones

Existe una relación poco eficiente entre tres instrumentos que dan cuenta del vínculo entre el agua y los desarrollos inmobiliarios; uno de éstos son los Dictámenes de Factibilidad que emite Sacmex, que como se señaló lo hace sin información de la disponibilidad hídrica, y que su importancia recae en que es el principal instrumento con el que se da luz verde a las construcciones. Los Dictámenes de Factibilidad son un instrumento clave para entender la relación entre proyectos inmobiliarios y falta de agua, ya que son otorgados con alta discrecionalidad y bajo un obscurantismo intraspasable.

El segundo instrumento, una vez aprobado el Dictamen, son las medidas de compensación que solicita la Seduvi, pero aunque éstas son condicionantes para la construcción, los desarrolladores no están obligados a realizarlas; y en caso de que se pague, no se sabe en dónde termina el dinero, aunado a que dichas medidas son ajenas a lo que la comunidad necesita.

El tercer instrumento analizado es el establecido en la Ley de Aguas y Sustentabilidad Hídrica, que se refiere a la construcción del Sistema alternativo para la captación de lluvia y separación de aguas grises, sin embargo, tampoco se le da seguimiento, y por el contrario, en lugar de generar recursos, el tan sólo construirlo (sin garantizar que funcione) les genera un descuento en los derechos a los desarrolladores.

Estos instrumentos no sólo son contradictorios sino contraproducentes, ya que conforman un elemento central para el boom inmobiliario que no obliga a los desarrolladores a cumplir con

las condiciones, y si las cumple, aunque no garantice su buen funcionamiento, los inversionistas resultan beneficiados porque les hacen descuentos.

Por otro lado, aunque las medidas ya se cumplieron óptimamente, tampoco beneficia a la población, ya que caería en la lógica de “el que contamina paga”, como “el que sobreexplota el acuífero realiza medidas”, pero eso no resuelve el problema, por el contrario, lo maquilla. Lo que se necesita es un ordenamiento territorial con un estricto control del desarrollo inmobiliario, teniendo como condición básica la disponibilidad del agua y los posibles impactos en la población, cosa que no se ha hecho.

Como propuesta para una política pública hídrica urbana, las recomendaciones responden a lo contrario, es decir: dictámenes realizados con participación ciudadana, lo que implica una apertura a la información; medidas de compensación únicamente aprobadas en zonas donde no haya riesgo de factibilidad hídrica y señaladas por la propia comunidad y con carácter de obligatoriedad, así como un presupuesto etiquetado y con manejo transparente; y sistemas de captación y separación de aguas pluviales sin que ello implique un descuento a los desarrolladores.

Aún existe una amplia descoordinación, que los inmobiliarios construyan infraestructura hídrica como medida de compensación no está vinculado con la Ley de Aguas y Sustentabilidad Hídrica donde los dueños de las edificaciones tienen que construir redes para agua de lluvia y aguas grises como parte del Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia en Todas las Nuevas Edificaciones, Instalaciones, Equipamientos, Viviendas y Obras Públicas de la Ciudad de México, es decir, no es “de compensación” sino “por ley u obligación”, por lo que es sugerente seguir lo estipulado en la Ley.

Sin embargo, entramos a otro problema, muchos de los requisitos de las características de las obras hidráulicas obligadas se remiten a un Reglamento inexistente, lo cual complejiza el seguimiento de la relación infraestructura hidráulica y desarrollo inmobiliario. Por su parte, el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal no contiene acciones específicas en torno al agua mediante la construcción de infraestructura hidráulica ni para la mitigación del impacto (RCDF, 2004).

Finalmente se sugiere tener un posicionamiento crítico frente a la forma de “el que contamina paga”, pero ajustado a nuestro tema de interés “el que utiliza más agua paga o sigue medidas”, ya que por más que se pague, el dinero no se reflejará en el balance hídrico. Por tanto, los instrumentos para mitigar el desabasto de agua en un contexto de crecimiento urbano, no resuelve el estrés hídrico. Si bien es un acierto tener instrumentos de orden hídrico-urbano, éstos tienen que estar coordinados y vinculados.

Referencias

- Aristegui Noticias (2018). “CDMX: confirman 70 proyectos de alto impacto urbano”, 23 de mayo.
Aristegui Noticias (2018b). “El ‘boom’ de los centros comerciales en CDMX: 108 plazas nuevas en 12 años”, 14 de julio del 2018.

- BM (2015). *Diagnóstico para el manejo integral de las subcuenca Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al Sistema Cutzamala*. Banco Mundial y Conagua.
- CDHDF (2018). Crecimiento urbano y derechos humanos en la Ciudad de México. Informe especial.
- CFDF (2014). Código Fiscal del Distrito Federal. <https://data.finanzas.cdmx.gob.mx/codigo/>
- El Heraldo (2018). "Aprueba 98% de dictámenes", 22 de marzo.
- Excélsior (2017). "Freno a obras donde no hay agua: CDMX", 21 de marzo.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (1999-2018). Resolución de carácter general mediante la cual se determinan y se dan a conocer las zonas en las que los contribuyentes de los derechos por el suministro de agua.
- Garavito González, Leonardo (2012). *Un oasis en el desierto. Reflexividad y redes sociales por el agua en la Cuenca de México*, Tesis para obtener el grado de Doctor en Estudios Urbanos y Ambientales, México: Colmex.
- Gasca-Zamora, José (2017). "Centros comerciales de la Ciudad de México: el ascenso de los nego-
- GOCDMX (2018). Reglamento de impacto ambiental y riesgo.
- González Alvarado, Rocío (2017). "Abren plazas comerciales, pese a protesta vecinal", La Jornada, jueves 28 de diciembre.
- INEGI (2015). Encuesta intercensal 2015. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>
- INFODF (2015). "Importante proteger la información que pueda ocasionar riesgos en servicios públicos de la Ciudad", Boletín/DCS/002/15
- LASH (2017). Ley de Aguas y Sustentabilidad Hídrica de la Ciudad de México. ALDF-Sacmex, publicada 24 de noviembre.
- Notimex (2017). "La CDMX tiene en lista 70 proyectos de usos mixtos de alto impacto", 09 de junio.
- Obras (2017). "La CDMX analiza negar construcciones en zonas con escasez de agua", 21 de marzo.
- RCDF (2004). Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 29 de enero del 2004.
- Sacmex (2017). Mapas de factibilidad hídrica delegacional por colonia. <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/atencion-usuarios/factibilidad-hidrica>
- Seduvi (2015). "El Centro comercial Oasis Coyoacán incumple con las medidas de mitigación a un mes de su apertura", 11 de noviembre.
- Seduvi (2016). Dictamen de Estudio de Impacto Urbano de la Ampliación de la Línea 12 de Metro, <http://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/03%20Dictamen%20de%20Impacto%20Urbano.pdf>
- Silva, Paulina (2017). "Vecinos denuncian 116 construcciones en Álvaro Obregón", Excélsior 7 de junio.
- Torres Bernardino, Lorena (2017). *La gestión del agua potable en la Ciudad de México. Los retos hídricos de la CDMX: gobernanza y sustentabilidad*. México: INAP.
- Velázquez Zúñiga, Alejandro (2018). Agua y desarrollo urbano, opacidad en los dictámenes de factibilidad hídrica de la Ciudad de México, en Nexos, 20 de marzo.

Velázquez Zúñiga, Alejandro (2016). Sacmex: Opacidad de los impactos al agua por desarrollos inmobiliarios, en *Nexos*, 22 de septiembre.

Watts, Jonathan (2015). "La crisis del agua de la Ciudad de México", en *The Guardian*, 12 de noviembre.

Zamarrón, Israel (2018). "El boom inmobiliario que agrava la crisis del agua en la CDMX", en *Publimetro*, 21 de marzo.

Entrevista semiestructurada

Díaz Santos, María (2018). Entrevista a Habitante 1 en Colonia Adolfo Ruiz Cortines, Coyoacán. Junio.

El agua potable en México y el consumo de agua embotellada

Delia Montero Contreras

Introducción

En las últimas décadas las instituciones vinculadas con la distribución de agua han puesto más atención al abasto del agua en los hogares y menos o casi nada en relación con su calidad, es decir, su potabilidad y la posibilidad de consumirla. El agua que llega a los hogares debe ser potable, ya que debe cumplir con la norma para el consumo humano establecida por la Secretaría de Salud, pero el problema es que la población lo ignora y los organismos operadores del agua poco o nada se han preocupado de proporcionar esa información a la ciudadanía. Este vacío institucional ha provocado que la población vaya tomando sus decisiones sobre el consumo de agua para beber a partir de la información que tiene en su entorno, que no necesariamente resulta ser la mejor ya que proviene principalmente de su familia o sus amigos, que tampoco están bien informados.

En general la población, por lo menos de la Ciudad de México,¹ tiene buena percepción del agua potable que es suministrada en sus hogares, pero no la beben. Consideramos que esto se debe, en parte, a un problema relacionado con la falta de información proveniente de las autoridades responsables que no se han preocupado por difundir los parámetros mínimos y rangos aceptables que deben considerarse en el agua para beber como sería el PH, conductividad, turbidez, bacterias y temperatura, que son los requerimientos básicos para que pueda ser consumida. Es posible que sea simplemente una ingenua omisión, aunque también es posible que sea deliberado con el fin de favorecer a los grandes consorcios extranjeros bajo acuerdos poco transparentes, ya que el negocio del agua embotellada en manos de cuatro empresas transnacionales desde hace tres décadas ha resultado ser muy jugoso (Montero, 2015).

El descuido en la falta de información respecto a la calidad del agua potable en la Ciudad de México ha generado que los hogares gasten más de cuatro mil millones de pesos en agua embotellada al año,² cifra que no considera el gasto que se hace en oficinas públicas y privadas,

¹ Este trabajo se centra principalmente en la Ciudad de México pero también se hace referencia al resto del país.

² Los datos relacionados con el consumo de agua embotellada en la Ciudad de México fueron obtenidos de la encuesta que se aplicó en la CDMX en el 2011, Montero, *et al.* (2011).

escuelas, hospitales, etc., por lo que la cifra es aún mayor. El consumo de agua embotellada se ha expandido en todo el país, hasta en las rancherías más alejadas y cercanas a un manantial se consume agua embotellada, lo que nos ha llevado a ser el país número uno a nivel mundial en consumo *per cápita* de agua embotellada (Beverage Marketing Corporation, 2011). A todas luces es un negocio redondo para las empresas transnacionales, tema que poco se ha analizado y que vale la pena retomar, ya que las instituciones nacionales responsables de distribuirla han contribuido para alcanzar este deshonroso primer lugar a nivel mundial y que cuesta mucho a los mexicanos. Actualmente consumen agua embotellada en México familias de cualquier estrato social, nivel de escolaridad u ocupación, es decir, se trata de una demanda inelástica y en constante aumento.

¿Cómo y cuando dejamos de tomar agua de la llave? ¿Qué lo generó y cómo se reforzó este cambio de hábito?, ¿Qué tanta responsabilidad tienen organismos operadores como Sacmex y la Conagua en este cambio de en las formas de consumo?, ¿Cómo poder revertir esta tendencia?, ¿Verdaderamente el agua potable es de muy mala calidad como para no consumirla?

Este trabajo tiene como objetivo resolver algunas de estas interrogantes y analizar qué actores han participado en este cambio de hábito de consumo, cómo éste se ha consolidado y algunas posibles formas de revertirlo. Se trata de un tema poco analizado y poco difundido, no sólo en la Ciudad de México sino en todo el país a pesar de que a nivel nacional aproximadamente un 80% de la población consume agua embotellada. Actualmente la población considera que es normal comprar el agua para beber, se han olvidado que el Estado debe proveer agua y que ésta debe ser potable y apta para el consumo humano. Consideramos que en la Ciudad de México, a excepción de Iztapalapa, la calidad no es mala y cumple con la norma ya que existen varias plantas de potabilización y se toman regularmente mediciones sobre la calidad de ésta, pero no se informa lo suficientemente y esto ha reafirmado los altos consumos de agua embotellada. Ni siquiera en países con una larga tradición en consumo de agua embotellada como Francia (132 litros *per cápita*) o Italia (186 litros *per cápita*), el consumo de agua embotellada es tan alto como en México (Montero, 2015).

En la primera parte de este trabajo se analiza brevemente cómo es que se dieron los cambios de las formas de consumo de agua a partir del terremoto de 1985, que fue el parteaguas, y cómo se ha reforzado el hábito de consumir agua embotellada hasta nuestros días. Se observará que los cambios en las formas de consumo se relacionan con las instituciones que distribuyen agua potable en los hogares, así como con las empresas transnacionales que venden agua embotellada. Ambos actores manejan la información de forma diferente, y esto incide directamente en la certidumbre de la población en la toma de decisiones. También analizaremos el surgimiento de los pequeños negocios que venden agua purificada denominados purificadoras, los cuales han aprovechado la falta de información y algunas veces también la falta de agua para expandirse en todo el país, específicamente en las zonas marginadas. En muchos casos estos negocios no venden agua de mejor calidad de la que podrían encontrar muchos usuarios en la llave de sus casas.

En la segunda parte daremos a conocer algunos datos sobre el consumo y el gasto en la compra de agua embotellada, principalmente en la Ciudad de México, que sustentan nuestro planteamiento teórico y que nos permitirá hacer algunas propuestas de cambio institucional con

el objetivo de regresar al consumo de agua de la llave y que la ciudadanía no gaste en un bien por el cual paga muy caro, y que debe de ser abastecido por el Estado.

Instituciones y consumo de agua embotellada: realidad, percepciones y hábitos

Analizar el tema de la calidad del agua potable que llega a los hogares y el alto consumo de agua embotellada nos lleva a preguntarnos ¿cómo fue ese cambio?, ¿Cuándo inició?, ¿Cuánto gasta la gente en la compra de agua? y ¿Es posible revertir este hábito de consumo?

Pensamos que el cambio de hábito en las formas de consumo, primero en la Ciudad de México y más tarde en todo el país, es por una parte resultado de la falta de información sobre su calidad por parte de los organismos operadores y en general de la Conagua, y por otra la expansión de las empresas transnacionales que embotellan agua en México.

La falta de información de la calidad del agua de la llave en los hogares incide en la percepción que se tiene de su calidad y poco a poco se van conformando nuevas creencias y hábitos de consumo. La percepción de la buena o mala calidad del agua de la llave tiene un papel fundamental ya que ésta, fundamentada o no, influye de manera decisiva en la conformación de nuevos hábitos y reglas de comportamiento.

Los primeros cambios en las formas de consumo de agua en los hogares las encontramos en 1985, específicamente a partir del sismo de 8.1 grados que azotó a la Ciudad de México. Esto fue un parteaguas en el consumo de agua potable en la Ciudad de México y que más tarde se extendió a todo el país, ya que a partir de ese año el consumo de agua de la llave comienza a desaparecer paulatinamente.

Antes del sismo no se cuestionaba la potabilidad del agua y su calidad. La población tenía plena confianza en el agua que se suministraba en los hogares, y el grueso de la población en la Ciudad de México y del resto del país bebía agua directamente de la llave sin ningún problema.

El terremoto fracturó las líneas de distribución y de drenaje, por lo que se ponía en riesgo la salud de los habitantes si tomaban agua directamente de la llave.³ En diversos medios de comunicación se recomendaba a la población hervir el agua (de uno a tres minutos) o utilizar algún método de purificación (clorarla), con el fin de no contraer enfermedades. Estas medidas fueron acatadas colectivamente en primera instancia en las zonas más afectadas de la Ciudad de México; sin embargo, otras zonas no afectadas lo hicieron más tarde con resistencia y poco a poco se fue convirtiendo en una práctica social. Poco a poco esta práctica se fue adoptando por todos los habitantes de la ciudad y se convirtió en un código de conducta no escrito que se puso en marcha ante la incertidumbre de la calidad del agua de la llave. Consumir agua hervida poco a poco se fue haciendo costumbre dando lugar al primer cambio de hábitos.

³ Varias averías en el Acueducto Sur Oriente sufrieron fracturas. En las redes primarias se dieron 167 fugas, mientras que en las redes secundarias se contabilizaron 7,229 fugas. Los sistemas de drenajes también se vieron seriamente dañados con 6,500 metros afectados. (Montero, 2019).

Sin embargo, una vez superada la emergencia y reparadas las redes de distribución,⁴ las organizaciones públicas no informaron de forma sistemática y continua sobre su reparación y el regreso a la normalidad en el suministro de agua potable para el consumo humano. Se percibe entonces un vacío de información gubernamental, que reafirmó la incertidumbre entre la población respecto su potabilidad.

Las autoridades responsables, en este caso el organismo operador, al no proporcionar información reafirmó la incertidumbre, por lo que los individuos tomaron sus propias decisiones a partir de la interpretación de su realidad y de su entorno, el cual se caracterizaba en ese entonces por la inseguridad de beber agua de la llave, lo que reafirmaba el hecho social de no beberla (como salía de la llave) sin antes hervirla o clorarla.

Poco a poco la desconfianza y la falta de información modelaron la manera de percibir e interpretar el entorno de los habitantes de la Ciudad de México, por lo que en ellos se generaron y reafirmaron nuevas reglas que influyeron en su manera de ver la realidad, y a partir de ahí tomar la decisión de utilizar algún método de purificación.

Por otra parte, la falta de campañas publicitarias oficiales respecto de la buena o mala calidad del agua y el alto grado de incertidumbre que esto generaba, hizo que la población fuera perdiendo confianza —con razón o sin ella— en el agua que llegaba a sus hogares, por lo que fue tomando sus decisiones en función de percepciones subjetivas o de la poca información disponible, generalmente incompleta. Poco a poco los habitantes de la Ciudad de México se fueron alejando del mundo informado por parte de organismos que distribuyen agua potable y tomaron decisiones supuestamente más certeras, pero que en realidad eran subjetivas y poco informadas. En todo caso, recurrieron a lo que consideraban en ese momento más seguro, como era el hecho de hervir el agua.

Ante la incertidumbre de mediados de los ochenta respecto de la calidad del agua y la forma de resolverla —hervir o clorar el agua—, los habitantes de la Ciudad de México adoptaron otros hábitos, los cuales a través de la transmisión y la aceptación social van cambiando la forma de accionar para solucionar sus problemas de suministro de agua para beber. La práctica de hervirla, aunque con cierta resistencia, tuvo aceptación entre la población ya que se concibió como una regla de conocimiento social entre los habitantes de la Ciudad de México, con cierto grado de persistencia cultural.

Este primer cambio de hábitos se fue extendiendo cada vez más entre la población, y esto se explica porque el individuo al formar parte de una sociedad se encuentra inmerso en una cultura que lo imbuye de elementos simbólicos, a través de los cuales ve la realidad circundante (Alpuche, 2015: 49). De tal manera que la interpretación que hacen de su entorno hace que éste ordene sus percepciones y que poco a poco vaya generando un proceso de aprendizaje (Cabillo, 2005: 45).

Al final de la década de los ochenta, por lo menos en la Ciudad de México teníamos ya el hábito de hervir el agua, reforzado desde luego por el silencio institucional sobre la reparación de

⁴ De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud, las autoridades informaron que la red de agua potable se había restablecido 40 días después del sismo.

las tuberías y la calidad del agua, lo que afianzó la regla no escrita de hervir o clarar el agua. Aquí precisamente se fue haciendo el hábito de no tomar agua directamente de la llave, por lo que en la memoria colectiva de los consumidores se quedó la idea de que el agua de la llave era de *mala calidad* y por tanto no debía tomarse.

El desarrollo del consumo de agua embotellada es un proceso muy complejo para que un sólo individuo o grupo de individuos haya determinado el rumbo de este cambio, aunque sin duda otro elemento que contribuyó fue la epidemia de cólera a inicios de los noventa y con ello la reafirmación de la creencia de que el agua de la llave era de mala calidad. El primer caso reportado fue en junio de 1991 en una pequeña comunidad del Estado de México,⁵ de ahí se extendió a la Ciudad de México y luego se propagó a otras 16 entidades, pero el temor de consumir agua de la llave se extendió aun en lugares donde no hubo brotes de la epidemia. La creencia sobre la mala calidad del agua potable cobró fuerza en los noventa, cuando la epidemia del cólera se propagó a otras localidades (Green, 2014). Sin embargo, esta situación se controló, pero la ciudadanía no fue informada de la superación de la emergencia y que la calidad del agua era confiable.

La década de los noventa también presenta otro escenario diferente, marcado por nuevos actores que contribuyen en los temas del cambio y el reforzamiento en las formas de consumo de agua de la llave que son determinantes. Desde luego están las organizaciones públicas que gestionan la distribución de agua potable en los hogares como son los organismos operadores que ya venían operando deficientemente respecto a difundir información; por otro lado la expansión de organizaciones privadas que venden agua embotellada, nos referimos a las empresas transnacionales (ET) que iniciaron negocios en esa década en México: Nestlé, que se introdujo en nuestro país en este negocio a través de la compra de la empresa Agua Santa María, y Danone, a través de la empresa Bonafont. Ambas han jugado un papel fundamental en el reforzamiento de hábitos y creencias, aun sin mencionar en su publicidad que el agua de la llave es de mala calidad, tanto los actores públicos como privados actúan a macrónivel pero en sentido inverso, es decir, los primeros guardando silencio sobre la calidad del agua y los segundos ofreciendo agua de calidad.

Las ET tienen reglas, planes de expansión, buena logística a nivel interno con controles y metas ambiciosas de ventas, y muchas ganas de ganar dinero, por lo que actúan a macrónivel a través de estrategias agresivas como la publicidad, redes de distribución muy eficientes y una comunicación constante con sus consumidores (Montero, D., 2015). A través de su publicidad, las grandes transnacionales dan certeza a los consumidores, aun si no cumplen con los estándares de calidad que exige la norma sanitaria. Esto ha generado que México se haya convertido en el principal consumidor de agua embotellada en el mundo, con un consumo *per cápita* que va de los 300 a 590 litros al año por persona en la Ciudad de México (Montero *et al.*, 2011).

Hay que señalar que las ET del agua embotellada por sí solas no pudieron lograr estos altos consumos de agua embotellada. El entorno socio-cultural que encontraron en México respecto

⁵ Los expertos encontraron que la causa del contagio se debía a que en esa región el agua estaba contaminada con la bacteria causante de la enfermedad.

de la calidad del agua les fue muy favorable y aprovechando esa coyuntura reforzaron sus estrategias hacia el consumo de agua embotellada. De esta forma, ante la incertidumbre respecto de la calidad del agua de la llave, las ET han reforzado la creación de sujetos para que adquieran sus mercancías; su mayor acierto ha sido el mantener informado a los consumidores sobre la calidad del agua que embotellan, a través de su publicidad, ya sea en las etiquetas de sus envases o en los medios de difusión.

El otro actor importante son los organismos operadores, que son los encargados de distribuir el agua en los hogares y también actúan a macrónivel. En el caso de la Ciudad de México, Sacmex y en general la Conagua han realizado diversas campañas publicitarias enfocadas principalmente al cuidado del agua potable, pero no así de su calidad. La última campaña fue en 2009 respecto a la epidemia de influenza que atacó a la Ciudad de México o del Zica en 2016, donde se informaba en los medios de la conveniencia de lavarse constantemente las manos y tapar depósitos de agua. Respecto de la calidad del agua y posibilidades de beberla directamente de la llave se registra una total omisión, lo que reafirma la falta de credibilidad y confianza en estas instituciones por parte de los usuarios; a lo largo de la década de los noventa esto dio pauta para que entre la población se reforzara las falsas creencias respecto a la mala calidad del agua que llega a los hogares. Con lo cual se abre la oportunidad para que las organizaciones privadas bombardeen a la ciudadanía con exitosas campañas publicitarias.

La falta de información institucional respecto de la calidad del agua es un problema estructural en todo el país y desde luego también el sistema hidráulico mexicano, y cuando existe información es heterogénea, inexacta, imprecisa, poco sistematizada, no tiene continuidad y es poco accesible; realmente son pocos los organismos operadores que informan respecto de la calidad del agua que llega a los hogares. La falta de información es un problema que se detecta desde el organismo federal que se ocupa del agua como es la Conagua, pasando por los gobiernos locales, los organismos de cuenca, hasta los organismos operadores que son los que están más cerca del usuario final (Perevochtchikova, 2013).

La ausencia de información oportuna respecto de la calidad del agua de la llave ha provocado que en México el número de consumidores vaya en aumento, generando poco a poco un sistema de socialización de percepciones, es decir, de percepciones compartidas, donde lo interesante es que ya incorpora a individuos de todas las clases sociales y niveles de educación como se observa en la Ciudad de México, incluidos funcionarios de los sistemas de distribución de agua potable en México.

Si hoy en día tenemos la cultura de beber agua embotellada es porque su consumo llevó un proceso de aprendizaje inductivo de generación en generación y tuvo su raíz en un modelo mental que se fue replicando al compartirse entre los individuos (Denzau, y North, 1994), ante la falta de información que se fue reforzando durante toda la década de los noventa. El patrimonio cultural proporciona un medio para reducir la divergencia de los modelos mentales que las personas tienen en una sociedad, y también constituye un medio para la transferencia intergeneracional de las percepciones unificadas. A pesar de que existe una amplia diversidad de patrones de comportamiento, pensamiento y experiencias humanas (Denzau y North, 1994: 8), en

el patrimonio cultural se encapsulan las experiencias de las generaciones pasadas de cualquier individuo o grupo, como ha sucedido con la continuidad en el consumo de agua embotellada.

En la década de los ochenta registramos la primera generación en tener la experiencia de tomar agua directamente de la llave, pero ésta tuvo un aprendizaje directo al transitar hacia otra forma de consumo como era el hervir el agua de la llave. La década de los noventa presenta ya otro panorama; aquí tenemos ya una segunda generación de consumidores, que es la generación precursora del consumo masivo de agua embotellada que se dejó llevar por la creencia generalizada de que el agua de la llave era de mala calidad. Esta creencia se reafirmó, en gran parte, a través de un conocimiento por referencia, es decir, por la experiencia compartida y el aprendizaje indirecto de otros.

Del 2000 a la fecha encontramos ya una aceptación colectiva de beber agua embotellada, un arraigo de los hábitos de consumo, una suerte de resignación de que así debe de ser. A pesar de que hay un fuerte arraigo y la aceptación colectiva en los hábitos de consumo, éste se sigue reafirmando por actores externos —voluntariamente o no— con el fin de intensificar y prolongar este consumo. Los actores que incentivan el consumo siguen siendo los mismos, las ET que embotellan agua en México cuya campaña publicitaria es más agresiva que la década anterior, por otro lado los Organismos Operadores que siguen omitiendo información respecto al agua potable que distribuyen en los hogares.

Hay que resaltar que en este período surgió un tercer actor muy importante, las Purificadoras que también venden agua embotellada y de igual modo han reforzado el consumo. Estos negocios abrieron una oportunidad para las clases de bajos ingresos de consumir agua supuestamente de mejor calidad. De esta forma, no sólo las clases de medios y altos ingresos consumen agua embotellada, sino también las de bajos, lo que propició que este hábito se extendiera en todos los estratos sociales y se arraigara en todo el país.

Las Purificadoras son pequeños negocios que se ubican principalmente en zonas de medios y bajos ingresos, y que resuelven inclusive el problema de abasto de agua de las clases de bajos y muy bajos ingresos principalmente. Estos modestos negocios han contribuido a intensificar el consumo masivo de agua embotellada, toda vez que su expansión en zonas marginadas cobra mayor importancia. Aún sin publicidad y con datos dudosos respecto de la calidad del agua que venden, se han expandido en todo el país, resolviendo de paso un problema de abasto que ni el mismo Estado ha podido resolver principalmente en las zonas marginadas. El hábito de consumir agua embotellada está tan arraigado, que las familias compran esta *agua purificada* aún sin conocer con certeza su calidad; en todo caso le tienen más confianza a esta agua sin etiqueta, que al agua que llega a sus hogares.

Del 2000 a la fecha se observa la expansión de las ET y la puesta en marcha de nuevas estrategias basadas en el mejoramiento de sus estructuras de organización, los procesos de producción a nivel mundial, la innovación tecnológica, sistemas de información más eficientes, controles internos y la adquisición de empresas locales, entre otras actividades. Particularmente, Danone y Nestlé pusieron en marcha una campaña orientada al cuidado de la salud, a *contribuir a mejorar las funciones del cuerpo y una salud activa*, que reforzaba el consumo de agua embotellada (Mon-

tero, 2015: 136). Coca Cola y PepsiCo entraron al mercado del agua embotellada en el 2000, y lo han hecho muy bien. Aunque hay que señalar que el 30% de las ventas en la Ciudad de México las realiza Bonafont, que es filial de Danone (Montero *et al.*, 2011), todas han mejorado sus redes de distribución con el fin de estar cada vez más cerca de los consumidores, apoyadas por la publicidad que día a día aparece en los diferentes medios de comunicación.

Los Organismos Operadores en este período han seguido con la inercia de no informar sobre la calidad del agua potable que llega a los hogares⁶ y siguen omitiendo la información a pesar de tenerla, ya que constantemente se hacen análisis de la calidad del agua potable. Es posible que se trate simplemente de un problema estructural, ya que nunca se ha dado a conocer la información sobre la calidad del agua que llega a los hogares, a pesar de que es parte de sus funciones, no hay el hábito de hacerlo y la sociedad tampoco lo ha exigido. Sacmex proporciona algunos datos por colonia, pero éstos no están actualizados y no toda la población tiene acceso a Internet para revisar constantemente la calidad del agua que llega a su hogar.

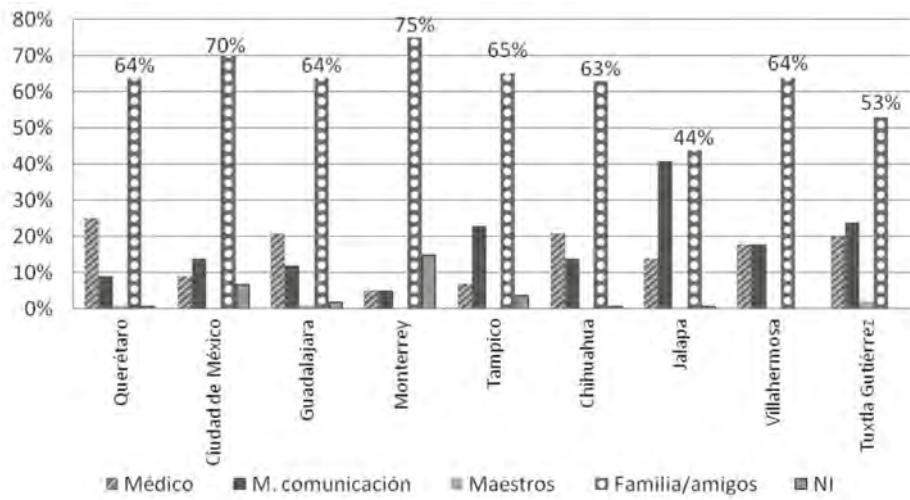
La conclusión a la que llegamos es que hay una suerte de regla no escrita, no sólo en la Ciudad de México sino en buena parte del país, que nos indica que hay que consumir agua embotellada y no beberla directamente de la llave. Es una regla muy difícil de romper, debido a un modelo mental colectivo que está incrustado en todas las capas sociales de la población sin distinción. De tal manera que aún cuando el Organismo Operador difundiera información sobre la calidad del agua potable, resultaría difícil romper esta regla por la misma desconfianza que se tiene hacia las instituciones.

Como se observa en la gráfica 1, en relación a recomendaciones para no consumir el agua de la llave, a quien le tienen más confianza los ciudadanos es a la propia familia, la cual desde luego no está informada adecuadamente.

Lo que se observa es un arraigo de hábitos de consumo de agua embotellada que será difícil remover y menos aun con la agresiva publicidad y estrategias de la ET. Además de que las inercias son muy fuertes, por lo que es difícil modificar este hábito en el corto plazo. En la memoria colectiva ya está incrustado el hábito de consumir agua embotellada, por lo que existe una suerte de persistencia cultural en el arraigo de hábitos que se resistiría al cambio. El proceso evolutivo para llegar a crear y fomentar un hábito de consumo de agua embotellada en el 89% de la población en la Ciudad de México, y en general en todo el país, llevó cerca de treinta años. Revertir el proceso puede tomarnos otros treinta más, pero para ello se requieren políticas públicas, transparencia y difusión de la información con el fin de recuperar la confianza perdida en la calidad del agua de la llave. También se requiere mucho trabajo en escuelas, universidades y con las familias con el fin de recuperar la confianza en el agua que llega a sus hogares, y que se logre que las familias perciban que la compra de agua embotellada tiene un impacto alto en sus ingresos.

⁶ El Organismo Operador de la Ciudad de Monterrey es uno de los pocos que informa regularmente sobre la calidad del agua y es una de las ciudades donde el consumo de agua embotellada es menor.

GRÁFICA 1
¿Quién principalmente le ha recomendado que no use el agua de la llave para beber?



Fuente: Encuesta BID 2010.

El consumo y el gasto de agua embotellada en la Ciudad de México

En esta parte queremos presentar datos certeros sobre el consumo y el gasto que realizan los hogares para abastecerse de agua para beber. Estos datos son el resultado de una encuesta que se realizó en el 2011 sobre Hábitos de Consumo, Servicio y Calidad del Agua por Hogar en el Distrito Federal, proyecto que financió el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito federal (ICYTDF). Los resultados de la encuesta nos permitieron comprobar lo expandido e incrustado que está el hábito de comprar agua embotellada en la Ciudad de México. Contrastamos estos datos con una encuesta del BID (2010), lo que nos permitió no sólo validar nuestros datos sino comprobar que este hábito se ha extendido a todo el país.

Como mencionamos anteriormente, el manejo de la información respecto de la calidad del agua por parte de Sacmex y Conagua es deficiente, como lo muestra una encuesta realizada por el BID (2010); de acuerdo con sus datos, el 76% de los encuestados a nivel nacional dice no haber escuchado en los medios de comunicación información o publicidad que diga que el agua es potable y puede beberse. En la misma encuesta el 70% de la población encuestada dice estar bien informada sobre la calidad del agua de los garrafones, lo que reduce su incertidumbre y la compran. Este es un problema a nivel nacional, y como ya mencionamos, consideramos que es un problema estructural que no solamente se refleja en los organismos operadores, sino también del sistema de información de la propia Conagua y de los organismos vinculados a ellos como los Consejos de Cuenca.

Otro problema es la falta de confianza en las instituciones que distribuyen agua potable, ya que el 63% de la población en la Ciudad de México considera que el organismo operador no cumple con las normas de calidad que requiere el agua para el consumo humano. Para reforzar el tema de la desconfianza en los organismos públicos, una encuesta de opinión arrojó que a quien más confianza le tienen las personas es a su familia y a sus amigos, seguido de las universidades públicas (CESOP, 2014). Las organizaciones públicas están muy mal calificadas, es por eso que aun si se difundiera la información sobre la calidad del agua de la llave, posiblemente la ciudadanía no la bebería por la desconfianza hacia las instituciones.

En los hogares de la Ciudad de México el agua destinada a la preparación de alimentos es 2.07% y para beber solamente es el 0.22%, que es el menor consumo del total de agua en las viviendas. A pesar de que el 44% de la población tiene buena percepción del agua y el 33% piensa que es de regular calidad, no la consumen (Montero *et al.*, 2011) y la compran aunque su precio sea mucho más alto que lo que pagan los hogares por la tarifa bimestral.

En las últimas décadas se ha registrado un incremento en el consumo de agua embotellada en México (Beverage Marketing Corporation, 2011). De acuerdo con Beverage Marketing Corporation, el consumo promedio anual a nivel nacional fue de 243 litros *per cápita* en el 2011. Nuestros datos de la encuesta del 2011 nos indican en la Ciudad de México un consumo per capita anual de agua embotellada más alto, que es de 391 litros por habitante. Mientras que en la encuesta del BID se reporta un consumo anual *per cápita* de agua embotellada en la Ciudad de México de 360 litros, que se aproxima más a los datos de la encuesta del 2011. A nivel delegacional, Iztapalapa sobresale con el más alto consumo anual *per cápita* (575 litros por persona). La mala calidad del agua, aunada al problema de abasto de agua potable, se traduce en una demanda mayor de agua por persona en esta demarcación.

La compra de agua embotellada en la Ciudad de México representó un gasto total al año de 4 mil 683 millones de pesos, el 72% del total se destinó a la compra de garrafones de 20 litros, que equivale a 3 mil 374 millones de pesos; mientras que el gasto anual en botellas fue de 1,308 millones, que representa el 28% del gasto total.

Si comparamos el gasto anual que los hogares desembolsaron por concepto de pago de la tarifa de agua potable al organismo operador que la suministra, éste alcanzó el monto de 3 mil 449 millones de pesos, que corresponde a un costo promedio por metro cúbico (m^3) equivalente a 1,000 litros de agua a 6.32 pesos, que es un precio muy inferior a lo que se paga por un litro de agua embotellada.

Los hogares de la Ciudad de México pagan por un litro de agua embotellada en promedio 1.5 pesos, es decir, que un m^3 de agua embotellada equivale a 1,466 pesos, que contrasta enormemente con los 6.32 pesos que se paga en promedio por un m^3 de agua suministrada por el organismo operador (Sacmex). Esto significa que por un litro de agua de la llave en la Ciudad de México se paga 0.006 pesos, es decir, menos de un centavo, mientras que en la compra de un litro de agua embotellada, los hogares en la Ciudad de México pagan 2,500 veces más de lo que lo harían por un litro de agua potable.

De acuerdo con los resultados de la encuesta 2011, si comparamos el gasto que las familias hacen en la compra de agua embotellada (4,683 millones de pesos) contra el pago que realizan

por el agua suministrada (3,449 millones de pesos), resulta que es mayor el gasto que realizan en agua embotellada en un 35%, lo que resulta sorprendente porque únicamente se satisface la necesidad de agua para beber y preparar alimentos (que equivale al 2% del total de los usos en el hogar), mientras que el agua de la llave tiene múltiples usos y su costo es mucho menor.

El impacto del gasto del agua embotellada en el presupuesto familiar es fácilmente mesurable y escandaloso, si lo comparamos con lo que pagan los hogares al mes en la tarifa de agua potable.

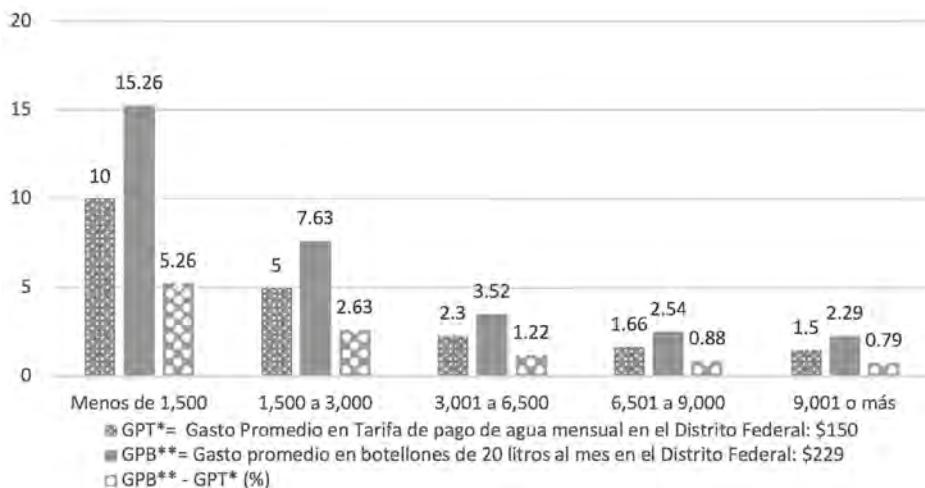
Si analizamos el gasto a nivel mensual, vemos que tiene un significativo impacto en el presupuesto familiar. De acuerdo con la encuesta 2011, el gasto promedio mensual de agua de garrafón en la Ciudad de México es de 229 pesos, cifra aproximada a la que arrojó la encuesta del BID en 2010. Si consideramos que el salario mínimo en 2011 era de 1,794.60 pesos mensuales y el gasto mensual promedio en agua embotellada era de 229 pesos, entonces la compra de agua embotellada representó el 12.7% de ese ingreso mensual. Ahora bien, si el nivel de ingreso promedio en la Ciudad de México oscila entre dos y tres salarios mínimos, y se consumen en promedio diez garrafones de agua, entonces el gasto en la compra de agua embotellada tiene un impacto considerable en los ingresos de los hogares, y éste no se tiene contemplado dentro de otros bienes que conforman la canasta básica como la tortilla.

En la mayor parte de los hogares no se percibe esa diferencia, debido a que la compra se ha convertido en un hábito en todas las familias. Es decir, como el agua es un bien indispensable y no se puede sustituir, los consumidores no lo pueden desestimar de su presupuesto dado que lo consideran tan necesario como cualquier otro de la canasta básica. La creencia generalizada de que el agua embotellada es de mejor calidad que la de la llave se sobrepone a la percepción que la ciudadanía tiene sobre esta última, ya que aun cuando tienen buena percepción de ésta no la toma y prefiere depositar su confianza en el agua embotellada. Los hogares ya han asimilado el gasto de agua embotellada, se ha convertido en parte de su consumo básico como sería la compra de tortilla o los frijoles.

Esto significa que además de tratarse de un gasto innecesario —a excepción de Iztapalapa—, se deben pagar más en la compra de agua embotellada, un excedente que los hogares no logran percibir, aun cuando los volúmenes de agua no son los mismos. A este respecto, es importante mencionar que aun y cuando los hogares no perciben todo lo que gastan en agua embotellada, tienden a creer que su gasto es justo.

En la gráfica 2 se observa el efecto del gasto de agua embotellada en los diferentes niveles de ingreso. Si tomamos como referencia la diferencia entre lo que los hogares gastan en el pago de tarifa de agua potable y lo que paga en agua embotellada, vemos que la brecha porcentual entre ambos es más grande en el nivel de ingreso más bajo que en los medios y altos, por lo que este sector de la población se ve más afectado; de hecho, la mayoría de los hogares con menores ingresos prefieren comprar agua de purificadoras que agua de marca, ya que el precio del agua de purificadoras se acopla al nivel de ingreso de las zonas marginadas. El impacto del gasto en el rango de ingreso más bajo es más fuerte y representa un 5.26% de su ingreso. El siguiente impacto se da en el rango de 1,500 a 3,000, con un 2.63% de su ingreso.

GRÁFICA 2
**Efecto del gasto en compra de agua embotellada como porcentaje
 del nivel de ingreso familiar, por extracto de ingreso**



Fuente: elaboración propia a partir de los datos arrojados en la encuesta 2011.

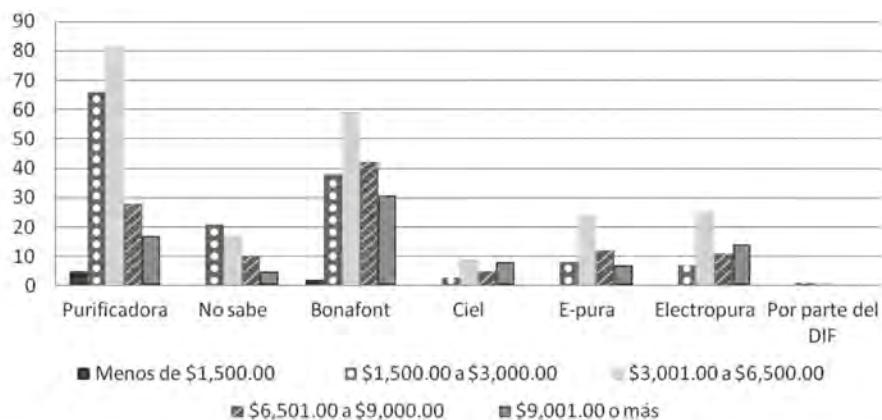
En lo que respecta al mercado del agua embotellada en la Ciudad de México, está liderado por las purificadoras y la marca Bonafont. De acuerdo a la encuesta 2011, el 35% de los hogares encuestados prefieren agua de purificadoras, mientras que un 32% prefiere la marca Bonafont. La diferencia porcentual es mínima comparada con la amplia brecha entre los precios en que se vende un garrafón de purificadoras que oscila los 7 y 15 pesos y uno de Bonafont que oscila en los 30 y 35 pesos.

Los bajos niveles de ingreso que predominan en la Ciudad de México se reflejan en la preferencia por el agua de las purificadoras que se concentra principalmente en los niveles de ingreso entre 1,500 y 3,000 pesos y de 3,000 a 6,500 pesos, como se observa en la gráfica 3.

La expansión y la ubicación de las purificadoras —al igual que el de las transnacionales— también han contribuido a reafirmar muchas creencias sobre la calidad del agua de la llave para beber en todo el país, con la diferencia que abastecen principalmente al sector más desfavorecido de la sociedad mexicana, que es principalmente el sector de menores ingresos en México, que la adquiere a un bajo precio —de 7 a 15 pesos—, sin tener la certeza sobre su calidad.⁷ Lo que les da certeza para su compra es el documento que exhiben, aún cuando no esté correctamente documentada la calidad.

⁷ Todas las purificadoras por norma exhiben un documento que avala la calidad del agua que venden, sin embargo, bajo el control de calidad que deben realizar las instituciones como la Secretaría de Salud indica que en muchos casos el documento que presentan las purificadoras no es real o no está actualizado.

GRÁFICA 3
**Ciudad de México: preferencia de marca de agua embotellada por ingreso.
 Promedio mensual**



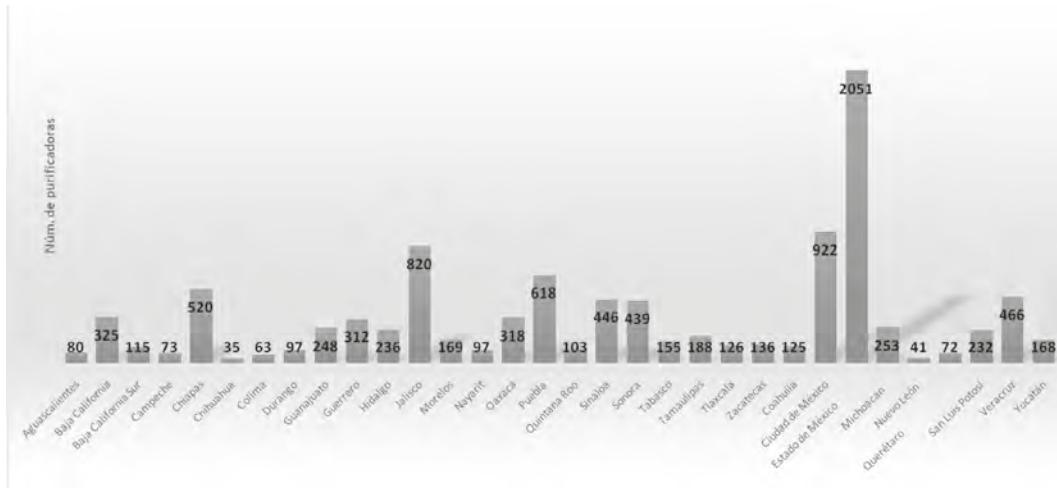
Fuente: Encuesta 2011.

Estos pequeños negocios, a pesar de no tener planes estratégicos de expansión y grandes controles de calidad, y de no haber creado enormes redes de distribución, han aparecido en todo el país y actualmente abastecen al 50% del mercado nacional. Son varios los elementos que explican su bajo precio. El primero es que muchas purificadoras no dan mantenimiento a sus equipos, tienen poco personal y distribuyen a hogares cercanos al negocio. El segundo punto importante es que muchas de las purificadoras operan de manera clandestina, por lo que hay un gran ahorro en permisos y pago de impuestos. Y el tercer punto es el relativo a los costos de controles fiscales y verificaciones sanitarias. Como éstos últimos no son frecuentes, no tienen la preocupación de dar mantenimiento continuo a sus filtros y demás mecanismos de control de calidad del agua, así como declaraciones de impuestos, por lo que los costos también son menores.

De acuerdo con datos del INEGI del 2014, que son los más certeros que encontramos, a nivel nacional estaban registradas un total de 10,049 purificadoras en todo el país, que abastecen una gran demanda de hogares de bajos y muy bajos ingresos. Los datos indican que al igual que las transnacionales cuya venta de agua embotellada abarca todo el país, las purificadoras han encontrado también sus nichos de mercado en todo el mercado nacional, pero principalmente en zonas de bajos ingresos.

Se observa una gran concentración de purificadoras en tres entidades federativas: Ciudad de México y Estado de México; estos estados se caracterizan por su importante aportación al PIB nacional, grandes concentraciones de población y una amplia población de bajos ingresos ubicadas en las ciudades capitales y en sus áreas conurbadas, como se observa en la gráfica 4.

GRÁFICA 4
Distribución de purificadoras en México, 2014



Fuente: Encuesta 2011.

A pesar que la Ciudad de México y el Estado de México son los que más aportan al PIB (25%), la inequitativa distribución del ingreso genera y refuerza la existencia de una creciente pobreza urbana que sólo tiene acceso a comprar agua de purificadoras de bajo costo, por lo que no sorprende que el 30% de las purificadoras a nivel nacional se ubiquen en los municipios más pobres del Estado de México y en la zona oriente de la Ciudad de México, constituyéndose el agua de las purificadoras en el *agua de los pobres*. Las purificadoras vienen a cerrar el círculo de consumo de agua embotellada junto con las transnacionales, que comprende tanto a población de altos, medianos y bajos ingresos en México.

Conclusiones

Ante la incertidumbre de la calidad del agua debido a la falta de información de los organismos operadores y la publicidad que continuamente están brindando las ET, en un sentido y en otro se han encargado de reforzar, durante casi tres décadas, la creencia de que el agua de la llave no es buena y que la embotellada es de mejor calidad, reforzando con esto un sistema de creencias de que es mejor comprarla. Este hábito actualmente está tan incrustado en los hogares, que no perciben el enorme gasto que hacen mes tras mes, cuando este consumo debe entrar únicamente dentro de los gastos que se hacen al pagar la tarifa de agua, que con mucho es más barata que la embotellada.

La incursión de las ET en México ha encontrado un verdadero paraíso hídrico, hallaron un entorno inmejorable de incertidumbre que han aprovechado al máximo. Su primera estrategia ha sido la de difundir información de la calidad del agua que venden, lo cual ha dado confianza a los consumidores, quienes instintivamente se orientan a tomar lo que consideran que es mejor para su salud, como el agua embotellada. Un actor que nos sorprendió por el peso que ha tomado en el mercado mexicano son las purificadoras, que es un tema que poco se ha analizado. Estos pequeños negocios se han beneficiado tanto de la falta de información de los organismos operadores como de la feroz publicidad de las ET, ya que éstas han crecido a la luz de estas empresas pero no representan ninguna competencia para ellas, ya que su mercado abarca principalmente a hogares de bajos y muy bajos ingresos, y se ubican principalmente en zonas marginadas.

Los hábitos de consumo de agua embotellada están muy arraigados, no distinguen nivel de ingreso, de estudios u ocupación, es masivo, pues aun en los hogares más pobres se consume. Se puede decir que entre las transnacionales y las purificadoras han creado una suerte de unificación para reforzar esta costumbre y mantener un mercado masivo de agua embotellada.

La proyección que consideramos es que tanto las ET como las purificadoras subsistirán aún por mucho tiempo, ya que suponiendo que cambien los hábitos de consumo, esto demoraría unos treinta años, que es más o menos el tiempo equivalente que tomó este hábito en arraigarse en los mexicanos.

¿Es posible revertir esta tendencia? La respuesta es sí, pero requiere de varios elementos. El primero es resolver el problema de la incertidumbre dando a conocer en cada localidad la calidad del agua potable que se distribuye en los hogares, ya sea en el recibo del agua, en los diversos medios de información y en las escuelas, entre otros. Es una labor a la que se resistirán ciertos organismos operadores por la falta de hábito de informar, intereses personales o hasta posibles arreglos fuera de la norma. La ciudadanía debe saber que tiene todo el derecho a estar informada por el simple hecho de tener una toma de agua y que los servidores públicos tienen la obligación de informar regularmente sobre la calidad de ésta.

En segundo lugar habría que difundir algunos incentivos poderosos para los consumidores, es decir, que conozcan con exactitud las cantidades de dinero que se ahorrarían si dejaran de comprar agua embotellada; campañas en los medios que mencionen el bajo costo del agua y la riqueza de tomar agua potable de la llave. En tercer lugar, el aprendizaje desde la escuela sobre la calidad del agua potable, su bajo costo y revalorar el agua de la llave para beber, se ha visto que los mejores promotores son los niños, además de que en general a los maestros e instituciones de educación la ciudadanía les tiene más confianza. Se requiere que la sociedad esté informada, y al estarlo, está empoderada en el sentido de exigir constantemente información y por tanto exigir mejor calidad del agua que recibe en sus hogares. Para lograr lo anterior se requiere un amplio programa de políticas públicas que refuerzen la certidumbre y la confianza en la calidad del agua de la llave a nivel nacional. Finalmente, contar con un instrumento de bajo costo y precisión, confiable y que mida la calidad del agua potable de la llave, como es la propuesta de la UAM, podría ser un instrumento que dé certeza al usuario.

Referencias

- Alpuche, E. (2015). "El actor, la organización y las instituciones: un enfoque alternativo" en *Institutionalismo y gobernanza. Actores y cultura en el cambio social*. México: UAM-I.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2010). *Encuesta Pulso Mercadológico*.
- Beverage Marketing Corporation (2011). *Global Water Market*, N.Y.
- Caballero, Gonzalo (2005). El comportamiento humano en las ciencias sociales: un enfoque institucional. En *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*, vol. 4, número 2, pp. 41-56.
- Encuesta telefónica sobre confianza en las instituciones (2014). Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP). Cámara de Diputados, México.
- Denzau, A.; North, D. (1994). "Shared Mental Models: Ideologies and Institutions" Center for the Study of Political Economy. *Kyklos International Review for Social Sciences*. Vol. 47: 1, pp. 3-31.
- Green, Joshua C. (2014). "The Bottled Water Industry in Mexico". Report presented to the Faculty of the Graduate School of University of Texas at Austin. Master of Global PolicyStudies. Disponible en: <http://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/26456>
- Montero, D. et al. (2011). *Encuesta sobre Hábitos de Consumo, Servicio y Calidad del agua por hogar en el Distrito Federal*, 2011. ICyTDF, México.
- Montero, D. (2015). *Transnacionales, gobierno corporativo y agua embotellada. El negocio del siglo xxi*. Ediciones del lirio-UAM-I, México
- Montero, D., (2019). *Instituciones y actores. Un enfoque alternativo para entender el consumo de agua embotellada*. Ed. UAM-Tirant Humanidades, México (En prensa)
- Perevochtchikova, María (2013). *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, Vol. 4 Núm. 1 enero-abril, México.

De la captación del agua a la disposición de las botellas. Los impactos ambientales del agua embotellada, identificados

Raymundo Sánchez Villavicencio

Introducción

El acceso al agua potable es tanto una necesidad como un derecho humano básico (UNICEF, 2017). Durante las últimas décadas, la demanda global de agua ha incrementado a un ritmo del 1% anualmente (WWAP, 2018) como resultado del crecimiento demográfico y los cambios en patrones de consumo mundiales. Esta tendencia creciente de demanda del líquido no tiene cambios previsibles en el futuro cercano, sin embargo, la disparidad en su acceso y su calidad, sí.

Con una disponibilidad promedio de 1,386 millones de km³ de agua en la tierra anualmente, la fracción de agua dulce accesible al ser humano, de sólo 0.77% (Agua.org, 2017), debe de dividirse cada vez entre más habitantes, generando mayor presión sobre los recursos hídricos.

El caso de México no es ajeno al escenario internacional, pues durante el último siglo la población ha experimentado un acelerado crecimiento. Para finales de la primera década del siglo se extraía una totalidad de 60.6 kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 11.1 kilómetros cúbicos se destinaban al abastecimiento urbano (Jiménez, 2010). El crecimiento de la población del país se mantendrá hasta el año 2050, lo que implica que tendrán que tomarse acciones para conseguir el suficiente recurso hídrico para abastecer a cada vez más personas, ya sea que provenga del actual uso agrícola o de alguna fuente distinta.

Más habitantes congregados en las zonas urbanas deben de recibir la dotación de agua que satisfaga sus necesidades elementales, sin embargo, la labor se vuelve cada vez más complicada, como ya se ha mencionado, por el incremento poblacional; pero también por la mala calidad del recurso: en nuestro país el 56% del agua no tiene buena (o excelente) calidad en términos de su DBO (Aguas.org, 2018^a). El diagnóstico general es que el agua debe repartirse entre más personas y, aunque su cantidad en el planeta y el país se conserva, su calidad, que se vuelve incompatible con el consumo humano, provoca que el recurso aprovechable se vuelva escaso.

Mientras que todas las cifras apuntan a restricciones de acceso al líquido más importante de todos, existe un usuario relativamente nuevo, una industria completa posicionándose dentro del

mercado mundial de bebidas, alcanzando, tan solo en México, un valor de más de 10 millones de dólares en 2013, con un crecimiento de 11.06% respecto al año anterior (Sánchez R., 2016.). El agua embotellada ha alcanzado un éxito incuestionable, superando las ventas de las bebidas carbonatadas (refrescos) en 2016 en Estados Unidos (Fortune, 2017), país que vio nacer la industria, como hoy la conocemos, hace ya treinta años.

La industria del agua embotellada se ha autodenominado un pequeño consumidor de agua (Nestlé, 2012), utilizando únicamente un 0.0009% del agua dulce disponible anualmente. Es, sin embargo, en este manejo de los números donde las embotelladoras se han vuelto expertas, pues es mucho menos alarmante un ínfimo porcentaje, que su equivalente de $9.6 \times 10^{10} \text{ m}^3$, suficientes como para mantener el funcionamiento del sistema Cutzamala a su máxima capacidad (Banco Mundial/Conagua, 2015) durante poco más de una semana ininterrumpida. Este tipo de manejo de la información, los procesos no publicitados por las embotelladoras y sus respectivos impactos son los que este artículo se encarga de mostrar.

Metodología

El presente documento ha sido generado para el “Foro problemas metropolitanos: Acciones para su atención. Temática agua” a partir de la tesis de licenciatura “Agua embotellada: identificación de impactos ambientales” de Sánchez R. (publicada en 2016), que funge como un análisis del estado del arte de la industria del agua embotellada a nivel mundial, actualizando la información necesaria y encaminándola a la generación de propuestas de políticas públicas que puedan atender el problema del impacto ambiental de la industria del agua embotellada en la Ciudad de México.

Discusión

Las campañas comerciales de las principales marcas de agua embotellada (E-Pura, de Pepsico; Bonafont, de Danone y Ciel, de Coca-cola (Sánchez, 2018; Sánchez R., 2016) se centran en los beneficios que el consumo del producto genera en la salud; y versan sobre la pérdida de peso, disminución del estrés, aumento de la concentración, mejoras de la autoestima, superación personal, empoderamiento de la mujer, entre otras.

Frases como “ama tu cuerpo”, “Siéntete ligera”, “Hidrátate y aligérate”, “Porque me ayuda a hacer lo que me gusta”, abarrotan mostradores en todo el país, presentando la acción del consumo de agua embotellada como una de *glamour*, posición social y conciencia sobre la salud (Sánchez R., 2016). Las embotelladoras llegan incluso a presentarse como empresas amigables con el ambiente, tomando acciones para hacer más eficiente su uso del recurso hídrico (Danone, sin fecha), sin mencionar que no hay mejora en la eficiencia de procesos internos de sus plantas que pueda

contrarrestar el inminente aumento de su producción bruta (Sánchez R., 2016). Así, el consumidor termina por adquirir un producto del cual no sabe prácticamente nada, salvo que es bueno para su cuerpo y ayuda al cuidado del planeta (aunque de formas no especificadas).

Esta imagen pública tan positiva no es accidental. Las relaciones públicas de las embotelladoras son tan importantes que Delgado (2014) afirma que, entre un 10% y 15% del precio de una botella de agua se destina a cubrir costos de publicidad.

En contraste con la buena imagen mediática del agua embotellada, que suele apoyarse en campañas encabezadas por celebridades populares, los detractores de las grandes industrias embotelladoras cuentan con una difusión menor, que se reduce a medios de comunicación alternativos y publicaciones académicas.

Obsérvese, entonces, que el único proceso promocionado por las grandes embotelladoras es el consumo del producto, que se reduce a la ingestión de éste. Acción que no tendrá efectos positivos más allá de aquellos asociados a la hidratación, que puede realizarse con agua de cualquier fuente, siempre y cuando ésta cumpla con ciertos estándares de calidad físicos, químicos, organolépticos, bacteriológicos y radiactivos.

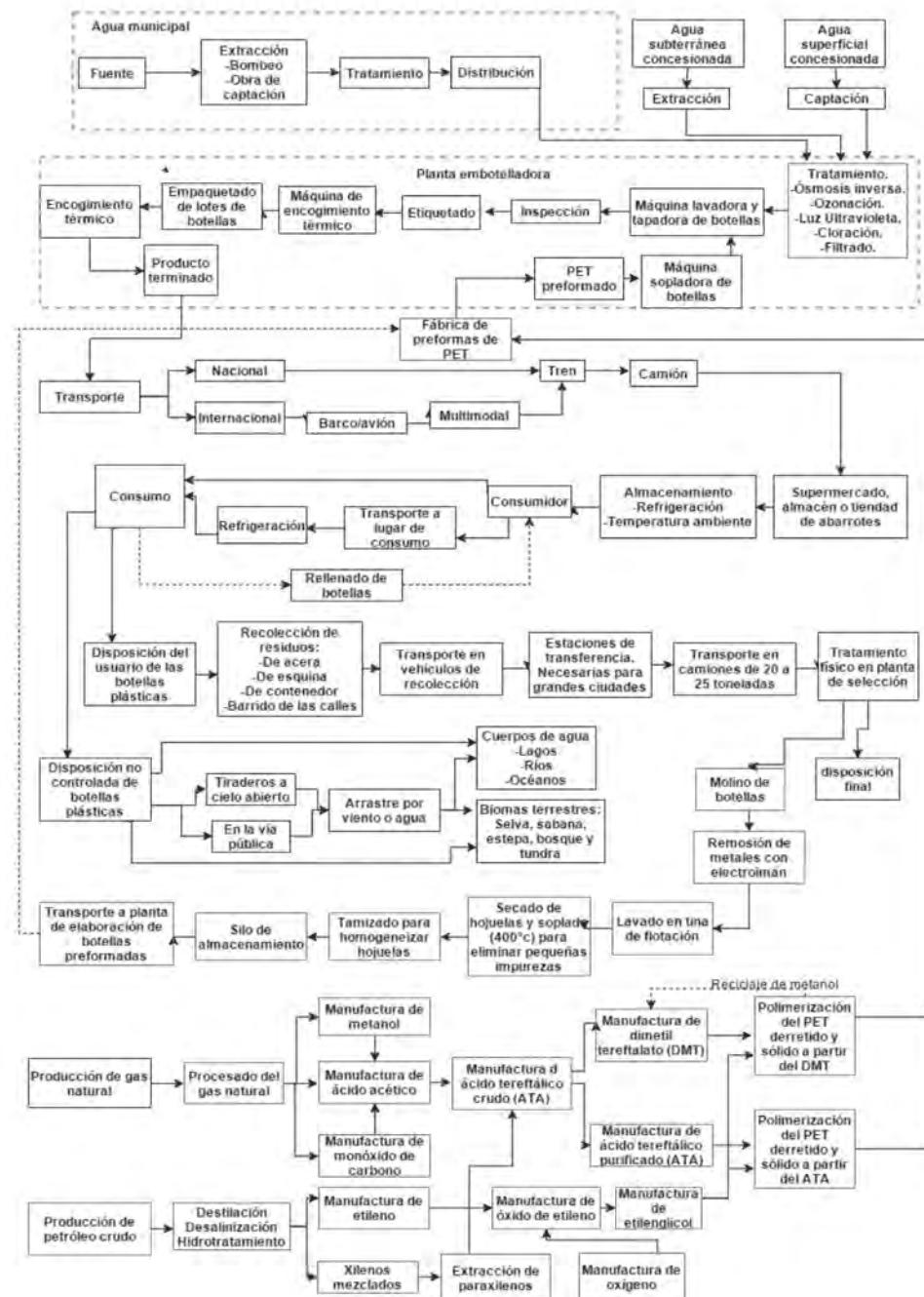
La acción de consumo, a pesar de ser la más importante para la persona que adquiere la botella de agua, es una entre cientos más, que se presentan en forma de un diagrama de flujo en la figura 1 (Sánchez R., 2016).

En la figura 1 se aprecia que el proceso de generación de una botella no es enteramente lineal, pues interactúa con los procesos de fabricación y obtención del plástico para las preformas (PET compactado que es termo-modelado en la embotelladora, de acuerdo a las necesidades del producto), el transporte nacional o internacional al salir los lotes de botellas de la planta embotelladora, los espacios de venta al público del producto terminado, la disposición controlada o no controlada del producto, los sistemas de residuos sólidos municipales, así como los sistemas, públicos o privados, de captación y tratamiento de agua. A lo largo del diagrama se observan diferentes procesos cíclicos, que mayormente se relacionan con etapas de producción donde se involucra el reúso o reciclaje de materias primas.

A partir de la definición de todos los procesos asociados a la industria del agua embotellada, y para lograr la elaboración de una matriz de identificación de impactos ambientales, se requiere la creación de un árbol de acciones. El árbol de acciones jerarquiza los procesos impactantes en fases, labores y acciones. Una labor es una de las grandes etapas involucradas en la producción de agua embotellada, mientras que una acción es la parte activa que interviene en la relación causa-efecto que define un impacto ambiental (Gómez, 2003) y es subsistema de una labor.

Las fases generalmente tienen un sentido cronológico: captación, tratamiento, empacado, etc. Las labores y acciones no, pues están asociadas a una cierta fase, y pueden, o no, tener relación con una subsecuente, mientras sean relevantes al proyecto, excluyentes, fácilmente identificables y cuantificables en la medida de lo posible.

FIGURA 1
Diagrama de flujo de los procesos genéricos asociados a la industria del agua embotellada a nivel mundial



Fuente: Sánchez R. (2018).

Las fases generalmente tienen un sentido cronológico: captación, tratamiento, empacado, etc. Las labores y acciones no, pues están asociadas a una cierta fase, y pueden, o no, tener relación con una subsecuente, mientras sean relevantes al proyecto, excluyentes, fácilmente identificables y cuantificables en la medida de lo posible.

A continuación (figura 2) se presentan las labores en las que se han contenido a todas las acciones involucradas con la producción del agua embotellada.

FIGURA 2
Labores asociadas a la producción de agua embotellada

-
- 1) Obtención de agua
 - 2) Embotelladora
 - 3) Transporte nacional e internacional
 - 4) Punto de venta
 - 5) Consumidor
 - 6) Disposición controlada y no controlada
 - 7) Reciclaje de PET
 - 8) Fabricación de PET
 - 9) Fabricación de preformas de PET
-

Fuente: elaboración propia.

Las labores arriba listadas se explican brevemente de la siguiente forma:

- Obtención del agua. Incluye todos los procesos asociados a la extracción y la captación de agua, de cualquiera de las fuentes que se utilizan por las embotelladoras (mayormente superficiales y subterráneas concesionadas y del suministro de agua municipal). Debido a que la potabilización está incluida en esta labor, se genera un vínculo con la industria química proveedora de los reactivos necesarios para este proceso.
- Embotelladora. Incluye todos los procesos asociados al empacado del agua purificada, así como el cambio de uso de suelo de los terrenos donde se instalan las naves industriales que se dedican a la labor. Debido a la escala global de este trabajo, no es posible cuantificar el impacto ambiental de este punto.
- Transporte nacional e internacional. Se refiere a todas las operaciones necesarias para llevar el producto empacado hasta su sitio de venta. Este transporte puede ser variado, tanto en los medios utilizados (barco, avión, tren, camiones de carga, etc.), como en la distancia recorrida (que puede ser de naturaleza local, interestatal o internacional, en el caso de las marcas de agua embotellada más costosas). El transporte genera un vínculo entre la industria del agua embotellada y la infraestructura necesaria para el movimiento de las mercancías.
- Punto de venta. Incluye la infraestructura, cambio de uso de suelo y necesidades energéticas requeridas para poner a disposición del público el producto terminado, ya sea en cadenas de supermercados, tiendas de conveniencia o locales ambulantes.

- **Consumidor.** Se refiere a las necesidades energéticas y de espacio (en caso de que la persona que compre la botella la refrigerue o almacene) del consumidor. Este consumidor puede también ser un intermediario que compre de tiendas más grandes con intenciones de reventa del producto.
- **Disposición controlada y no controlada.** Incluye los procesos inherentes a la gestión de residuos sólidos municipales que se requieren para el manejo de las botellas plásticas después de la labor de consumo, así como aquellos asociados a la disposición no controlada de las botellas (tiraderos a cielo abierto, la vía pública, cuerpos de agua y biomas terrestres).
- **Reciclaje de PET.** Esta labor abarca los procesos que van desde la preselección del material hasta su ingreso a la planta de elaboración de botellas preformadas.
- **Fabricación de PET.** Incluye todos los procesos de producción del tereftalato de polietileno, ya sea que se obtenga a partir del dimetil tereftalato o del ácido tereftálico purificado. Esta labor genera un vínculo con la industria petroquímica
- **Fabricación de preformas de PET.** Esta labor considera todas las acciones que se realizan en la fábrica de preformas de PET, previo a su ingreso a la planta embotelladora, donde se realiza el soplado de botellas.

Las acciones que se realizan en cada una de las labores descritas en la figura 2 se presentan de forma condensada en la figura 3, donde se precisa que algunas acciones son comunes a diferentes labores, lo que puede producir un efecto sinérgico al calificar su impacto ambiental. La figura 2 permite también apreciar la magnitud de las interconexiones e infraestructura requerida por la industria del agua embotellada.

Los alcances del estudio no permiten la cuantificación de los impactos ambientales de la industria del agua embotellada, pues en una escala global se han recurrido a acciones genéricas que podrían realizarse (o no) de una a otra embotelladora: desinfección con cloro o con ozono; compra de las preformas de PET a una empresa externa o fabricación de las preformas *in situ*, etc.

Para la elaboración de la matriz de impacto ambiental se requiere la generación de un inventario de factores ambientales y sociales, que son aquellos procesos, características, o componentes que definen el ambiente y pueden medirse (Garmendia, 2005). A diferencia del árbol de acciones, que fue elaborado expresamente para este trabajo, los factores ambientales pueden seleccionarse a partir de listas genéricas. De forma general, el catálogo de características impactables son físicas, biológicas o sociales.

Formalizadas las acciones impactantes y los factores ambientales impactables se genera la matriz de identificación de impacto ambiental, que se presenta aquí a nivel de las labores (ver figura 4).

La matriz generada es de tipo causa-efecto y consta de un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes, y, dispuestos en filas, los factores medioambientales susceptibles de impactos. El cruce entre columnas y filas define el posible impacto ambiental generado.

FIGURA 3
Acciones de la industria del agua embotellada y su relación con las labores presentadas en la figura 2

Acción	Realizada en la labor
Abastecimiento de agua y saneamiento	2, 4, 5, 7, 8 y 9.
Alteración de la corteza terrestre y vegetación	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9.
Construcción de vías férreas	3.
Desvío y canalización de cauces	1 y 3.
Ruido	1, 2, 3, 6, 7, 8 y 9.
Vertidos	6 y 8.
Explotación de acuíferos	1.
Uso de maquinaria pesada	1, 3, 6, 7, 8 y 9.
Perforaciones profundas	1 y 8.
Excavaciones	1, 3 y 6.
Pavimentación y recubrimiento de la superficie	1, 3, 4, 7, 8 y 9.
Tráfico marítimo	3.
Plantas de tratamiento de materiales	7 y 8.
Marketing	4.
Compra-venta del producto	4 y 5.
Consumo de agua embotellada	5.
Suministro de energía eléctrica	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.
Industria química	1, 7, 8 y 9.
Operación de instalaciones	1, 2, 4, 6, 7, 8 y 9.
Tráfico aéreo	3.
Pepena informal	6.
Tráfico terrestre	2, 3, 4, 5, y 6.
Construcción de aeropuertos	3.
Construcción de puertos	3.
Construcción de vías terrestres	1, 3, 5, y 6.

Fuente: elaboración propia.

Los impactos ambientales encontrados se señalan con un punto. Las filas con mayor cantidad de puntos reflejan un factor ambiental ampliamente afectado. Los factores ambientales y sus impactos se acompañan por un juicio, que transita desde lo positivo hasta lo severo, pasando por aquellos que son compatibles (o aceptables) y moderados (hasta dos puntos: compatible; de tres a seis: moderado y de 7 a 10 puntos: severo).

La matriz de la figura 4 cuenta con “impactos de difícil determinación”, que han sido así denominados, ya sea porque la escala de análisis no permite su correcta adjetivación o porque su evaluación entra en el terreno de las ciencias sociales, con juicios morales que requieren un análisis meticuloso, ajeno al enfoque del análisis de impacto ambiental (Delgado abunda el tema de manera sobresaliente en su publicación de 2014).

FIGURA 4
Matriz de identificación de impactos ambientales para la industria del agua embotellada a nivel de labores

		Labores								Juicio
		Obtención de agua	Embotelladora	Transporte nacional e internacional	Punto de venta	Consumidor	Disposición	Reciclaje de PET	Fabricación de PET	
Físicas	Suelo	•	•						•	Moderado
	Agua	•	•						•	Moderado
	Aire	•	•	•	•	•	•	•	•	Compatibile
	Flora	•	•	•	•	•	•	•	•	Moderado
	Fauna	•	•	•	•	•	•	•	•	Severo
	Ecosistemas	•	•	•	•	•	•	•	•	Compatibile
	Uso de suelo	•	•	•	•	•	•	•	•	Severo
	Patrimonio	•	•	•	•	•	•	•	•	Moderado
	Sociedad	•	•	•	•	•	•	•	•	Severo
		•	•	•	•	•	•	•	•	Positivo
		•	•	•	•	•	•	•	•	Difícil determinación
		•	•	•	•	•	•	•	•	Positivo

Fuente: Sánchez R. (2016).

De la matriz de impactos ambientales a nivel de labores, pueden ser observadas algunas de las siguientes conclusiones:

- El agua embotellada tiene un impacto positivo en la generación de infraestructura, necesaria para hacer llegar el producto a los distintos puntos de venta, esto a nivel local y global.
- A nivel global, el efecto en la generación de empleos es positivo, pues miles de personas forman parte de la plantilla laboral de las embotelladoras.
- La acción de consumo resulta ser un proceso muy pequeño en relación con el universo de acciones involucradas, desde la captación del agua hasta la fabricación de las preformas de PET.
- El agua embotellada afecta la disponibilidad del agua, la calidad del aire, la diversidad de flora y fauna, la calidad de los ecosistemas, el uso de suelo urbano y el patrimonio paisajístico y cultural de forma severa.

A pesar de que se generan empleos e infraestructura, éstos son pocos en comparación de la población total afectada (llámanse pueblos afectados por el agotamiento de mantos acuíferos, llámanse ciudadanos que deben de pagar la recolección de los desechos generados por el agua embotellada a través de sus impuestos) (Schnell, 2012).

Rumbo a una política pública que disminuya los efectos ambientales negativos del agua embotellada

Con un consumo de un millón de botellas de plástico por minuto (ONU, s.f.) de las cuales sólo se recicla el 9% del plástico (Aguas.org, 2018b) es imposible pensar que la esfera ambiental de la sostenibilidad está involucrada (aunque no hay que perder de vista que se trata de un lucrativo negocio del cual un puñado de personas se beneficia a manos llenas). Ante la evidencia de que nos enfrentamos a un producto dañino para nuestro medio, una vez identificados sus impactos, la pregunta a hacer es ¿Cómo amortiguarlos?

Aunque no se ha llegado a una solución integral a la pregunta antes planteada, sí se han tomado acciones en distintas partes del mundo y a distintas escalas para mitigar los impactos de este producto. A continuación se mencionan dos casos de éxito, el primero, una comunidad rural y, el segundo, una gran ciudad.

La ciudad de Bundanoon en Australia fue el primer lugar del mundo en donde se prohibió el agua embotellada. En junio de 2009, el pequeño pueblo rural de 2000 habitantes votó a favor de la prohibición de las botellas de agua en vísperas de la instalación de una empresa de agua embotellada que extraería el recurso de la localidad para llevarlo a la ciudad de Sídney (Fullerton, 2018). Parte del éxito de este movimiento prohibicionista fue la intensa campaña educativa en torno a la protección del medio ambiente, mientras que otro tanto se debió a la demostración de

que, casi de forma inmediata, la población comenzó a observar que existía un ahorro monetario (The australian, 2009).

La alternativa de Bundadoon al agua embotellada, una vez prohibida su venta en la localidad, fue la comercialización de botellas de plástico no desechables y la colocación de tres fuentes públicas donde llenar las botellas. A pesar de que la prohibición no es de carácter obligatorio (en términos penales o fiscales), todos los comerciantes de la ciudad se añadieron al movimiento, colocando filtros de agua en sus comercios para facilitar aún más el acceso al recurso (Fullerton, 2018).

Siete años después de la prohibición pionera realizada en Bundadoon, la ciudad de San Francisco, en Estados Unidos, siguió los pasos del pequeño pueblo. Comenzando en el año 2014 con la prohibición del agua embotellada en espacios gubernamentales. En la actualidad, la prohibición se extiende a todos los espacios públicos y eventos masivos. Ante la prohibición, sus auspiciantes observaron que algunos vendedores que se vieron afectados comenzaron a introducir agua en diferentes empaques como latas, botellas de vidrio y cajas (también de un solo uso), por lo que la acción fue extendida e impedir la venta de cualquiera de estos contenedores en instancias de gobierno (Fullerton, 2018; Levin, 2017). En el caso de San Francisco, la estrategia consistió en regresar a los consumidores al agua de la red pública (que previamente era la forma de hidratación dominante en E.U.), pues la ciudad tiene agua de excelente calidad y es posible su consumo directo del grifo (Levin, 2017), además de la aplicación de multas que pueden alcanzar los mil dólares (Fullerton, 2018).

Atendiendo los dos casos exitosos de prohibición del agua embotellada es posible formular una propuesta para el control del agua embotellada en la Ciudad de México, reconociendo los puntos en común y diferencias con los casos de Bundadoon y San Francisco. La capital de nuestro país no puede darse el lujo, como hizo San Francisco, de regresar a los usuarios al consumo de la red municipal, pues su imagen está comprometida y es la razón de que la mayor parte de la población se incline al consumo de garrafones (una forma de agua embotellada) (Sánchez, 2016; Aguas.org, 2018b).

En vista del desprecio de la red pública, es necesario atraer al usuario garantizando un agua de calidad superior a través de la inclusión de infraestructura que sugiera o utilice un tratamiento superior al convencional (como filtros de arena o carbón activado). Esto no resulta nuevo en la Ciudad de México, en marzo de 2015 el gobierno capitalino entregó en 16 alcaldías un total de 230 bebederos (con un costo de poco más de 50 mil pesos cada uno), mismos que al día de hoy están abandonados y vandalizados casi en su totalidad (Mendoza, 2018), lo que se traduce en un gasto millonario con efectos nulos en la reducción del consumo de agua embotellada, e incluso en un aumento al rechazo del ya despreciado sistema de aguas regionales (aunque cabe mencionar que la administración de los bebederos corresponde a cada alcaldía y no al sistema de aguas de la ciudad). En este sentido es necesario establecer de forma transparente y oportuna las responsabilidades de la administración de fuentes o bebederos para evitar la repetición del incidente.

Una estrategia eficiente y aplicable en la Ciudad de México sería la reparación de los bebederos hoy abandonados, realizando campañas que acerquen a la población a este medio de hidratación. Es imposible que los habitantes de la ciudad se acerquen a un servicio del cual no tienen conocimiento pues su divulgación ha sido casi nula. Una vez siendo funcionales los bebederos

sería posible comenzar la prohibición del agua embotellada en demarcaciones bien definidas donde, por particularidades culturales y socioeconómicas, podría esperarse la aceptación de la mayoría de la población, misma que además sería receptora de intensas campañas de educación ambiental. En este tenor, y con el objetivo de hacer efectiva la prohibición del agua embotellada en un núcleo urbano como la Ciudad de México, se comenzaría a evaluar la naturaleza y monto (de tratarse una multa económica) de las infracciones que ocasionaría no acatar la veda del producto. Sin duda se trata de un movimiento ambicioso en una ciudad donde el 98% de la población consume agua embotellada (Aguas.org, 2018b). Sin embargo, a pesar de que las dificultades son muchas, es posible convertir a la ciudad en punta de lanza de los esfuerzos mundiales para lograr la reducción en la generación y la disposición de botellas de plástico de un solo uso.

Conclusiones

La imagen cotidiana de anaqueles abarrotados de botellas de agua de diferentes tamaños y marcas se ha vuelto una realidad que hace treinta años habría sido impensable. Mientras que el cuidado de la salud a través de la adecuada hidratación aumenta, también lo hace la industria del agua embotellada, misma que se posiciona como un lucrativo negocio que comercia con uno de los recursos máspreciados para el ser humano. El agua embotellada se promociona como una alternativa saludable, asequible y amigable con el medio ambiente, a través de campañas publicitarias que omiten cientos de acciones altamente impactantes, de las que la producción, consumo y disposición del agua embotellada son directas responsables.

En este documento se ha demostrado, a través de la identificación de las labores e impactos ambientales del agua embotellada, que ésta no es una industria que pueda definirse como sostenible, y el cambio de un esquema tradicional de abastecimiento de agua a uno basado en este producto resulta dañino debido a la enorme cantidad de desechos sólidos que se producen, así como a los innumerables procesos que están asociados a todas sus labores. En el corto plazo, la instalación y seguimiento de infraestructura pública urbana que facilite la hidratación deriva en una acción que ha resultado efectiva en ciudades pioneras donde el agua embotellada ha sido prohibida. La dificultad agregada para la Ciudad de México es que estos esfuerzos ya se han realizado para ser luego abandonados.

Es posible revertir el alto consumo de agua embotellada en la ciudad de México si se adaptan acciones como las que han sido tomadas por las ciudades de Bundaloon y San Francisco y se complementan con las necesarias campañas de educación ambiental que concienticen a la población de la necesidad de un cambio de paradigma en el asunto. La solución a largo plazo es proveer un suministro público que cumpla con las normatividades de agua para consumo humano nacionales, de forma que el agua del grifo se convierta en una alternativa económicamente atractiva para el consumidor. Muchos y muy grandes intereses económicos giran en torno a la industria del agua embotellada, sin embargo, es menester recordar que dichos intereses particulares no pueden ponerse por encima del cuidado de los recursos naturales de nuestro planeta y del interés y bienestar de la mayoría.

Referencias

- Agua.org (2017). *Agua en el planeta, ¿Cuánta agua hay en el planeta?* México, Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. C. Sitio web: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- Aguas.org (2018^a). *Situación y contexto de la problemática del agua en México.* México, Consejo Consultivo del Agua, A. C. Sitio web: www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnostico-del-agua (revisado el 3 de abril de 2019).
- Aguas.org (2018b). *México principal consumidor de agua embotellada a nivel mundial; tres de cada cuatro hogares la adquieren.* México. México, Consejo Consultivo del agua, A. C. Sitio web: <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/blog/noticias/item/1379-mexico-principal-consumidor-de-agua-embotellada-a-nivel-mundial-tres-de-cada-cuatro-hogares-la-adquieren> (revisado el 4 de abril de 2019)
- Banco mundial & Conagua. (2015). *Cutzamala, diagnóstico integral.* Estados Unidos. Banco Mundial/Comisión Nacional del Agua.
- Cullen J. (2014). *The Bottled Water Industry in Mexico.* Estados Unidos, Universidad de Texas.
- Danone (sin fecha). *Protección a las fuentes de agua. Proteger el agua es vital.* Danone Sitio web: <http://grupodanone.com.mx/innovacion-social/proteccion-del-medio-ambiente/proteccion-a-las-fuentes-de-agua.aspx> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- Delgado C. et al. (2014). *Apropiación de agua, medio ambiente y obesidad. Los impactos del negocio de bebidas embotelladas en México.* México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Espinosa, E. (2015). ¿Qué marca de agua toman más los mexicanos? México. *Revista Dinero en imagen.* Sitio web: <https://www.dineroenimagen.com/2015-02-25/51491#view-1> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- Fortune. (2017). Americans are now drinking more bottled water than soda. Estados Unidos. *Revista Fortune.* Sitio web: <http://fortune.com/2017/03/10/soda-tax-bottled-water-americans/> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- Fullerton, K. (2018). Welcome to Bundanoon, Australia: the world's first bottled water free town. *Australia, Sense and Sustainability.* Sitio web: <http://www.senseandsustainability.net/2018/01/16/9801/> (revisado el 3 de abril de 2019).
- Garmendia, A. (2005). *Evaluación de impacto ambiental.* España, Pearson educación.
- Gómez D. (2003). *Evaluación de impacto ambiental, 2^a edición.* Mundi-Prensa, España.
- Jiménez, B., et al. (2010). *El agua en México: cauces y encauces.* México, Academia exicana de ciencias.
- Levin, S. (2017). How San Francisco is leading the way out of bottled water culture. Estados Unidos, *The Guardian.* Sitio web: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/how-san-francisco-is-leading-the-way-out-of-bottled-water-culture> (revisado el 4 de abril de 2019).
- Mendoza, D. (2018). Secos, bebederos y fuentes de la CDMX. *Crónica.* México. Sitio web: <http://www.cronica.com.mx/notas/2018/1061652.html> (revisado el 4 de abril de 2019).

- Nestlé (2012). *Nestlé denounces the lack of objectivity in Bottled Life*. Nestlé Sitio web: <https://www.nestle-waters.com/media/mediainformation/press-releases/nestle-denounces-the-lack-of-objectivity-in-bottled-life> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- ONU (Sin fecha). *Día mundial del medio ambiente*, 5 de junio. Organización de las Naciones Unidas/ONU Medio Ambiente. Sitio web: <https://www.un.org/es/events/environmentday/ntday/> (revisado el 4 de abril de 2019).
- Sánchez, R. (2016). *Agua embotellada: identificación de impactos ambientales*. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, S. (2018). Las ventas de las refresqueras aumentan... gracias al agua. México. *Revista Expansión*. Sitio web: <https://expansion.mx/empresas/2018/03/28/las-ventas-de-las-refresqueras-aumentan-gracias-al-agua> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- Schnell, U. (2012). *Bottled life: Nestle's business with water*. (Documental). Suiza
- The Australian (2009). Bundanoon in 'world-first' ban on bottled water. *Periódico The Australian*. Sitio web: <https://www.theaustralian.com.au/news/nation/bundanoon-in-world-first-ban-on-bottled-water/news-story/03d20a2496881eafa9510b3fdf019b36> (revisado el 3 de abril de 2019).
- UNICEF (2017). *Drinking Water*. Fondo de Las Naciones Unidas para la Infancia. Sitio web: <https://data.unicef.org/topic/water-and-sanitation/drinking-water/> (revisado el 26 de agosto de 2018).
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) (2018). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, UNESCO.

Capítulo 4

Manejo integral del agua

Repensando la planeación: de lo urbano a la integridad de la Cuenca

Helena Cotler Ávalos

Introducción

Las cuencas hidrográficas¹ nos proporcionan servicios ecosistémicos esenciales para nuestro bienestar. La estructura de las cuencas, en términos de su composición geológica, de suelos, vegetación e hidrología, proporcionan servicios como: (a) la regulación climática, a través de la captura de CO₂ por la vegetación y los suelos, el incremento de la humedad atmosférica, los cambios en el albedo; (b) la regulación hidrológica, a través de la regulación de regímenes de caudales requeridos para mantener el hábitat de especies acuáticas, la regulación de la calidad y la cantidad de agua, la disminución de los picos de caudales causantes de inundaciones o sequías; (c) la regulación de la erosión hídrica, permitiendo la formación de suelos, manteniendo los nutrientes in situ, disminuyendo la carga de sedimentos y contaminantes en cuerpos de agua, incrementando la infiltración y la posibilidad de recarga y disminuyendo los riesgos de deslizamientos en laderas. Esta gran diversidad de servicios ecosistémicos que proporcionan las cuencas posibilita la producción de alimentos y fibras, así como la provisión de servicios culturales y estéticos.

Sin embargo, día tras día alteramos las condiciones de las cuencas, a través del cambio del uso de suelo. La remoción de la cobertura vegetal altera el equilibrio entre los procesos de infiltración y escorrentía, acentuando este último, y al dejar al suelo con menos protección se incrementan los procesos de erosión hídrica. Estos cambios disminuyen la integridad de una cuenca, entendida ésta como su capacidad para sostener y mantener un amplio rango de procesos y de funciones ecológicas, esenciales para la sustentabilidad de la biodiversidad y de los servicios que provee a la sociedad (Flotermersch *et al.*, 2015).

¹ Las cuencas hidrográficas son territorios delimitados por un parteaguas donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común, que puede ser un lago (cuenca endorreica) o el mar (cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes). También se caracterizan por las interacciones entre aguas superficiales y flujos subterráneos.

El agua es un servicio ecosistémico excepcional, indispensable para la vida, un bien cultural y ambiental, resultado de la dinámica ecosistémica presente en la cuenca y entre las interacciones de los cuerpos superficiales y subterráneos. A nivel mundial, la calidad y la cantidad de servicios ecosistémicos generados por las cuencas están disminuyendo, y con ello la provisión de agua, debido a los cambios acelerados de uso del suelo, el intenso consumo del líquido y el cambio climático (Farber *et al.*, 2002).

En México, las cuencas también presentan una grave situación de deterioro. En términos de su integridad, el 66% de ellas presentan un grado de deterioro que va de alto a extremo en su funcionamiento, debido a la fragmentación de ríos y el deterioro de zonas riparias, la contaminación potencial difusa, la degradación de sus suelos, el cambio de uso del suelo y la presión sobre los recursos hídricos (Cotler *et al.*, 2010). Por otro lado, la degradación de las condiciones ecológicas de las cuencas obliga hoy en día a 81% de la población mexicana a vivir en cuencas donde el grado de alteración de los ríos fluctúa entre medio a muy alto (Cuadro 1). Es decir, en ámbitos donde los ríos llevan agua de baja calidad, con caudales alterados y fragmentados por presas, diques o canales, cargados de sedimentos y contaminantes por procesos de erosión, por el uso de pesticidas para la agricultura y de compuestos tóxicos provenientes de la industria.

CUADRO 1
Población distribuida en cuencas, según su grado de alteración ecohidrológica
(Garrido *et al.*, 2010)

Alteración ecohidrológica	Número de cuencas ⁽¹⁾	Población total (%)
Muy alto	7	52
Alto	22	29
Medio	52	12
Bajo	88	5
Muy bajo	224	2

⁽¹⁾ Corresponde a cuencas regionalizadas.

Fuente: Cotler, 2010.

Esta situación también se refleja en el Índice Global de Sustentabilidad Hídrica que “mide la forma en que se realiza la gestión de los recursos hídricos para lograr la sustentabilidad en las cuencas y acuíferos del país y garantizar la seguridad hídrica”² cuya línea base se estableció en 0.552, e incrementó a 0.582 (2016), aunque siempre por debajo de la meta planeada. Sin embargo, al ser un índice donde se integran 18 variables, es difícil identificar con precisión cuales son las variables con mayor rezago.

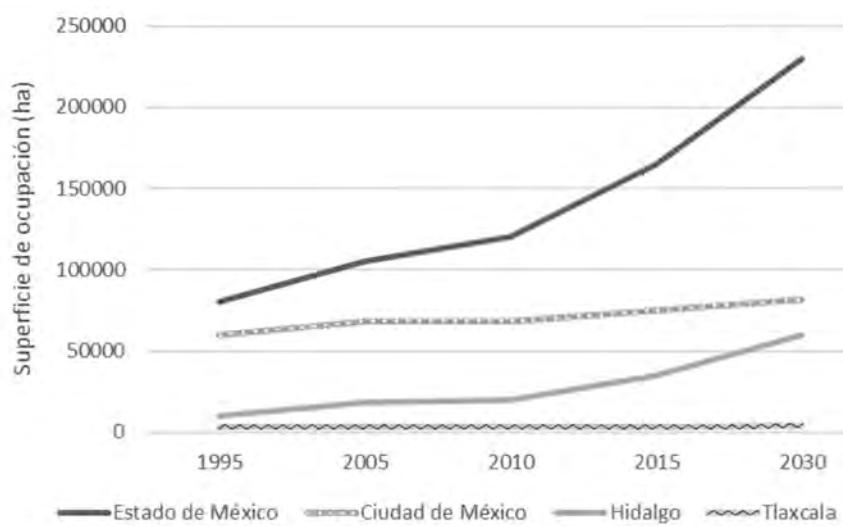
² <http://sistemas.coneval.org.mx/SIMEPS/IndicadorSectorial.aspx?id=108&idIndicador=10>

La Ciudad de México y su Cuenca

La cuenca de México era un sistema altamente diverso, con una gran heterogeneidad de paisajes, de hábitats y de especies vegetales y animales, pero con el tiempo el crecimiento de la población llegó a rebasar su productividad y, por lo tanto, su capacidad de sustento (Ezcurra, 1992), haciéndola fuertemente dependiente de ecosistemas fuera de la cuenca. El crecimiento de la ciudad ha desbordado los límites de su división política y ha generado una zona conurbada con los Estados vecinos, principalmente Hidalgo y el Estado de México. Esta conurbación ha originado una de las metrópolis más grandes del mundo, con una población superior a los 20 millones de personas que coexisten en un área aproximada de 9700 km² que comprende la cuenca de México. Esta población se distribuye de manera desigual en el territorio de la cuenca, donde 1.5% de la población está asentada en la parte alta (correspondiente a las montañas), 39.54% está asentada en la parte media (piedemontes, cañadas, laderas) y 58.94% en la parte baja (zonas lacustres, planicie). En estas tres zonas hay presencia de paisajes rurales, caracterizados por bosques, pastizales, ganadería y agricultura periurbana. En las zonas altas y medias, estas actividades son dominantes, mientras que en la zona baja estas actividades han quedado encerradas dentro de la ciudad.

De acuerdo con la superficie total de la mancha urbana al año 2015 en la cuenca de México, el Estado de México presenta la mayor área ocupada por asentamientos humanos, seguido de la CDMX, Hidalgo y Tlaxcala. La expectativa para el año 2030 es que la mancha urbana abarque un área equivalente al 38.8% de la superficie total de la cuenca (Corona, 2016).

FIGURA 1
Superficie de ocupación en los cuatro estados que conforman la Cuenca de México



Fuente: Corona, 2016.

Dentro de la ciudad, los parques, jardines y espacios públicos están desapareciendo a una tasa anual de 3.7% (Ezcurra *et al.* 2006), aunque “de continuar la tendencia de pérdida del capital natural en la ZM de la CDMX y teniendo en cuenta las dinámicas poblacionales y de expansión de la mancha urbana, para el año 2030 las áreas arboladas habrán disminuido 7.1% con respecto al 2000 (Núñez, 2016). El modelo de crecimiento de la ciudad, a través de la expansión urbana, tiene impactos importantes en el ciclo hidrológico, ya que al sellar la superficie del suelo se producen cambios en el albedo, la conductividad térmica, la humedad del suelo, afectando la posibilidad de infiltración y recarga.

El agua, principalmente el sistema lacustre, ha sido el fundamento biofísico y el motivo social de la construcción de lo que actualmente es la Ciudad de México. Desde la Conquista, la configuración lacustre de la cuenca se ha ido transformando, con mayor intensidad y extensión en las últimas décadas. Hoy en día, apenas quedan huellas, relictos del paisaje original. En esta nueva configuración, el agua sigue estando presente en las preocupaciones diarias, aunque ahora por su exceso o su ausencia a lo largo del año. La Ciudad de México presenta una disponibilidad de agua de 74 m³/habitante/año, siendo la región con la más baja disponibilidad de agua *per cápita* y la densidad de población más alta del país (Conagua, 2012a). La fuente principal de agua potable a la ciudad es agua subterránea (Conagua, 2012b).

Por otro lado, el sistema Cutzamala constituye la principal fuente de agua superficial. Sin embargo, la degradación ambiental de sus cuencas de captación, los altos requerimientos de energía y los permanentes conflictos sociales hacen que este sistema sea la fuente Ciudad de México con la más alta vulnerabilidad. Lo cual a decir de Escolero *et al.* (2016) “apunta a la necesidad de un cambio de paradigma en la planeación de futuras fuentes”, resaltando que “los mismos procesos climáticos, sociales y ambientales que están disminuyendo la disponibilidad de agua entregada por esta fuente, podrían afectar los demás proyectos de importación de otras cuencas y aún a mayor costo”.

El sistema Cutzamala, compuesto de presas y acueductos, transporta agua a lo largo de 127 kilómetros hacia la ciudad (Conagua/IMTA, 2006). El requerimiento anual de energía necesario para operar el sistema es de aproximadamente 1787 millones de kWh. La energía consumida para bombear el volumen total de agua desde el sistema sólo hasta la planta de tratamiento equivale a la energía que consume la ciudad de Puebla, con una población de 8.3 millones de habitantes (Legorreta *et al.*, 1997).

El consumo de agua en la Ciudad es muy desigual, desde 28 L/hab/día en algunos asentamientos irregulares a 275 y 410 L/hab/día en sectores medios y en los sectores de máximos ingresos entre 800 y 1000 L/hab/día (Legorreta *et al.*, 1997). Sin embargo, estos

consumos deben tomarse con reservas debido a que toman en cuenta valores de macro medición y no consumos reales (Escolero *et al.* 2016).

La sobreexplotación de agua ha causado un hundimiento del terreno (de 6 a 30 cm al año; Escolero *et al.*, 2016) que constituye un grave problema ambiental de la ciudad y pone en riesgo la infraestructura hidráulica y es una de las causas de los altos porcentajes de fugas de agua. Esta situación se exacerba ante la tendencia hacia 2050 de los escenarios de cambio climático que

indica que la disponibilidad de agua disminuirá entre 10 y 17% para las áreas de captación del sistema Cutzamala, Lerma y el acuífero de la ZMVM (Escolero *et al.*, 2009).

El deterioro ambiental se ha ido acumulando y agudizando a medida que la población ha crecido y la urbanización ha reemplazado paisajes y hábitats fundamentales para la provisión de servicios ecosistémicos. Una de las características notables actuales de la ciudad es el alto grado de dependencia de otros ecosistemas. Ni la ciudad ni la cuenca de México son autosuficientes. Dependen cada vez más de la importación de bienes provenientes de distintas regiones del país, y de esta manera el crecimiento de la ciudad representa un grave costo ambiental para el resto del país (Ezcurra 1992). Además de que dependemos de fuentes de agua externa, como el sistema Cutzamala, que de por sí altamente vulnerables (Escolero *et al.*, 2016).

A pesar del crecimiento exponencial de la zona urbana de la cuenca de México, ésta aún presenta paisajes diversos que ofrecen oportunidades de seguir proveyendo servicios ecosistémicos. Desde las laderas de montañas distribuidas a lo largo de la sierra de las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin, con sus bosques de encinos, juníperos y pastizales más los suelos no sellados de barrancas (Cotler, 2016 y Cram *et al.*, 2007), a planicies de Tláhuac, chinampas de Xochimilco y suelo de conservación aún no habitado, hasta zonas rurales de las faldas del Iztaccíhuatl-Popocatépetl y relictos de lagos distribuidos a lo largo de la cuenca (Figura 2). Estas áreas cumplen un rol fundamental ya que están ligadas a las zonas de recarga del acuífero y los manantiales que abastecen a la CDMX. Estos ecosistemas controlan la renovación del agua a través de su participación en los procesos de escorrentamiento, de evaporación, de infiltración y de recarga.

FIGURA 2

De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Bosques de coníferas en la subcuenca del río Magdalena, agricultura de temporal en el Corredor biológico Chichinautzin, chinampas de Xochimilco, “tablas” en Tláhuac





Fotos: Helena Cotler.

Repensando la planeación

La planeación o planificación es un ejercicio permanente e iterativo, en tanto “desarrolla sus planteamientos y propuestas a través de sucesivas aproximaciones, proponiendo, verificando y retroalimentando las proposiciones iniciales” (Soms, 1995); al incorporar la temporalidad futura, en la que se sitúa la planificación, se puede definir “como la aplicación sistemática del conocimiento humano para prever y evaluar los cursos de acción alternativos con vistas a la toma de decisiones adecuadas y racionales, que sirvan de base para la acción futura” (Siedenberg, 2010).

En la Ciudad de México, la planeación se realiza a través de diversos programas. Entre ellos podemos mencionar el Programa General de Desarrollo Urbano que es un instrumento para orientar el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial de la Ciudad de México, que determina la política, la estrategia y las acciones del desarrollo urbano. Por otro lado, el programa general de ordenamiento ecológico constituye un instrumento rector para el desarrollo de actividades que se instrumentan en el suelo de conservación.

Sin embargo, la planeación urbana y rural, a través de estos instrumentos, no considera al recurso hídrico. Este se encuentra gestionado a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), que junto con Conagua imponen un enfoque dominante hidráulico.

El divorcio entre la gestión hídrica, con una visión hidráulica, independiente de la planeación del territorio ha causado que, en las últimas décadas, “la ciudad de México transformó sus acequias en túneles, sus canales en drenajes, sus ríos en avenidas y sus viaductos en dobles pisos” (Legorreta, 2006). La práctica consuetudinaria de transformar los ríos en canales para desalojar aguas residuales, en las barrancas, los convierte también en tiraderos de basura con los consecuentes problemas de salud, presencia de roedores y afectación generalizada de la calidad de vida. Actualmente todos los indicadores hídricos (cantidad, calidad y distribución del agua), de

áreas verdes, de hundimientos, de erosión de suelos, de calidad de aire, de salud ambiental en general se encuentran en un estado crítico, tanto en la ciudad como en la cuenca de México. La viabilidad de esta ciudad requiere definir límites al deterioro ambiental a través de políticas integrales de planeación. Con la implementación de la nueva constitución de la Ciudad de México se presentan nuevas oportunidades. Me referiré a cuatro temas que plantea este ordenamiento jurídico: el ordenamiento territorial, la gestión sustentable del agua, la regulación del suelo y el desarrollo rural sumado a la agricultura urbana.

En relación al ordenamiento territorial, la Constitución plantea que “Las autoridades adoptarán medidas para garantizar la recarga de los acuíferos, la conservación de los bienes naturales, el incremento de áreas verdes, [...] y la resiliencia ante fenómenos naturales” impidiendo la deforestación, la destrucción de humedales y la contaminación de aire, agua, suelo.

En relación con la gestión sustentable del agua se menciona que la política hídrica garantizará:

- a) La preservación, restauración y viabilidad del ciclo del agua.
- b) La conservación, protección y recuperación de las zonas de recarga de los acuíferos, de los cuerpos de agua, humedales, ríos, presas y canales, así como la inyección de aguas al subsuelo.

El servicio público de potabilización, de distribución, de abasto de agua y de drenaje será prestado por el gobierno de la ciudad a través de un organismo público y coordinará las acciones de las instituciones locales con perspectiva metropolitana y visión de cuenca. Para la regulación del suelo se menciona que el Gobierno de la Ciudad es responsable del ordenamiento sustentable del territorio de la Ciudad y, en forma concurrente, del entorno regional, considerando la eficiencia territorial y la minimización de la huella ecológica. De igual manera, se definirán las áreas estratégicas para garantizar la viabilidad de los servicios ambientales.

Finalmente, en las zonas rurales se preservarán el equilibrio ecológico, los recursos naturales y los servicios ambientales que prestan. Para conciliar el interés productivo y el medioambiental, se diseñarán políticas e instrumentos.

De esta manera, los instrumentos y leyes que se deriven de la Constitución deberán buscar integrar la planeación del territorio con una gestión hídrica pública que conserve las zonas de recarga y fortalezcan la resiliencia hídrica, con una perspectiva de cuenca. La utilización de este último término tiene implicaciones radicales en relación con la manera como visualizamos la ciudad. La perspectiva de cuenca debe considerar tanto una ocupación y manejo diferenciado del territorio, respetando las funciones ecológicas geográficamente diversas que proporciona la cuenca, como la conexión física que a través de ríos, barrancas y cañadas ocurre naturalmente en una cuenca (Figura 3).

FIGURA 3

**Conexión entre las zonas montañosas y la ciudad a través de barrancos y cañadas:
perspectiva de cuenca**



Fuente: Corona, 2016.

Actualmente el PGOEDF perdió vigencia. Su actualización aún no ha sido posible debido a la complejidad y nivel de detalle del programa, así como a la falta de compatibilidad con el programa de desarrollo urbano (Azuela, 2007). También se cuentan con otros instrumentos, que, sin ser vinculantes, ofrecen información importante para la planeación del territorio, a saber, la estrategia de resiliencia de la Ciudad de México y la estrategia local de acción climática de la ciudad (2014-2020). A nivel local, pero partiendo de iniciativas particulares se han ido construyendo soluciones para abastecer de agua, en una forma más equitativa a la población, sin destruir acuíferos, ríos, o los ecosistemas que de ellos dependen a través de la captación de agua de lluvia (islaurbana.org). Así como planes para la construcción de parques hídricos, como la Quebradora en Iztapalapa (<https://local.mx/capital/medio-ambiente/parque-hidrico-quebradora/>), entre varios ejemplos más.

El deterioro hídrico se ha generalizado a la mayoría de las ciudades. Ahora hay un claro reconocimiento a nivel internacional de la necesidad de un aprovechamiento integral y descentralizado de los recursos de agua disponible y de que la disponibilidad de agua no depende exclusivamente de la infraestructura y la tecnología, sino que es necesario incluir a los ecosistemas. Esta relación se expresa en las denominadas “soluciones basadas en la naturaleza” como aquellas que están “inspiradas y respaldadas por la naturaleza y utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua” (WWAP-ONU, 2018). Esta alternativa surge de considerar que la gestión hídrica tradicional, basada en infraestructura hidráulica, en “soluciones grises”, no

ha podido solucionar, y más bien han acentuado la problemática hídrica en las ciudades. Este enfoque señala que, si “trabajáramos con la naturaleza en lugar de en contra de la misma, mejoraría el capital natural y respaldaría una economía circular competitiva y eficiente en el uso de los recursos”. Especialmente para el logro de tres objetivos principales de la gestión hídrica, como son aumentar la disponibilidad de los recursos hídricos, mejorar su calidad y reducir los riesgos relacionados con el agua. Para estos tres temas se han planteado distintas soluciones que tendrían que estar presentes en los planes y programas de la Ciudad de México (Cuadro 2).

CUADRO 2
**Propuestas de soluciones basadas en la naturaleza (WWAP-ONU, 2018) (en verde) y
soluciones adaptadas a la Ciudad de México (azul)**

	Regulación de suministro de agua (incluyendo mitigación de sequía)	Potabilización	Control de erosión	Control biológico	Control de temperatura del agua	Control de inundaciones ribereñas	Moderación de fenómenos meteorológicos extremos	Escurrimiento urbano de aguas pluviales
Espacios urbanos multipropósitos								
Reforestación y conservación forestal								
Reconectar ríos a planicie de inundación								
Restauración y conservación de humedades								
Construcción de humedades								
Captación de agua								
Espacios verdes (biorretención e infiltración)								
Pavimentos permeables								

Continúa...

	Regulación de suministro de agua (incluyendo mitigación de sequía)	Regulación de calidad de agua	Potabilización	Control de erosión	Control biológico	Control de temperatura del agua	Moderación de fenómenos meteorológicos extremos	Control de inundaciones ribereñas	Escurreimiento urbano de aguas pluviales
Zonas de amortiguamiento ribereñas									
Techos verdes									
Agricultura periurbana									
Conservación (profundización) de lagos									

Fuente: elaboración propia.

La implementación de estas soluciones en el contexto de los instrumentos de planeación puede constituir un puente entre la planeación del territorio y la gestión hídrica. A la luz de las experiencias de la gestión hídrica de las décadas pasadas consideramos que solamente con esta transición hacia una gestión que tome en cuenta a los ecosistemas se podrán cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y 11 (ciudades y comunidades sostenibles).

Conclusiones

Resultado de una ineficiente gestión hídrica, centralizada y enfocada en infraestructura hidráulica, un crecimiento exponencial sin planeación, e instrumentos de planeación y de gestión desvinculados uno con otros, la ciudad de México enfrenta actualmente un grave problema ambiental. Como bien dijo Ezcurra (1992) “la historia de la cuenca de México es una historia de crecimiento, colapso y renacimiento cultural. Quizás más agudos que nunca, muchos de los problemas actuales de la Ciudad de México son casi una tradición”. Romper con el círculo vicioso de esta tradición significa pensar y actuar de manera distinta. Varios aspectos quedan hoy en día

claros si se piensa en revertir el desastre ambiental, entre ellos que se debe descentralizada la gestión de los recursos hídricos y vincularla a la planeación territorial.

Hoy en día, la nueva Constitución de la Ciudad de México abre la puerta a una nueva concepción del territorio, donde se vincula a los paisajes de la cuenca, sus servicios ecosistémicos y la gestión hídrica. Los instrumentos derivados deberán diseñar una implementación a las condiciones sociales y ambientales de la ciudad. El contexto y la experiencia internacional, reflejados en las soluciones basadas en la naturaleza para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, deben constituir el paraguas en el cual se pueda planear y articular los distintos instrumentos e iniciativas.

Referencias

- Azuela A. 2007. El ordenamiento ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas. SEMARNAT, 163 p. Disponible en: <https://docplayer.es/72507214-El-ordenamiento-ecológico-del-territorio-en-méxico-génesis-y-perspectivas.html>
- Burns E. *Repensar la cuenca. La gestión de ciclos de agua en el Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 160 p.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2012a). Estadísticas del Agua en México. Reporte Técnico de la Comisión Nacional del Agua, México.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2012b). Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México, Reporte de la Comisión Nacional del Agua, México.
- Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Conagua/IMTA) (2006). Diagnóstico de la cuenca Valle de Bravo. Plan para la gestión integral del agua y recursos asociados de la Cuenca de Valle de Bravo, Estado de México. Convenio GAVMSC-GOA-MEX-05-404-RF-CC.
- Corona N. (2016). Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995-2030, 39-84. En: Mohar A. (coord.) *Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México*. Ciudad de México, CES, Conacyt, Centrogeo, 366p.
- Cotler H. (Ed) (2010). Cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P.
- Cotler H. (2016). Paisajes morfoedafológicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I, Conabio/Sedema, México, pp. 65-74
- Cram S.; Cotler H.; Morales, L. M.; Sommer, I., y Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas*, 66: 81-104.
- Escolero, O.; Martínez, S. E.; Kralisch, S.; Perevochchikova, M., y Delgado-Campo, J. (2009). Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático: Informe final. Centro Virtual de Cambio Climático.

- Escolero O.; Kralisch S.; Martínez E. S.; y Perevochtchikova M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen 68, núm. 3, 2016, p. 409-427. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a3>
- Ezcurra E., Mazari M., Pisanty I., Aguilar G. (2006). *La cuenca de México*. Fondo de Cultura Económica, 286 p.
- Ezcurra E. (1992). *Crecimiento y colapso en la cuenca de México*. Ciencias 25: 13-27.
- Legorreta J. (2009). *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 364 p.
- Legorreta, J.; Contreras, M. C.; Flores, M. A., y Jiménez, N. (1997). Agua y más agua para la Ciudad, Red Mexicana de Eco-Turismo, disponible en: <<http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/0897agua.html>>, accedido en 28/07/2015
- Núñez J. M. y Romero M. (2016). Imperativos para una ciudad sustentable: áreas arboladas y planeación territorial, 311-340. En: Mohar A. (coord.) *Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México*. Ciudad de México, ces, Conacyt, Centrogeo, 366 p.
- Reygadas P.; F.J. Romero, y Méndez S.A. (2016). Análisis de los programas ambientales y política pública en la conservación de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I, Conabio/Sedema, México, pp. 252-262
- Siedenberg, D. (2010). Fundamentos e técnicas de planeamiento estratégico, Santa Cruz do Sul, Edunisc.
- Soms, E. (1995). Apuntes metodológicos para la elaboración de estrategias y planes regionales, Santiago de Chile, Ministerio de Planificación y Cooperación.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.

Consejo y Comisiones de Cuenca para un manejo sustentable del agua de la Ciudad de México

Óscar Monroy Hermosillo y David Barkin

En memoria del
Arq. Jorge Legorreta luchador por el
equilibrio hídrico del Valle de México

El actual balance de aguas muestra que la Ciudad de México depende en gran parte de la extracción del subsuelo y de la importación de otras cuencas mediante los ríos Cutzamala y Lerma (Monroy, 2017). Su principal fuente, la lluvia, no se aprovecha; al contrario, se hacen grandes esfuerzos por sacarla de la cuenca mediante obras hidráulicas que la juntan con aguas residuales. Este manejo, que depende exclusivamente del Sacmex y del OCAVM, causa sobreexplotación y contaminación del acuífero, hundimientos de la ciudad, inundaciones, desabasto, mala distribución del agua.

La ciudad ha dependido irracionalmente de dos fuentes: del acuífero de donde se extraen $16 \text{ m}^3/\text{s}$ y del sistema Lerma-Cutzamala con $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Una vez inyectada a la red de abastecimiento de agua potable se pierden $12 \text{ m}^3/\text{s}$ por fugas que se van principalmente al drenaje, aunque una parte encuentra su camino al acuífero ($6 \text{ m}^3/\text{s}$). La mayor parte de la abundante lluvia de la Cuenca ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) que escurre de las sierras a través de sus 42 ríos (cuadros 2 y 3) y la que precipita directamente en la zona urbana, se mezcla con aguas residuales ($17 \text{ m}^3/\text{s}$) para ser enviada, como disposición final ($36 \text{ m}^3/\text{s}$), a los distritos de riego del Estado de Hidalgo. Sólo una parte de los ríos son aprovechados ($1 \text{ m}^3/\text{s}$) como agua potable, una fracción de la lluvia recarga el acuífero ($5 \text{ m}^3/\text{s}$) y únicamente el 10% del agua que entra a la red de agua potable y descargada como residual es tratada ($3 \text{ m}^3/\text{s}$), principalmente para el llenado de los canales de Xochimilco y riego en Tláhuac.

Este manejo, orientado principalmente a extraer agua en donde se pueda entubar fácilmente para traerla y desalojarla, podría llamarse extractivista,¹ está llegando a su límite. Hay muchos factores que apuntan en esta dirección:

- a) El acuífero está sobre explotado (con un déficit de 6 m³/s), causando la subsidencia de la ciudad (de 5 a 40 cm/año), y con una profundidad promedio del nivel piezométrico de 300 m el bombeo de agua se dificulta cada vez más.
- b) El desalojo de las aguas residuales y de lluvia por medio de grandes drenajes no soluciona los problemas de inundaciones (Monroy *et al.*, 2012).
- c) Las fuentes externas tienen un alto costo ambiental y económico. Un cálculo del consumo de electricidad por traer agua mediante bombeo desde Cutzamala, de extraerla de 900 pozos y de desalojar el caudal mixto de aguas residuales y lluvia (Cuadro 1) arroja que se necesitan 7,546,000 kWhr/día lo que consume 596 T diesel/d o 3600 bl/d (a 12.64 kWh/kg) y genera emisiones de 2,040 T CO₂/día (0.27 kg de CO₂/kWhr). Así, el manejo del agua equivale al 20% de la electricidad que consume la Ciudad de México y a un costo mínimo de \$ 2/kWhr, nos lleva a aproximadamente \$ 5,500 millones anuales.

Se concluye que la Ciudad de México, para paliar su ineficiencia en el manejo del agua, sobreexplota su acuífero y trasvasa desde Cutzamala un volumen de agua igual al que produce la cuenca.

CUADRO 1
Consumo de electricidad para el manejo de agua en la Cd. de México

	L (km)	h (m)	F (m ³ /s)	Eu (kWhr/m ³)	E (MWhr/día)	m _{CO₂} (T/día)
Cutzamala	150	1,200	12	5	5,184	1,400
Pozos (900)	-	300	16	1	1,382	373
Desagüe		8	36.6	0.31	980	264
TOTAL					546	2,037

Fuente: elaboración propia.

¹ Es irónico que este modelo de gestión de los recursos hidráulicos de la región parece ser la continuación y modernización de la estrategia adoptada por los conquistadores para la "domesticación" del sistema hídrico del Valle de México, comenzando en el siglo XVI. Los primeros esfuerzos para desalojar las aguas por el Tajo de Nochistongo no difirieron mucho en su visión paradigmática de las obras modernas del Emisor Oriente del siglo XXI (Candiani, 2014).

CUADRO 2
Ríos del oriente que alimentan el Valle de México

	Nombre del Río	L/s
1	San Juan Teotihuacán	146.2
2	Papalotla	408.2
3	Xalapango	147.8
4	Coxcacoaco	156.3
5	Texcoco	99.6
6	Chapingo	70.5
7	San Bernardino	74.9
8	Sta. Mónica	114.0
9	Tlalmimilolpan	0
10	Coatepec	95.9
11	San Francisco	109.5
12	La Compañía	201.4
13	Amecameca	280.2
Flujo mínimo		1,904.5

Fuente: Legorreta, 2009.

CUADRO 3
Ríos del occidente que alimentan el Valle de México

	Nombre del Río	L/s
14	Zacualtitlac	1.5
15	Tenechcolux	4.6
16	Milpa Alta	18.2
17	San Gregorio	5.2
18	San Lucas	22.2
19	Santiago	2.0
20	San Buenaventura	9.0
21	Eslava	113.5
22	Magdalena	221.0
23	Anzaldo	34.0
24	San Angel Texcalatlaco	33.0
25	Guadalupe	93.0
26	Barranca del Muerto	21.6

Continúa...

	Nombre del Río	L/s
27	Santo Desierto-Mixcoac	150.6
28	Becerra-	24.0
29	Tacubaya	25.0
30	Tecamachalco	33.6
31	San Joaquín	51.6
32	Tornillo	14.0
33	Canal Tornillo	5.0
34	Hondo	1,097.0
35	Los Cuartos	75.6
36	Totalica	51.0
37	Chico de los Remedios	169.0
38	Tlalnepantla	841.0
39	San Javier	116.3
40	Cuatepec	1,940.6
41	Cuautitlán	2,742.4
42	Tepotzotlán	578.3
	Sub total occ. (L/s)	8,493.8
	Total (L/s)	10,400

Fuente: Legorreta, 2009.

El rescate de los ríos

Los estudios existentes, realizados años atrás por Legorreta (2006) y Barkin, (2006) muestran claramente la factibilidad de una estrategia de rescatar los ríos vivos en el Valle de México, aunque también identifican algunas de las dificultades que presentan. En la actual discusión en torno a la consigna constitucional de promulgar una Ley General de Aguas (LGA) que garantiza el Derecho Humano al Agua, mandatada por la reforma del Artículo 4 Constitucional de 2012, resulta claro que el actual sistema de gestión de agua y de asignación de recursos en el Valle de México no es adecuado. Desde la ratificación de la enmienda constitucional, se organizó y consolidó el grupo ciudadano “Agua para tod@s. Agua para la Vida” (<http://aguaparatodos.org.mx/>) para la formulación de una LGA que ha presentado propuestas de participación social relacionadas con la gestión del agua, con base en instancias descentralizadas para asegurar este derecho humano y su manejo en manos públicas. Fundadas en estas ideas y en la legislación actual, sería ventajoso emprender un ambicioso programa de rescate de los 42 ríos (Cuadros 2 y 3). La propuesta de gestión consiste en aprovechar los flujos actuales mediante programas por subcuenca dentro de

las alcaldías, movilizando los grupos sociales para preparar el camino mediante programas de (re)creación y limpieza de los antiguos cauces. La motivación para esta llamada de participación ciudadana sería su potencial para impulsar un reverdecimiento de sus propios entornos y asegurar una mayor y más estable oferta del agua para la población; por supuesto, generaría nuevas fuentes de empleo e ingreso al incrementar el flujo de agua disponible en el Valle de México.

Las posibilidades de este enfoque de rescatar los ríos entubados dentro del Valle de México tendrían importantes efectos sociales, económicos y ambientales para la región y para el país. En este corto capítulo sólo cabe mencionar brevemente algunos de estos impactos. Al desentubar los ríos, se podría generar una dinámica de movilización social para su aprovechamiento y, además, para el uso de las aguas servidas para fines comunitarios, incluyendo espacios verdes y áreas para cultivos. La decisión de escalonar este programa con base en una evaluación de las necesidades prioritarias de las diversas colonias de la ciudad, y su capacidad de movilización social para la implementación, aportaría importantes avances para crear una comprensión de la importancia de crear una responsabilidad colectiva para la gestión del agua.

Además de los beneficios evidentes para el Valle de México, también es significativo señalar su beneficio para el resto del país. La Cuenca del Río Balsas comprende el afluente que toma su nombre de casi mil kilómetros de largo y recibe escurrimientos de nueve estados de la República Mexicana. Sin embargo, al sustraer los 12 m³ que se canalizan al Valle de México, se limitan posibilidades de desarrollo productivo en varias de las regiones más marginadas del país. Asimismo, se impacta en la biodiversidad con todas las consecuencias económicas, biológicas y climáticas que acarrea. El que la Ciudad de México dejara de impactar negativamente en esa zona, pondría el paradigma en todo el país de manejar su cuenca sustentablemente.

La formación de Comisiones y Comités de Cuenca en la Ciudad de México

Para la gestión sustentable del agua y en apego al derecho humano al vital líquido es necesaria la organización de los ciudadanos alrededor de Consejos y Comisiones de Cuenca (cc), como lo consigna la Ley de Aguas Nacionales que, en su artículo 13, mandata que la gestión del agua (proyectos, administración, etc.) se haga a través de estos organismos mixtos (ciudadanos y autoridades). Estos cc deben elaborar Planes Hídricos para la gestión democrática y sustentable del agua de cada cuenca y subcuenca. La participación ciudadana interviene para expresar necesidades y posibles soluciones formando equipos técnicos con universitarios y profesionales de gobierno y, muy importante, como contraloría social del brazo ejecutivo de los Consejos de Cuenca.

Una transformación en el manejo de la Cuenca del Valle de México (cuadro 4), puede remediar esta peligrosa situación. Todo esto puede hacerse a través de Comisiones de Cuenca alrededor de nuestros ríos, lagunas y presas en donde la participación ciudadana junto con las autoridades será central para definir los Planes Hídricos, con miras a la recuperación del medio ambiente, empezando por el cuidado de los bosques para aumentar la captación de lluvia en el Valle de

Méjico; recuperar y profundizar los lagos y presas para poder almacenar agua limpia, empezando por el Lago de Texcoco que tiene que recuperar su vocación a través del Plan del mismo nombre, volviendo a llenar el Lago Nabor Carrillo y otros que cubren una superficie de 5,000 ha; dar tratamiento a nuestras aguas residuales para recuperar el riego en el Valle de México, desde Texcoco al oriente, Cuajimalpa al occidente, Zumpango al norte, Xochimilco y Tlalpan al sur, así como Tláhuac, Milpa Alta y Chalco al sureste.

CUADRO 4
Manejo de la Cuenca del Valle de México

1. Manejo de bosques en las Sierras que lo rodean Nevada, Chichinautzin, Ajusco, Las Cruces, Monte Bajo, Monte Alto, Tepozteco, Chiconautla, Patlachique, Chicoloapan, Río Frío, Santa Catarina, para captar agua con reforestación e infiltración
 2. Rescate de los 42 ríos para que conduzcan agua limpia (con tratamiento local de aguas residuales).
 3. Profundizar y limpiar las presas y lagunas para almacenar agua limpia (Cuadro 5) cuya capacidad actual de 360 M m³ da para un año de almacenamiento del agua de escurrimiento.
 4. Procesar agua residual para uso industrial y agrícola.
 5. Captación de agua de lluvia en grandes avenidas y zonas abiertas de la Cd, tratarla potabilizarla e inyectarla a la red.
 6. Captación de agua de lluvia a nivel doméstico.
 7. Reducir pérdidas en la red que llega a 40% en la ciudad.
 8. Recuperar el Plan Lago de Texcoco intensificando para captar las aguas de los ríos del poniente.
-

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 5
Lagos y presas en el Valle de México

Lagos y presas	Sup. (ha)	Cap. (Mm ³)
Guadalupe	460	60
Presa Madín	190	25
Zumpango	2000	100
Chalco (Tláhuac-Xico)	500	20
Nabor Carrillo y otros de Texcoco	1750	50
Zona Lacustre Xoch.	1,000	20
Vaso El Cristo	100	3
Tecocomulco	2500	50
Tochac	2000	40
TOTAL		368

Fuente: Legorreta, 2009.

En la Cuenca del Valle de México existe el Consejo de Cuenca (CCVM) en el que si bien se discuten los problemas del agua a nivel general, como son primordialmente el problema de evacuación del agua de la Cuenca y la sobre concesión de agua de pozo para atender los problemas de los grandes agricultores, no se llegan a implementar las medidas ahí acordadas porque los planes de Conagua no son vinculantes con las CC. Los ciudadanos de la Ciudad de México, teniendo problemas tan diversos en cuanto a abasto, distribución e inundaciones, no participan como tales en el CCVM. Problemas como las pérdidas de agua potable en la red no son vistos como un problema de cuenca, sino de responsabilidad exclusiva de las administraciones del agua. Es entonces muy importante que en el nuevo gobierno se busque la organización por Cuencas en la Ciudad de México atendiendo a los distintos orígenes de agua y distintas necesidades de abastecimiento marcadas por el Plan Hídrico. Para ello se propone trabajar en toda la cuenca a través de comisiones (aproximadamente 20) y reconstituir el Consejo de Cuenca del Valle de México planteando a las comunidades de ciudadanos su participación en la elaboración de Planes Hídricos que consideren las siguientes acciones estratégicas:

1. Obras para retener e infiltrar aguas pluviales en la cuenca alta.
2. Recuperar el Lago de Texcoco:
 - Plan Lago de Texcoco.
 - Recuperación del polígono del ex NAICM.
3. Recuperar los flujos de agua de los 42 ríos que actualmente son desalojados.
4. Recuperar los demás lagos y presas para tratar y almacenar aguas pluviales (prevención de inundaciones y la provisión de agua potable).
5. Tratamiento de aguas residuales para uso agrícola e industrial.
6. Evitar la apertura de nuevos pozos para frenar la sobre-explotación del acuífero.
7. Escuelas como fuente de agua potable y centros de difusión de ecotecnias.
8. Difusión y monitoreo del Plan Hídrico.

Ejemplos de proyectos de Cuenca en el Valle de México

Las subcuencas en las que podría distribuirse la Ciudad de México tienen que ser inter-alcaldías e intermunicipales, integrando a toda la zona metropolitana y siempre alrededor de los ríos que nos nutren. Los ejemplos y experiencias de Cuenca que han sido trabajadas son el Proyecto Lago de Texcoco, el de la Comisión de Cuenca de los ríos Amecameca y la Compañía, la Cuenca de Xochimilco y sus afluentes, la Cuenca de Tlalpan, la Cuenca del Río Magdalena, las Cuenca de los Barrancas del Poniente (Tarango).

Proyecto Lago de Texcoco (PLT)

Hoy por hoy, la tarea más urgente para recuperar la sustentabilidad hídrica del Valle de México es volver poner en marcha este proyecto. En 1959 Miguel Rebolledo planteó el rescate del lago llevando, tratando y reusando ahí las aguas residuales para riego y para un gran lago que fuera el esparcimiento de la ciudad. En 1965 Nabor Carrillo se planteó el objetivo de crear un sistema hidráulico para el almacenamiento y el tratamiento de agua como una forma de resolver los problemas de inundaciones, hundimiento y abasto de agua de la ciudad. Lo ideó como vaso regulador y almacenamiento de escurrimientos superficiales con una fundamentación integral, científica y sustentable usando las 17,000 ha de entonces (que terminaron en 10,000). Entre las obras importantes contemplaba:

- Captación y regulación de las aguas de lluvia de 11 ríos (2 a 5 m³/s) mas 8 m³/s de los ríos del poniente.
- Recargar el acuífero contrarrestando los hundimientos de la ciudad.
- Creación de lagos artificiales (7,000 ha y 1 m prof = 160 días de retención).
- Aprovechamiento de las aguas residuales.
- Aprovechar el potencial del agua salada para producir sosa: $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- + 2\text{H}^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2$.

Hasta antes de la suspensión del PLT para dar paso al proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM), se contaba con una excelente infraestructura (Cuadro 6) que es necesario recuperar en primera instancia para proseguir con la ampliación hasta las 7000 ha de lagos planteadas originalmente.

CUADRO 6
Obras de infraestructura interrumpidas por la suspensión del PLT

1. Tres PTAR con 1.8 m³/s (de 18 no instaladas).
 2. Cuatro pozos profundos de extracción.
 3. Pozo experimental de inyección.
 4. Dos mil hectáreas de lagos con capacidad de almacenamiento de 55 millones de m³ (Lagos Nabor Carrillo, Churubusco, de Regulación Horaria, Xalapango, Recreativo, Laguna Casa Colorada y Laguna El Fusible).
 5. Planta de bombeo adyacente al Caracol para desalojo de las aguas del Gran Canal que ha perdido su pendiente.
 6. Para contrarrestar la deforestación en la sierra oriental se construyeron 2,500 km de terrazas, 1,500 zanjas de trinchera y 1,500 presas de gavión.
 7. 150 ha recuperadas de suelos salinos para bosques y zonas recreativas y agrícolas.
 8. Se canceló el proyecto de la PTAR del Caracol (2 hasta 6 m³/s) para sustituir agua de pozo para riego e infiltrar (Espino de la O. 2017).
-

Fuente: elaboración propia.

Plan Hídrico de la Cuenca de los Ríos Amecameca, La Compañía y el Lago Tláhuac-Xico (CRAYC)

En esta región de aproximadamente 1000 km² y un millón de habitantes, se elaboró un plan hídrico para recuperar 5 m³/s de aguas residuales vertidas a los dos ríos y expulsadas de la cuenca hacia los distritos de riego de Hidalgo. El plan consta de 6 estrategias (cuadro 7) que la Comisión de Cuenca ha estado impulsando desde 2009 (<http://comisiondelacuenca.org>).

CUADRO 7 **Estrategias del Plan Hídrico de la CRAYC**

1. Retención, infiltración de aguas pluviales en cuenca media y alta.
 2. Almacenamiento y aprovechamiento de aguas pluviales en cuenca baja.
 3. Tratamiento y reutilización de aguas residuales.
 4. Gestión equilibrada del acuífero.
 5. Tecnologías apropiadas para zonas de extrema escasez (escuelas como centros de difusión de ecotecnias).
 6. Difusión y monitoreo del Plan Hídrico.
-

Fuente: elaboración propia.

La Cuenca de Xochimilco y sus afluentes

La Cuenca abarca las alcaldías de Milpa Alta, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, Coyoacán e Iztapalapa y contempla desde la zona montañosa hasta las partes bajas de los humedales de Xochimilco y Chalco. Constituye un sistema ecológico y social muy importante porque se encuentra el Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, (Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad por la UNESCO); la zona montañosa es Suelo de Conservación; los humedales, de importancia estratégica mundial, son reconocidos por la Convención RAMSAR desde 2004, forma parte del Área Natural Protegida Cumbres del Ajusco y del Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin. Además de su gran diversidad biológica, de su gran belleza, de su valor ecológico para la recarga de agua, y de servir como amortiguador del cambio climático, ahí se asientan pueblos originarios de ancestral riqueza cultural y diversidad en sus sistemas locales de producción agropecuaria, reconocidos como patrimonio mundial por la FAO (Salazar et al. 2014). Hasta ahora los comités de microcuenca formados y en proceso de formación están trabajando en un plan hídrico (cuadro 8).

CUADRO 8

Plan Hídrico de la subcuenca de Xochimilco y sus afluentes

- Sanear los nueve afluentes y la zona de humedales.
 - Elevar el nivel piezométrico de los pozos de los acuíferos de Xochimilco y Chalco.
 - Aprovechar el total del agua pluvial en presas, represas, lagunas, canales y apancles.
 - Construir pozos de absorción para aprovechar los escurrimientos del Ajusco–Chichinautzin, Sierra de Santa Catarina y Cerro de la Estrella.
 - Garantizar la conservación de los reconocimientos de UNESCO y RAMSAR.
 - Acotar el crecimiento urbano en las zonas sujetas a conservación ecológica, reubicando los asentamientos establecidos en zona de riesgo y aplicando ecotecnias de saneamiento y aprovechamiento de agua.
 - Diseñar y poner en marcha un programa de educación ambiental en escuelas de educación básica.
 - Crear un programa universitario para promover el manejo integral sustentable y la regeneración socioambiental de la Subcuenca.
-

Fuente: elaboración propia.

Las Cuencas de Tlalpan

Generan 9 m³/s de lluvia, de los cuales se evaporan 5, se infiltra cerca de 1 m³/s y escurren 2.3 que se juntan a 1.6 m³/s de aguas residuales y de fugas para ser enviadas al drenaje. La alcaldía de Tlalpan trabaja en una propuesta para aumentar la infiltración en los bosques y aprovechar los escurrimientos que bajan por sus ríos para aumentar la dotación y cosechar agua de lluvia para uso directo. Se elabora un Plan Hídrico para lograr la gestión participativa en el manejo del agua con objeto de:

- Garantizar agua potable en cantidad y calidad.
- Promover su uso equitativo.
- Aprovechamiento sustentable del agua de lluvia y del acuífero restableciendo su ciclo natural.
- Prevención de inundaciones.
- Tratamiento y reuso de agua residual para la agricultura.
- Implementar la cultura del agua en la región.
- Gestión y monitoreo comunitarios del PHT.

Cuenca de Río Magdalena-Eslava

La cuenca del Río Magdalena y su afluente el Río Eslava son de las vías más caudalosas que fluyen a la Ciudad de México. Se estima que tienen un caudal promedio de 1 m³/s pero en época

de lluvias llega a 20 m³/s; sin embargo, sólo se aprovecha la quinta parte y el resto se va al drenaje. Desde 1988, se construyeron 8 km de drenajes marginales; durante el gobierno de Marcelo Ebrard y bajo la responsabilidad de la Secretaría de Medio Ambiente, se organizó el Grupo Promotor del Rescate de la Cuenca del Río Magdalena, con un gran número de participantes ciudadanos y académicos organizados, que elaboró un plan maestro a realizarse en quince años (Álvarez Icaza *et al.*, 2012) para el (re)ordenamiento territorial de su cauce y la realización de obras de saneamiento que involucraban complejas negociaciones con los grupos asentados a lo largo de sus 20 km, y con sobre todo los intereses empresariales que se opusieron a las exigencias para sujetarse a la reglamentación vigente. El proyecto siguió a mucho menor ritmo durante la siguiente administración y, hasta ahora, no ha logrado todos los frutos esperados. No obstante, la experiencia ha resultado importante para mostrar el potencial del enfoque y la necesidad de una mayor determinación política y movilización social para su implementación (Tonda, 2007).

Proyecto de regeneración de la microcuenca de Tarango-Barranca del Muerto

Río que baja desde San Bartolo Ameyalco por el Arroyo Puerta Grande y por una corriente de aguas residuales llamada Puente Grande o Colorado que se juntan en la Presa Tarango, para de ahí bajar entubado(60 L/s) a Barranca Del Muerto y de ahí al Río Churubusco. Esta corriente con su microcuenca está siendo recuperada por los habitantes de la zona en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente y la Conagua (CCVM 2019).

Conclusiones

Es importante que estos ejemplos se multipliquen con el apoyo y coordinación de Conagua y el Sacmex, pero sobre todo con la participación ciudadana a través del Consejo de Cuenca y de las Comisiones de Subcuenca en cada uno de sus ríos. Rescatar los ríos del Valle de México sería un proyecto trascendental para la movilización social en aras de una política económica y ecológica con profundos impactos en mejorar la calidad de vida en la región y en las zonas actualmente impactadas por el extractivismo.

Referencias

Álvarez Icaza Longoria, M. I.; Álvarez Icaza Longoria, I.; Castrejón Díaz, H.; González Pérez, I.; Vázquez del Carmen, M., y Cruz García, J. (2012). *Programa de Rescate Integral de los Ríos Magdalena y Eslava*, Ed. SMA, Gobierno del D.F.

- Barkin, David (comp.) (2006). *La Gestión del Agua Urbana en México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Candiani, Vera (2014). *Dreaming of Dry Land. Environmental Transformation in Colonial Mexico City*. Palo Alto: Stanford University Press.
- Burns Elena et al. (2011). Plan Hídrico para las Subcuenca de los Ríos Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico. Ed. UAM-CCRAC. http://agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=1024&Itemid=
- Consejo de Cuenca del Valle de México (ccvm) (2019). Proyecto de regeneración de la microcuenca de Tarango, Reunión de Trabajo 102, Grupo Especializado de Ordenamiento, Consejo de Cuenca del Valle de México.
- Espino de O, Ernesto (2015). La recuperación de aguas residuales y el trasvase de agua como alternativas para incrementar la disponibilidad de agua en el Valle De México: consideraciones económicas, energéticas y ambientales, Trabajo de ingreso a la Academia de Ingeniería. Las Vertientes de la Conagua, 18, 198, octubre de 2012.
- Legorreta, Jorge (2006). *El agua y la ciudad de México, de Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*, México: UAM-Azcapotzalco.
- Legorreta, Jorge (2009). *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México*, Cd. de México, SMA, UAM, ISBN: 978-607-477-204-3
- Monroy Hermosillo, Oscar (2013). Manejo sustentable del agua en México, *Revista Digital Universitaria*, 14, 10: 15 págs. ISSN 1607-6079, <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num10/art37/index.html>
- Monroy, Oscar; Legorreta, Jorge y Gómez, Eugenio (2012). Hacia la sustentabilidad hidráulica en el Valle de México, *Reporte Macroeconómico de México*, V. III, 5: 6-10 <http://observatorio.acz.uam.mx>
- Monroy, Oscar y Moctezuma-B, Pedro (2016). "Organizaciones ciudadanas para garantizar agua para todos, siempre: Comisiones de Cuenca" en Chavez-Jimenez, D., Nuñez-Madrazo, M. C., Rodriguez-Soto, C. Ed. *Universidad Pública, organización comunitaria y ambiente*, ediciones Universidad Autónoma del Estado de México. ISBN 978-607-422-780-2
- Salazar Molina, M.; M. G. Figueroa Torres; F. V. González; G. R. de Silva; A. Salas Casales; E. Rosas Casales y R. Rosas Casales; I. Ocaña; P. Becerril; R. Peñaloza García y V. J. P. Espinosa (2014). Hacia un plan de manejo sustentable y por la regeneración socioambiental de la subcuenca hidrológica de Xochimilco y sus afluentes. Manejo integral de la Cuenca de Xochimilco y sus afluentes, *Revista E-Bios*. Num. especial, Ed. UAM-X pp. 5-10. ISSN 2007-5782
- Sistema de Información Energética (SIE), Secretaría de Energía, Dirección General de Planeación e Información Energéticas, Consumo de energía eléctrica por entidad (2017). <http://sie.energia.gob.mx/movil.do?action=applyOptions>
- Tonda, Juan (2007). "Al rescate de Río Magdalena," ¿cómo ves?, No. 107, <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/107/al-rescate-del-rio-magdalena>

Optimización de operación del sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México

Eugenio Gómez-Reyes y Roberto M. Constantino-Toto

Introducción

El suministro de agua se ha convertido en una amenaza creciente para uno de los centros de mayor densidad de población del mundo, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCDMX). Una de las recientes políticas hídricas para satisfacer la demanda del agua en la ZMCDMX se centró en aumentar el suministro. Luego, la política hídrica fue guiada por el control de la demanda. Desafortunadamente, estas políticas han producido serios problemas, como la sobreexplotación de acuíferos, la contaminación de las reservas subterráneas, la mala calidad de los servicios de agua y la gran paradoja de la sequía y las inundaciones en la cuenca del Valle de México (CVM).

En la actualidad, la política del agua en México se centra en la sostenibilidad de los recursos hídricos. La implementación de esta política es considerada como un cambio de paradigma en la gestión de los recursos hídricos en la CVM. En consecuencia, las autoridades enfrentan ahora desafíos para invertir en medidas que mejoren la disponibilidad de agua para la CDMX, así como para lograr la sostenibilidad de los recursos hidráulicos en la CVM, incluidas las medidas de menor costo marginal, como la reparación de fugas y el uso de dispositivos para el ahorro, hasta aquellos que brindan el mayor volumen posible de disponibilidad, como la recarga de acuíferos y el tratamiento de aguas residuales (Conagua, 2011). Ante esta compleja situación que vulnera cada vez más el acceso y la dotación de agua potable a la población metropolitana, y ante el aumento de los riesgos sociales que propicia la competencia de los usos del vital líquido, se hace necesario establecer estrategias de gestión del agua en la ZMCDMX.

La formulación e implementación de estrategias de gestión para lograr la sostenibilidad de los recursos hidráulicos en las cuencas no es una tarea sencilla. La selección de una solución ineficiente o una variedad de soluciones técnicas para cumplir con los términos de la política de agua en la CVM provoca graves impactos económicos, sociales y ambientales adversos en la región. Con la ayuda de las técnicas de optimización en el proceso de toma de decisión para las alternativas de solución al suministro de agua a la ZMCDMX, es posible seleccionar de manera objetiva

aquellas estrategias más económicas y efectivas que cumplan con los términos de la política de agua en la CVM. Si bien las decisiones sobre la aplicación de estrategias de gestión del agua tienen un componente político importante, que ocasionalmente aleja los resultados de la gestión respecto de las restricciones hídricas o presupuestarias que son esenciales en la gestión del agua, existe una creciente conciencia de que el plan necesita apoyo científico antes de su implementación. Las técnicas de optimización en la gestión del agua constituyen una herramienta de gran utilidad para cerrar la brecha entre el conocimiento científico y la demanda de información.

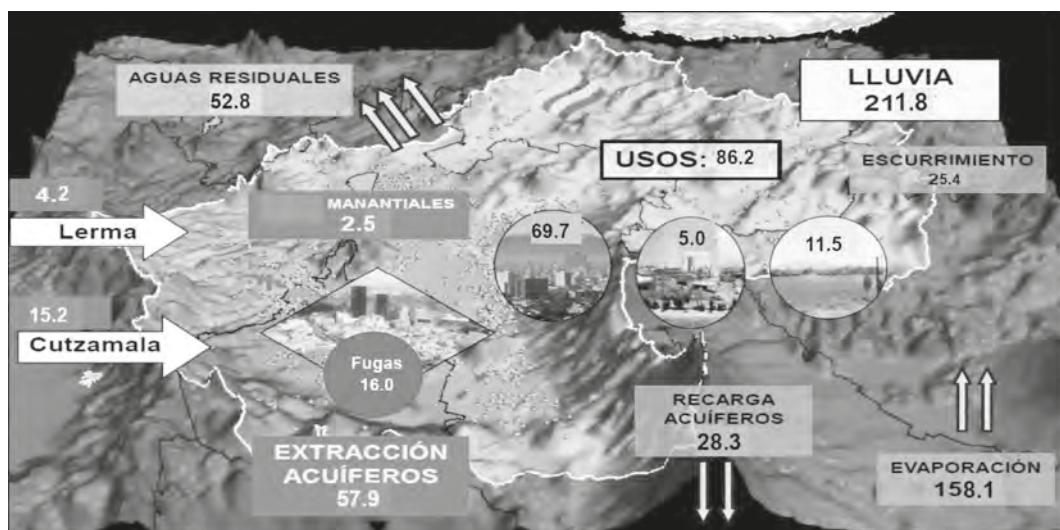
En los últimos años, se han desarrollado diversos modelos de optimización cuyo objetivo es mejorar la gestión y planificación de los recursos hídricos (Molinos-Senante *et al.*, 2013). Debido a que generalmente la agricultura es el usuario con mayor demanda de agua, un amplio número de modelos de optimización se han centrado en la asignación óptima de recursos hídricos en sistemas agrícolas (Lu *et al.*, 2012; Ortega Álvarez *et al.*, 2004; Reca *et al.*, 2001). Más recientemente, los modelos de optimización han incorporado el concepto de recursos hídricos no convencionales (Medellín-Azuara *et al.*, 2007; Ray *et al.*, 2010). A pesar de estos instrumentos, los tomadores de decisiones de la CVM parecen no haber incorporado tal tipo de aportaciones como parte de las herramientas de gestión para la política pública. En el presente documento, se desarrolla y aplica un modelo de optimización para satisfacer la demanda de agua en la ZMCDMX para los diferentes usuarios doméstico, industrial, agrícola y ecológico, considerando tanto ofertas de fuentes convencionales como no convencionales. El objetivo es maximizar el aprovechamiento del agua teniendo en cuenta los ingresos y los costes asociados a cada uso. Como aspecto más trascendente, el planteamiento conceptual incorpora la restricción de mantener en equilibrio el acuífero, *i.e.*, extracción igual a la recarga de agua subterránea. Los resultados permiten contestar a la pregunta de gestión del agua en la CDMX: ¿Cómo se puede suministrar más agua a la ciudad de manera que sea más barata y al mismo tiempo que sea sustentable? El documento está organizado de la siguiente manera. Para proporcionar la información del suministro y demanda de agua a la CDMX, la sección 2 trata sobre el sistema hidrológico de la CVM. La sección 3 describe la conceptualización del modelo de optimización con el fin de maximizar los beneficios del uso del agua. *i.e.*, conformación de las variables de decisión, formulación de la función objetivo y de las restricciones de disponibilidad y consumo de agua. La sección 4 aborda la evaluación de las variables de decisión y de los costos implicados, con la finalidad de especificar el escenario de solución del modelo de optimización. El análisis de las medidas que mejoran la disponibilidad de agua para la Ciudad de México y logran la sostenibilidad de los recursos hidráulicos en la Cuenca se realiza en la sección 5. Los marcos regulatorios para restablecer el equilibrio hidrológico en la Cuenca de México se resumen en la sección 6 como parte de las conclusiones.

Sistema hidrológico de la cuenca del Valle de México

En la cuenca del Valle de México se precipita un volumen de agua del orden de 211.789 m³/s, de éste, se evapotranspiran el 74.6% (158.063 m³/s) y el resto escurre superficialmente en alrededor de 25.395 m³/s, y otra porción de aproximadamente 28.331 m³/s recarga el acuífero subyacente

(Fig. 1). Parte del escurrimiento, una cantidad estimada de $6.498 \text{ m}^3/\text{s}$, llena los cuerpos de agua superficiales de donde casi todo este volumen es aprovechado a través de concesiones a los usuarios ($6.469 \text{ m}^3/\text{s}$); otra parte ($2.687 \text{ m}^3/\text{s}$) pasa a formar parte de los volúmenes almacenados en presas, bordos y abrevaderos; el resto ($16.210 \text{ m}^3/\text{s}$) escurre libremente al drenaje. Además, se cuenta con una importación de orden de $19.393 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente de los sistemas Lerma y Cutzamala.

FIGURA 1
Balance anual de agua (m^3/s) en la cuenca del Valle de México



Fuente: Corona, 2016.

La extracción anual de agua subterránea es del orden de $57.920 \text{ m}^3/\text{s}$ que, comparada con la recarga natural (*i.e.*, inducida por la infiltración), resulta que el acuífero se explota a razón de 2 a 1 con respecto a la recarga natural. En la cuenca se utilizan $92.031 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales para el uso público urbano son $69.651 \text{ m}^3/\text{s}$, para el uso industrial $5.060 \text{ m}^3/\text{s}$, para el uso agrícola $11.520 \text{ m}^3/\text{s}$ y de rehuso son $5.800 \text{ m}^3/\text{s}$. De estos usos se estiman retornos de aproximadamente $58.343 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales el uso público urbano aporta un 75%, el uso industrial en un 55% y el uso agrícola en un 10%. Por otra parte, del drenaje se extraen $8.005 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua residual para las PTAR (Plantas de Tratamiento de Agua Residual), de tal cantidad se reusa un volumen de $5.800 \text{ m}^3/\text{s}$ en cantidades de 2.1 , 0.5 y $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ para los usos público urbano, industrial y agrícola, respectivamente. La cantidad restante ($2.205 \text{ m}^3/\text{s}$) es agua de retorno que reingresa al drenaje nuevamente. Finalmente, se tiene aforado que de la cuenca salen en promedio anual $52.782 \text{ m}^3/\text{s}$ hacia la cuenca del río Tula, pero deberían salir $68.753 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se estima se tiene un total de $15.971 \text{ m}^3/\text{s}$ en fugas del sistema hídrico de la cuenca del Valle de México.

Cabe mencionar que este balance hídrico fue calculado en colaboración con colegas investigadores de la UAM y con la aplicación del modelo numérico de manejo hídrico de cuencas (MAHICU)

desarrollado en la UAM (MAHICU, 2010). Mucha de la información adquirida para este cálculo se encuentra en diferentes formatos; la hay en archivos digitales e impresos, datos vectoriales y cartas impresas, publicaciones en revistas especializadas y en informes técnicos, tablas capturadas y tablas manuscritas. En particular, la información básica como la localización geográfica de la cuenca, curvas de nivel, corrientes naturales, manantiales, límites municipales, vías terrestres, poblaciones, se obtuvieron del conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas 1:50000, disponibles en el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía); adicionalmente el parteaguas de la cuenca y subcuencas, así como los coeficientes de escurrimiento, se obtuvieron del conjunto de datos vectoriales de las cartas hidrológicas de aguas superficial a escala 1:250000, también del INEGI. La información sobre el tipo de suelo y sobre la cobertura vegetal y el uso de suelo se obtuvo del conjunto de datos vectoriales de las cartas edafológicas y uso del suelo y vegetación, respectivamente, en escala 1:250000, editadas por el INEGI; los datos medios y extremos mensuales de precipitación, de temperatura y de evaporación, medidos en 123 estaciones climatológicas de la cuenca, se extrajeron de las normales climatológicas (30 años de periodo: 1971-2000) que generó el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La información hidrométrica de gastos medios diarios registrados en las estaciones ubicadas dentro y a la salida de la cuenca, se obtuvieron de la base de datos BANDAS (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales) elaborada por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua); los caudales medios anuales del 2011, de los 2,781 pozos de extracción de agua subterránea, se extrajeron del REPDA (Registro Público de Derechos de Agua), así como también se incluyeron los volúmenes de extracción sistema de pozos del Plan de Acción Inmediata (PAI) y de los pozos operados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex); los volúmenes de agua subterránea y superficial concedidos a los usuarios fueron también obtenidos del REPDA.

Es importante indicar que el balance hídrico de la cuenca del valle de México calculado aquí, a pesar de que representa condiciones de promedio anual, es muy semejante a las condiciones hidráulicas del año 2007 reportadas por Conagua (2007). La comparación de resultados de las componentes del balance con los reportados por la Conagua (Cuadro 1), muestran una diferencia global promedio del 2%, presentando una diferencia máxima de aproximadamente $5 \text{ m}^3/\text{s}$ sobrevaluando los volúmenes de uso doméstico. Es decir, el balance hídrico promedio anual calculado para la cuenca del Valle de México, resulta confiable en $\pm 2\%$ respecto al balance hídrico reportado por la Conagua para el año 2007.

Las componentes del balance hídrico (Cuadro 1) indican que la reserva del agua en la cuenca, resultado neto de los flujos de ingreso menos los egresos, es muy pequeño, casi del mismo valor que el mínimo flujo de agua en la cuenca (descargas de manantiales). Es decir, prácticamente los volúmenes totales de agua que ingresan a la cuenca son egresados en la misma cantidad, sin que se quede reserva en la cuenca para el crecimiento urbano, ni para el desarrollo económico. Esta situación crítica del balance del agua en la cuenca del Valle de México enfrenta los límites de la actual política hídrica y representa un reto para su manejo. Así mismo, se muestra que las condiciones hidráulicas de la cuenca están controladas principalmente por los procesos atmosféricos (*i.e.*, precipitación y evapotranspiración), cuyos flujos de agua son de un orden de magnitud mayor a todos los demás procesos hidráulicos. Este resultado es de mayor relevancia,

toda vez que nos dice que las condiciones hidráulicas son sensibles a las variaciones climáticas. Es decir, el cambio climático genera alteraciones considerables en los volúmenes de agua de la cuenca. Por otra parte, también se indica que los flujos del uso del agua ($86.231 \text{ m}^3/\text{s}$) representan el principal factor que modula internamente el balance hídrico en la cuenca; son el término de mayor magnitud después de los que representan los procesos atmosféricos. Por lo que una medida para disponer de volúmenes de agua es fomentar el ahorro (Q_{ahorro} ; variable $QX07$) para reducir los volúmenes del uso que se le asigna.

CUADRO 1
Comparación de los componentes del balance de agua en la cuenca del Valle de México con los reportados por la Conagua (2007)

Componentes del balance			Flujo (m^3/s)		Diferencia (m^3/s)	Error (%)
Símbolo	Nombre	Variable	Calculados	Conagua		
Ingresos						
Q_{lluvia}	Precipitación		211.789	214.700	2.911	1
Q_{pozos}	Pozos	$QX01$	57.920	59.500	1.580	3
$Q_{\text{manantial}}$	Manantiales	$QX02$	2.449	2.700*	0.251	9
$Q_{\text{Cutzamala}}$	Cutzamala	$QX04$	15.162	14.700	-0.462	-3
Q_{Lerma}	Lerma	$QX05$	4.231	4.800	0.569	12
Q_{escurre}	Escurrimiento		25.395	23.700	-1.695	7
Egresos						
Qf_{ugas}	Fugas	$QX06$	15.971	15.636**	-0.333	-2
Q_{ET}	Evapotranspiración		158.063	159.400	1.337	1
Q_{recarga}	Recarga		28.331	31.600	3.269	10
Q_{out}	Desalojo		52.782	50.400	-2.382	-5
$Q_{\text{doméstico}}$	Uso Doméstico	$QU1$	69.651	64.700	-4.951	-8
$Q_{\text{agrícola}}$	Uso Agrícola	$QU2$	11.520	12.600	1.080	9
$Q_{\text{industrial}}$	Uso Industrial	$QU3$	5.060	4.600	-0.461	-10
Reserva						
Q_{almacena}	Almacenamiento		2.687	2.900	0.213	7

* Conagua (2008). ** Lafragua, *et al.* (2003).

Fuente: modificada de Gómez-Reyes (2012).

En el Cuadro 1 también se observa que, dentro de los ingresos, las fuentes de aguas subterráneas de la cuenca (pozos y manantiales) representan el 70% del suministro de agua a la ZMCDMX para satisfacer sus diversos usos ($86.231 \text{ m}^3/\text{s}$; sin considerar el rehuso); las importaciones de los tránsitos del sistema Lerma-Cutzamala aportan el 22.5% a este suministro y el otro 7.5% proviene de

los aprovechamientos superficiales de la propia cuenca. En contra parte, los usos del agua suman exactamente la cantidad de suministro, *i.e.*, el abastecimiento es apenas suficiente para satisfacerlos, un incremento adicional en cualquiera de los usos no se puede satisfacer, quedando en confrontación el crecimiento poblacional con el desarrollo económico. Asimismo, considerando que el escurrimiento pluvial libre que ingresa al drenaje combinado es de 16.210 m³/s (equivalente a la cantidad de abastecimiento de agua proveniente del Cutzamala 15.162 m³/s), resulta que el líquido residual que se conduce por el drenaje y se desaloja en la cuenca del Valle de Tula representa un 42% del suministro de agua de la ZMCDMX para satisfacer sus diversos usos. Es decir, fuentes alternas de abastecimiento a la CDMX radican tanto en tratamiento de los volúmenes de aguas residuales (Qtratamiento; variable *QX09*), como en los escurrimientos libres (*Q_{captación}*; variable *QX08*). En este contexto de amplio optimismo, el 80% del total del suministro a la ZMCDMX (86.231 m³/s; sin considerar el rehuso) pudiera potencialmente ser abastecido por el tratamiento de las aguas residuales (42%), la captación de los escurrimientos pluviales libres (19%) y por la recuperación de volúmenes perdidos por fugas en el sistema hídrico (19%).

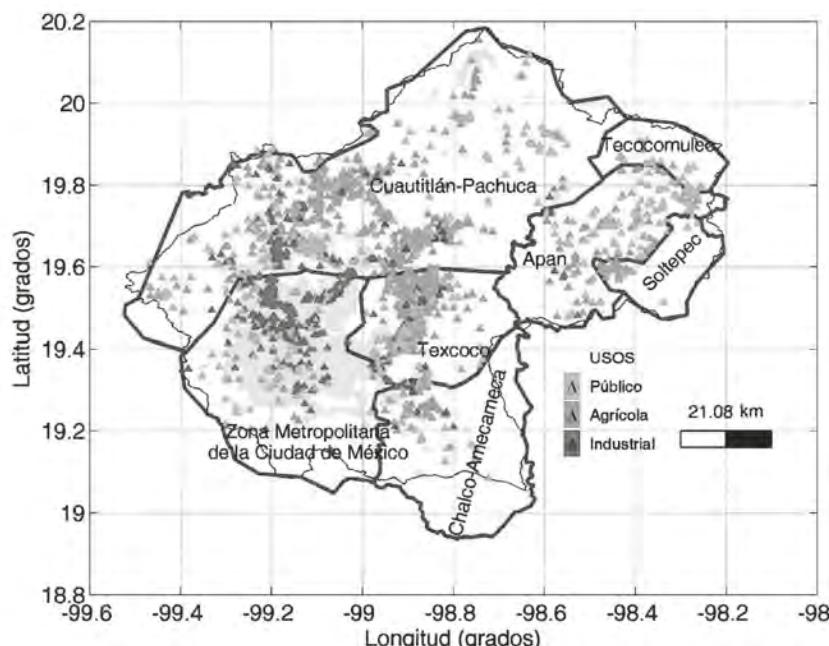
Ahora bien, en cuanto al déficit en el balance del acuífero que subyace la CVM, así como en los transvases de importación y exportación de agua, sobresalen la exportación de agua hacia la cuenca del Valle de Tula (a través del desalojo de las aguas por el sistema de drenaje combinado, 52.782 m³/s) lo cual es casi el triple (2.7 veces mayor) que los volúmenes de importación provenientes del sistema Lerma-Cutzamala (19.393 m³/s). Los volúmenes de sobreexplotación del acuífero (32.038 m³/s, *i.e.*, aprovechamientos de pozos de extracción y manantiales menos la recarga) se pueden explicar con los excedentes del transvase (33.389 m³/s). Es decir, a medida que se logre reducir los volúmenes de agua enviados a la cuenca del Valle de Tula, hasta alcanzar la misma cantidad de agua que se trae del sistema Lerma-Cutzamala, se generarán volúmenes de agua suficientes como para recuperar el equilibrio del acuífero del Valle de México.

En particular, la sobreexplotación del acuífero ha causado el abatimiento del nivel piezométrico, que ya ocasiona graves hundimientos del terreno en el oriente de la CDMX a un ritmo promedio de 10 cm/año. Las zonas de mayor hundimiento corresponden ahora a las áreas de mayor riesgo por inundación. La subsidencia del terreno ha ocasionado también grandes daños a la infraestructura hidráulica de las redes de distribución, originado pérdidas de volúmenes de agua por fugas, así mismo ha invertido la pendiente del sistema de drenaje del Gran Canal del Desagüe y de colectores locales de la zona oriente, generando inundaciones recurrentes en este sector de la ciudad. El aprovechamiento del agua subterránea se lleva a cabo mediante un complejo sistema de operación de 2,781 pozos. Se cuenta con los pozos de la cuenca del Valle de México inscritos en el REPDA, el sistema de PAI y los pozos operados por el Sacmex. El Cuadro 2 muestra la condición estimada del acuífero de la cuenca del Valle de México sujeto al aprovechamiento de las aguas subterráneas; para fines de administración del agua subterránea, en la cuenca se tienen identificados 7 unidades hidrogeológicas o acuíferos (Figura 2). Como se observa, la mayor cantidad de agua se extrae del acuífero ZMCDMX que subyace a la ciudad, le sigue el acuífero Cuautitlán-Pachuca, Texcoco y Chalco-Amecameca, en donde se tiene la mayor concentración

de pozos de extracción, por lo menos los 1,975 pozos inscritos en el REPDA hasta septiembre del 2011. Estos 4 acuíferos de mayor extracción de agua subterránea están sometidos a sobreexplotación, toda vez que los volúmenes de extracción superan los volúmenes de recarga. Por otra parte, los acuíferos del oriente de la cuenca del Valle de México (Apán, Soltepec y Tecocomulco) cuentan con volúmenes de agua disponibles para su aprovechamiento.

FIGURA 2

Ubicación de los pozos REPDA sobre el acuífero que subyace la cuenca del Valle de México, clasificados según el uso agregado de la concesión del agua; se muestra en amarillo la extensión de la ZMCDMX y de la ciudad de Pachuca



Fuente: Gomez-Reyes (2013).

CUADRO 2

Condición estimada del acuífero (promedio anual) de la cuenca del Valle de México

No.	Acuífero	Extracción (m ³ /s)	Recarga (m ³ /s)	Condición
1	Chalco-Amecameca	2.559	1.620	Sobreexplotado
2	ZMCDMX	33.963	10.475	Sobreexplotado
3	Texcoco	5.529	3.289	Sobreexplotado
4	Apán	0.228	3.199	Disponibilidad de agua

Continúa...

No.	Acuífero	Extracción (m ³ /s)	Recarga (m ³ /s)	Condición
5	Soltepec	0.479	1.896	Disponibilidad de agua
6	Tecocomulco	0.024	0.568	Disponibilidad de agua
7	Cuautitlán-Pachuca	15.139	7.286	Sobreexplotado
	TOTAL	57.920	28.331	Sobreexplotado

Fuente: Gomez-Reyes (2013).

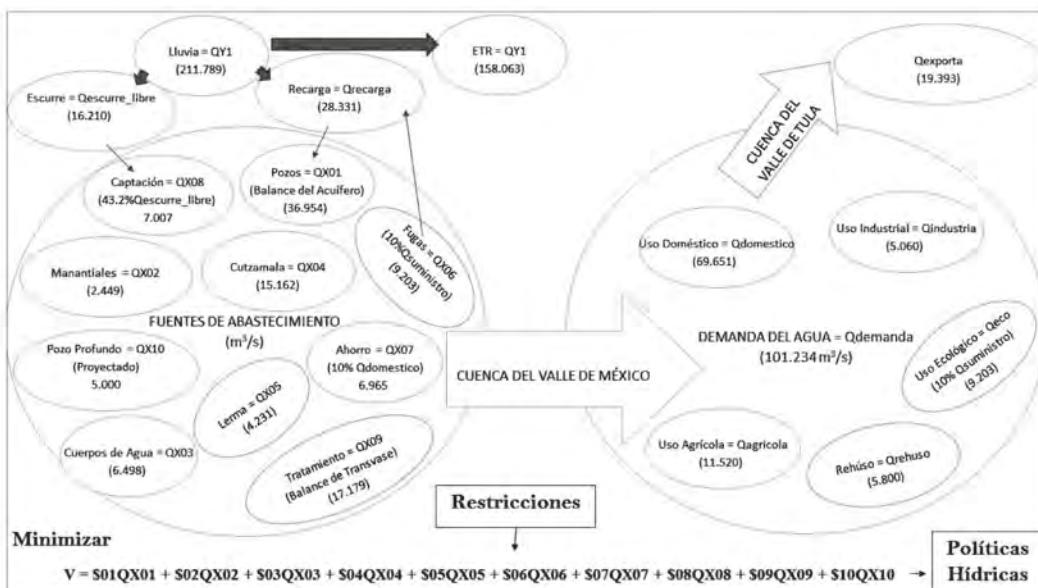
Análisis de operación del sistema hidrológico de la CVM

La descripción del sistema hidrológico y el análisis del balance hídrico de la cuenca del Valle de México permiten vislumbrar varias alternativas para incrementar el abastecimiento de agua en la ZMCDMX que no han sido implementadas antes, o a las que se les ha dedicado poco esfuerzo para instrumentarlas. Este estudio no estaría completo si no se incluyera el análisis de la operación del sistema hidrológico de la CVM para optimizar las alternativas de abastecimiento a la ZMCDMX, para todas las fuentes disponibles incluyendo las diagnosticadas y las recientemente exploradas, que resulten en mínimos costos y que tiendan hacia la sustentabilidad hídrica de la cuenca. Estas fuentes de abastecimiento pueden incorporarse como parte de las variables de decisión que conforman el modelo de optimización de operación del sistema hidrológico de la CVM (Figura 3) para maximizar los beneficios del uso del agua.

Tanto desde el lado de la oferta (fuentes de abastecimiento) como de la demanda (consumo de agua), el modelo considera varios elementos a especificar. Desde la perspectiva de la oferta, la fuente de abastecimiento más importante a la ZMCDMX son los aprovechamientos de agua subterránea, principalmente provenientes de los 2,781 pozos de extracción perforados dentro del territorio de la cuenca del Valle de México (57.920 m³/s). El sistema Lerma también aporta agua a la ZMCDMX de aprovechamientos subterráneos, pero aquí se contabilizan como fuentes de importación proveniente de los trasvases de las cuencas vecinas a la CVM. El aprovechamiento de manantiales ubicados en la CVM es también una fuente de agua subterránea que abastece modestamente (2.449 m³/s) a la ZMCDMX; en su aporte se han considerado también aquellos aprovechamientos de ríos perennes, toda vez que su flujo base proviene del agua subterránea. Así mismo, la principal problemática hídrica en la CVM es generada por la sobreexplotación del acuífero. Con la determinación de revertir esta problemática, la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Valle de México para abastecer de agua de manera sustentable a la ZMCDMX, requiere que se tenga estabilidad del acuífero, *i.e.*, el nivel piezométrico anual de las aguas subterráneas se mantenga sin descender. Este requerimiento genera una restricción en el límite extracción de agua subterránea por los pozos, equivalente a la recarga del acuífero (la recarga natural inducida por la infiltración, más la generada por las fugas de agua).

FIGURA 3

Conceptualización del modelo de optimización de operación del sistema hidrológico de la CVM para maximizar los beneficios del uso del agua



Fuente: Gomez-Reyes (2013).

La segunda fuente importante de abastecimiento de agua a la ZMCDMX lo constituye las importaciones del sistema Lerma-Cutzamala (19.393 m³/s) provenientes de cuencas vecinas a la del Valle de México. El sistema Cutzamala conduce agua de aprovechamientos superficiales que se vienen trasvasando desde la presa Tuxpan, en la Región Hidrológica del Balsas, hasta la del Valle de Bravo, en la Región Hidrológica del Lerma-Santiago. El sistema Lerma trasvaza agua de aprovechamientos subterráneos localizados en la cuenta Alta de Lerma. Ambos sistemas, han tenido variación en los flujos de aporte para el abastecimiento a la ZMCDMX, desde sus inicios de funcionamiento hasta los años 90's; en el siglo XXI sus aportes han permanecido con pequeñas fluctuaciones. Se han preparado e iniciado programas para ampliar el flujo actual de aporte, principalmente del sistema Cutzamala. Sin embargo, los conflictos sociales por los trasvases de agua han detenido estas obras por lo que, de momento, no se contempla un incremento adicional de abastecimiento de agua a la ZMCDMX proveniente del sistema Lerma-Cutzamala.

Otras fuentes de abastecimiento a la ZMCDMX lo constituyen los aprovechamientos de agua superficiales de los cuerpos de agua ($Q_{cuerpos}$; variable QX03) dentro de la CVM. Aunque este abastecimiento (6.498 m³/s) está destinado exclusivamente para el riego agrícola. Así mismo, se cuenta con el abastecimiento de agua residual tratada (5.800 m³/s) cuyo destino actual es para el reúso público urbano (2.1 m³/s), reúso industrial (0.5 m³/s) y para el reúso agrícola (3.2 m³/s). Esta fuente de abastecimiento puede incrementarse con el tratamiento exclusivo de agua residual (sin aporte pluvial) hasta 36.572 m³/s (i.e., los 52.782 m³/s que se tiene aforado que salen en promedio anual del drenaje combinado hacia la cuenca del río Tula, menos 16.210 m³/s que in-

gresan del escurrimiento libre). Sin embargo, su límite queda restringido a mantener el equilibrio de transvases, *i.e.*, hasta 17.179 m³/s para mantener la exportación a la cuenca de Tula igual a la importación del sistema Lerma-Cutzamala (19.393 m³/s).

Para atender este requerimiento de equilibrio de transvases, se hace necesario la liberación de caudales que se desalojan fuera de la CVM. Esto se puede lograr mediante la modernización de los distritos de riego (DR) del valle del Mezquital en la cuenca de Tula; incluyendo obras estructurales suplementarias en la zona de irrigación como nivelación de parcelas, alienación de canales de riego, así como estrategias no estructurales de capacitación, asistencia técnica y consultoría en el uso de equipo mecánico que hagan más eficiente la producción agrícola, y también cambios en las prácticas de manejo de suelos, irrigación (de inundación a dispersión y goteo), cultivos con mejor rendimiento económico (hortalizas), de alta demanda de exportación y en el mercado de la ZMCDMX, de manera tal que incentive a los campesinos o agricultores con mayores ingresos que los vigentes (Buenrostro-Hernández, 2006). La superficie cultivada en los DR del valle del Mezquital (03 Tula, 100 Alfajayucan, 08 Metztitlán y 28 Tulancingo) suma 81,092 hectáreas y requiere de aproximadamente 48.295 m³/s de agua para su irrigación mediante el sistema de inundación (Arana-Muñoz y Monroy-Hermosillo, 2000). En el escenario de utilizar un sistema de riego combinado entre aspersión y goteo, el requerimiento de agua para irrigación se reduciría en un 60%, *i.e.*, el volumen de agua requerido ahora sería de sólo 19.260 m³/s y puede reducirse hasta 15.523 m³/s si solamente se emplea goteo, además de que los costos del riego tecnificado son apenas el doble que los tradicionales. Esto quiere decir que además de liberar agua residual para su tratamiento y reuso en la cuenca del Valle de México, también se generarían volúmenes adicionales de agua (3.870 m³/s) que podrían estar disponibles para incrementar las áreas de cultivo en la cuenca de Tula. También debe considerarse que la reducción en la dotación de agua residual para riego agrícola en el valle del Mezquital, tendrá que ser favorecida con mejor calidad del agua a través del tratamiento del agua residual.

Por otra parte, dentro de las fuentes no convencionales de abastecimiento de agua para la ZMCDMX que se pueden incluir en el análisis son: (1) captación de los escurrimientos pluviales libres, (2) recuperación de volúmenes perdidos por fugas en el sistema hidráulico y (3) ahorro de agua para reducir la demanda. No todo el flujo de los escurrimientos pluviales libres debe ser captado, debe tomarse en cuenta que de ello dependen el gasto ecológico del uso ambiental del agua. Este último puede estimarse, en una primera aproximación, como el 10% del suministro total de agua a la CVM, *i.e.*, 9.203 m³/s. Luego entonces, el límite de la captación de los escurrimientos pluviales libres estaría restringido a menos de la mitad (43.2%) de su flujo, *i.e.*, 7.007 m³/s. Este volumen de captación es posible lograrlo en la ZMCDMX mediante la intercepción del escurrimiento superficial antes de que llegue al sistema de drenaje y se mezcle con las aguas residuales, de esta manera el tratamiento de agua de lluvia para fines potable y/o de recarga será sencillo y barato; la lluvia proporciona la mejor calidad de agua potable disponible de manera natural (Han, 2011). La falta de infraestructura en la ZMCDMX para el almacenamiento de la captación (Sacmex, 2012), permite sugerir la construcción de sistemas de recarga-recuperación con pozos de absorción, en donde el agua de lluvia es almacenada en el acuífero, como si fuera una presa de almacenamiento, para su uso posterior.

En un sistema de recarga-recuperación, el agua de recarga desplaza al agua subterránea debido a su heterogeneidad y de acuerdo al flujo subterráneo. Cuando la demanda incrementa durante el estiaje, el agua de recarga puede ser recuperada para suplir el déficit en el suministro. En muchos sistemas de recarga-recuperación, el agua es tratada antes de ser infiltrada para evitar riesgos de contaminación al agua subterránea (Lowry and Anderson, 2006). En nuestro caso, se deben implementar filtros para el agua de recarga, con la finalidad de eliminar sólidos suspendidos que pudieran incorporar adherencias de microorganismos y, al mismo tiempo, evitar la colmatación del pozo de absorción. Asimismo, es conveniente implementar la ozonización para garantizar la eliminación de microorganismos patógenos que pudieran pasar los filtros de partículas. Con esta tecnología se aprovecha de manera sustentable el agua de lluvia, en cumplimiento con la normatividad ambiental establecida. Este tipo de acción también ayudará, además de mitigar problemas de encharcamientos y del abatimiento del nivel freático del agua subterránea que reducen el impacto respectivo en daños de inundación y de hundimiento de la ciudad, a mejorar la calidad del agua nativa del acuífero, toda vez que la mezcla con agua de recarga pluvial de buena calidad, favorece la dilución de contaminantes (Gomez-Reyes, 2012).

Por otra parte, la recuperación de volúmenes perdidos por fugas en el sistema hídrico ($15.971\text{ m}^3/\text{s}$), a través de las medidas de reducción de pérdidas, representa una fuente no convencional de abastecimiento de agua equivalente al 17.3% del suministro total de agua a la ZMCDMX ($92.031\text{ m}^3/\text{s}$) y, en magnitud, es prácticamente igual al transvase del sistema Cutzamala ($15.162\text{ m}^3/\text{s}$). La importancia en atender la problemática de las fugas en el sistema hídrico radica en el hecho de que tanto el esfuerzo y los volúmenes de agua que se traen de otras cuencas (sistema Cutzamala) se desperdicia por las fugas de agua, de allí que una política de importación de agua a la CVM no es aceptable porque se tiraría el agua. En un caso hipotético, si se eliminaran las fugas en la CVM, se podrían dejar de extraer aproximadamente $16\text{ m}^3/\text{s}$ de agua subterránea, abatiendo el déficit en la recarga del acuífero, desacelerando así los hundimientos y obteniendo agua potable de manera sustentable. Sin embargo, sabemos que es imposible eliminar el 100% de las fugas, no obstante, mediante la correcta implementación de tecnologías modernas y estrategias adecuadas, se puede lograr un nivel mínimo aceptable de fugas que permita recuperar la mayor parte de los volúmenes perdidos. De acuerdo con experiencias internacionales y nacionales, se puede hacer posible una reducción de pérdidas de agua debido a fugas por debajo del 10 por ciento como sucede en las ciudades de Tijuana y Monterrey; Tokio tiene un 3.5% de fugas, Los Ángeles 9% (Ojeda-Ramírez, 2012). Se puede considerar que, con un buen programa de detección y de control de fugas en la ZMCDMX, es posible aspirar a niveles de pérdidas del 10% del suministro total, por lo que aún existe un amplio potencial para recuperar volúmenes de agua por fugas ($9.203\text{ m}^3/\text{s}$).

Las fugas de agua en el sistema hídrico de CVM, están generalmente asociadas a fallas en la red de distribución de agua potable. Estas fallas son originadas principalmente por rupturas de las tuberías, i.e., subsidencia diferencial del terreno, golpe de ariete, asentamientos y movimientos telúricos, corrosividad del suelo, carga por tráfico, edad de la tubería. Las fugas también están asociadas a las pérdidas de agua por la baja calidad en las conexiones entre la red de distribución secundaria y las tomas domiciliarias, así como a los residuos de fabricación en la superficie

interna de la tubería que incrementan la rugosidad y reducen la capacidad de conducción de la red. La evaluación del gasto recuperado por reparación de fugas, tanto visibles y como no visibles, en porcentaje relativo al diámetro de tubería reparada en el sector noroeste de la delegación Iztapalapa, ha mostrado que, las fugas en las redes secundarias y primarias son las que más contribuyen a la perdida de agua que las fugas en las de tomas domiciliarias (Gómez-Reyes y Galván-Fernández, 2000). Para solucionar las fugas visibles, en las redes secundarias y primarias, se cuenta con los reportes de los ciudadanos afectados. Sin embargo, la solución de fugas no visibles presenta un reto superior en cuanto a su localización, dado que es muy frecuente encontrar fugas que han producido canalizaciones y, en caso de emergencia, afloran en sitios apartados de la falla de la tubería, por lo que es necesario recurrir a técnicas específicas de localización que permiten ubicar con precisión el sitio donde está el daño y reducir así el tiempo y el costo en la recuperación de los volúmenes de agua perdidos por estas fugas.

Para contar con un buen plan de recuperación de volúmenes perdidos por fugas, se hace necesario, primero, la sectorización de la red de distribución de agua potable con el fin de tener un control en la conducción del agua. Luego, en cada sector se pueden reparar las fugas y/o reemplazar las tuberías de la red secundaria y primaria, así como sus conexiones con las tomas domiciliarias. Con estas acciones se estarían recuperando sectorialmente los volúmenes de agua perdidos por fugas, mientras las nuevas tuberías no presenten ruptura por hundimiento diferencial del suelo. De allí que una política de reparación de fugas en la red de distribución de agua potable de la ZMCDMX no es explícitamente aceptable porque se seguirán presentando rupturas en las tuberías, al menos que se tengan acciones para la estabilización del nivel piezométrico en el acuífero, desacelerando así los hundimientos del suelo. El mismo plan de recuperación de volúmenes perdidos por fugas, no puede considerarse como una acción para lograr la estabilización del acuífero, pues si bien los volúmenes recuperados serían los que se dejarían de extraer, hay que tomar en cuenta que los volúmenes perdidos por fugas eventualmente pasan a formar parte de la recarga del acuífero, así que a medida que se recuperan los volúmenes de agua, la recarga decrecerá.

Ahora bien, a pesar de que se cuente con un buen plan de acciones para la estabilización del acuífero, las rupturas de la tubería pueden generarse por otras causas ya mencionadas. Consecuentemente, se hace necesario acompañar al plan de recuperación de volúmenes perdidos por fugas, de un método eficiente para la detección de fugas, especialmente las no visibles, y proceder con su pronta reparación. Se han utilizado diversos métodos para auxiliarse en la detección y en la localización de las fugas no visibles, *v.gr.*, en el control de presión, en los distritos hidrométricos, trazadores y sondeos acústicos. Estos métodos presentan los inconvenientes de ser laboriosos de implementar, muy costosos, de aplicación periódica, de mediana efectividad y no ofrecen la alternativa de la detección oportuna de las fugas. Un método adecuado debe considerar un catastro técnico del sistema de buena calidad, detallado, actualizado e interactivo. En este catastro se debe incluirse información de tipo: social (planos urbanos, densidad y distribución socioeconómica de la población, uso del suelo, registro de usuarios, zonas de consumos), física (corrosividad del suelo, fallas y fracturas, zonas de hundimientos y levantamientos, carga por tráfico), de la red de distribución (ubicación y operación de válvulas, tipo y edad de tuberías

y válvulas, conexiones y profundidad de tendido) y de su operación hidráulica (zonas de presión, caudales, velocidades, distribución y operación de pozos y tanques de regulación). A pesar del consenso de que este método es adecuado para la localización de fugas, ha sido difícil de realizar debido a la gran cantidad de información que debe integrarse y a la combinación de ésta para localizar las fugas. Recientemente, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfico (SIG) ha permitido incorporar información como la contenida en un catastro técnico del sistema de distribución de agua potable. Asimismo, en la última década se han desarrollado algoritmos numéricos para la simulación del flujo transitorio en tuberías de redes de distribución de agua potable, que no sólo son capaces de simular el flujo, sino también de localizar las fugas. Por lo que ahora es posible implementar el método adecuado para la localización de fugas no visibles en la Ciudad de México (Gomez-Reyes *et al.*, 2009).

A la par, otra de las fuentes no convencionales de abastecimiento hídrico para la ZMCDMX considerada en este análisis es fomentar el ahorro del agua para reducir la demanda. En este caso, se hace necesaria la participación ciudadana a través del ahorro y la recirculación de agua, lo que conlleva hacia una nueva cultura. Las acciones para lograrla conllevarán a que se haga un uso racional del líquido vital en la cuenca del Valle de México, basadas principalmente en el uso de implementos y sistemas ahorradores. El uso doméstico del agua en la CVM es de 69.651 m³/s y equivale a una dotación confort de 200 litros/día/habitante (más el uso de agua en servicios que están conectados a la red de distribución de agua potable) compensado por las fugas que se presenta en la red de distribución (*i.e.*, eficiencia de distribución). Un ahorro del 10% en el uso del agua doméstico equivaldría a un incremento en la disponibilidad para abastecimiento de 6.965 m³/s, lo que personificará en realizar las actividades domésticas diarias con una cubeta de 20 litros menos del tambo de 200 litros que corresponde a la dotación confort.

La medida del uso de sistemas ahorradores para reducir el consumo doméstico, consisten en el reutilizar el agua del aseo personal (baño y lavadora) para los muebles sanitarios y riego del jardín, con un mínimo tratamiento (filtros de carbón activado) para disminuir el efecto agresivo del jabón; basado en los hábitos culturales de que alrededor del 40% del agua en los hogares es usada en los muebles sanitarios y en el riego del jardín, y una misma cantidad (*i.e.*, 40%) para el aseo personal. Para ello se requiere adquirir un segundo depósito para el almacenamiento de las aguas grises y un segundo sistema de tubería para conducir las aguas grises a los muebles sanitarios; aprovechando la potencia de la bomba de la lavadora es posible elevar las descargas de estas aguas grises para no tener que adaptar un segundo sistema de bombeo. Con este tipo de medida, la reducción de la demanda de agua en los hogares disminuye fácilmente más allá del 10% (casi la mitad, 40%). Otras medidas para reducir el consumo doméstico consisten en el reemplazo de accesorios hidráulicos ahorradores de aguas (regaderas, tanques sanitarios de bajo volumen, sanitarios secos, etc.).

Finalmente, estamos considerando una alternativa, recientemente en exploración, por la Conagua para ampliar el abastecimiento de agua para los habitantes de la CDMX, la extracción de agua del acuífero profundo (*QX10*) que subyace la CVM. Se trata del Programa de Exploración y Explotación de Pozos Megaprofundos (2,000 a 3,000 m de profundidad), coordinado entre Petróleos Mexicanos (PEMEX), Sacmex, Conagua y el Instituto de Geología de la UNAM, cuya importancia

es conocer los estratos profundos diferentes al actual acuífero superficial de la cuenca del Valle de México, al mismo tiempo, confirma la posibilidad de obtener agua subterránea del acuífero profundo. El proyecto de la perforación de pozos profundos en el acuífero del Valle de México inició hace 30 años, después del sismo del 19 de septiembre de 1985, cuando PEMEX realizó estudios exploratorios de los suelos del Valle de México para mejorar el reglamento de construcción de infraestructura, donde se determinaron las características geológicas del subsuelo y se distinguieron un acuífero profundo.

El proyecto de la perforación de pozos profundos fue iniciado por Sacmex, con el pozo San Lorenzo Tezonco, cercano a la Central de Abasto de la Delegación Iztapalapa, a 2 mil metros de profundidad y puesto en operación en 2013; con esta perforación se identificó la estratigrafía del subsuelo y se determinó el potencial del manto acuífero profundo como una nueva fuente de abastecimiento a la CDMX. Luego, ya con la participación de los demás integrantes del Programa de Exploración y Explotación de Pozos Megaprofundos, se perforó un segundo pozo profundo en la colonia Magdalena Mixhuca, a un costado del Autódromo Hermanos Rodríguez, entre las delegaciones Iztacalco y Venustiano Carranza. El tercero fue el pozo Santa Catarina 3A, ubicado en el interior del Vivero Nezahualcóyotl, delegación Xochimilco. Un cuarto pozo profundo se perforó en Santa Fe, sobre el vaso regulador (a un costado del Centro Bancomer) del viejo centro comercial. El quinto pozo profundo se está terminando de perforar en las faldas del Cerro de la Estrella. La infraestructura de los pozos profundos está diseñada para la extracción entre 110 y 120 litros por segundo, lo que significa hasta tres tantos de los otros pozos del acuífero superficial. La proyección de abasto de agua del acuífero profundo es de 5 m³/s, i.e., alrededor de 40 pozos profundos.

La extracción de los pozos profundos no está contabilizada en el balance hídrico de la CVM porque aún se consideran pozos pilotos; aunque estos pozos continúan dando agua y se aprovechan para abastecer localmente Santa Fe y al sector oriente y de la CDMX. Además, su aprovechamiento no es directo, v.gr., se requiere de plantas de tratamiento para eliminar fierro y manganeso y para su potabilización, pero más importante, se necesita de sistemas de mezcla con agua de otras fuentes para lograr bajar la temperatura de extracción de más de 50° C, hasta temperaturas aceptables menores de 30° C; el pozo profundo de la colonia Magdalena Mixhuca permanece cerrado porque se extrajo CO₂ en vez de agua.

En cuanto a la demanda, los elementos a especificar del modelo de optimización de operación del sistema hidrológico de la CVM son los consumos de agua por los diversos usos. Para fines prácticos, los usos del agua se han agregado en doméstico, agrícola, industrial, ecológico y reuso (i.e., usos consuntivos); aunque no se tiene el uso no consuntivo (hidroeléctricas) en la CVM, debe aclararse que, la misma agua de turbina es contabilizada como parte del uso consuntivo al que sea destinada. Siguiendo al REPDA, los rubros que comprende la clasificación de estos usos del agua agregados son los siguientes: (1) Doméstico: abastecimiento doméstico y público urbano; (2) Agrícola: incluye pecuario, acuacultura, múltiples usos y otros usos; (3) Industrial: en esta modalidad se incluyen los usos industriales, agroindustriales, servicios y comercio que son autoabastecidos ya sea por una red de distribución adoc o por pozos concesionados; (4) Ecológico:

incluye el uso del agua ecológico para el sostenimiento del medio ambiente; (5) Reúso: incluye los rubros de los usos doméstico, agrícola e industrial.

Del total del volumen concesionado para usos agrupados consumtivos ($86.231\text{ m}^3/\text{s}$), el mayor uso en la CVM es el doméstico, con 80.8%, seguido del uso agrícola (13.3%) e industrial (5.9%). Es importante destacar que el volumen de reúso de agua ($5.800\text{ m}^3/\text{s}$) es exactamente al volumen que se genera de agua residual tratada. Así mismo, el uso ecológico del agua no está contemplado en la actualidad. Este último puede estimarse, a primera aproximación, como el 10% del suministro total de agua a la CVM, *i.e.*, $9.203\text{ m}^3/\text{s}$.

Escenario de solución del modelo de optimización

De acuerdo con el funcionamiento y análisis de operación del sistema hidrológico de la CVM, el modelo de optimización considera 10 fuentes de abastecimiento (Cuadro 3) para satisfacer la demanda de agua en la ZMCDMX. Cada una de estas variables tienen limitaciones de flujos de abastecimiento, algunas están determinadas por las condiciones naturales o de desarrollo de infraestructura (*v.gr.*, transvase del sistema Lerma-Cutzamala, aportes de manantiales, aprovechamientos de cuerpos de agua superficiales), mientras que en otras sus límites se establecen de acuerdo con las restricciones que se hacen a esas variables, como es el caso del abastecimiento de aprovechamientos de agua subterránea por pozos de extracción. En este caso, se busca una solución sustentable de abastecimiento que satisfaga la demanda, *i.e.*, al mismo tiempo que mantenga en equilibrio al acuífero. Por lo que la restricción a la extracción $QX01$ sea a lo más igual a la recarga, considerada como la generada por la infiltración natural más el aporte de las fugas, *i.e.*:

$$QX01 \leq Q_{recarga} + QX06 \quad (1)$$

Como ya se argumentó, es posible aspirar a niveles de pérdidas del 10% del suministro total de agua a la ZMCDMX, por lo que la recuperación de volúmenes de agua por fugas $QX06$ abastecería en la cantidad de $9.203\text{ m}^3/\text{s}$. Asimismo, un ahorro del 10% en el uso del agua doméstico equivaldría a un incremento en el abastecimiento $QX07$ de $6.965\text{ m}^3/\text{s}$, semejante a realizar las actividades domésticas diarias con una cubeta de 20 litros menos del tambo de 200 litros que corresponde a la dotación confort. Por otra parte, aunque todo el flujo de los escurrimientos pluviales libres puede ser captado, aquí consideramos que hasta aproximadamente un 43.2% de este escurrimiento (*i.e.*, $7.007\text{ m}^3/\text{s}$) podría abastecer de agua la ZMCDMX. Se debe tomar en cuenta que de esta fuente dependerá el gasto ecológico del uso ambiental del agua; aproximadamente al 10% del abastecimiento total a la CVM, *i.e.*, $9.203\text{ m}^3/\text{s}$. En cuanto al abastecimiento de agua residual tratada $QX09$, esta fuente puede incrementarse con el tratamiento exclusivo de agua residual (sin aporte pluvial) hasta $36.572\text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, su límite queda restringido a mantener por lo menos el equilibrio de transvases, *i.e.*, hasta $17.179\text{ m}^3/\text{s}$ para mantener la exportación a la cuenca de Tula igual a la importación del sistema Lerma-Cutzamala ($19.393\text{ m}^3/\text{s}$). Finalmente, consideramos el abastecimiento del acuífero profundo $QX10$, a su nivel proyectado de $5\text{ m}^3/\text{s}$.

CUADRO 3
Variables de decisión del modelo de optimización de la CVM

Fuentes de abastecimiento		Flujo (m ³ /s)	
Descripción	Variable	Límite Superior	Restricción
Pozos	<i>QX01</i>	36.954	Estabilización del acuífero
Manantiales	<i>QX02</i>	2.449	Nivel actual
Cuerpos de Agua	<i>QX03</i>	6.498	Nivel actual
Cutzamala	<i>QX04</i>	15.162	Nivel actual
Lerma	<i>QX05</i>	4.231	Nivel actual
Fugas	<i>QX06</i>	9.203	10% del Qsuministro
Ahorro	<i>QX07</i>	6.965	10% del Qdoméstico
Captación	<i>QX08</i>	7.007	43.2% del Qescurre_libre
Tratamiento	<i>QX09</i>	17.179	Estabilización de transvases
Pozos Profundos	<i>QX10</i>	5.000	Nivel proyectado

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la demanda, el modelo de optimización considera el consumo de 5 usos agregados de agua (Figura 3): Doméstico, Industrial, Agrícola, Rehuso y Ecológico. En conjunto (Q_{demanda}), estos usos demandan un total de 101.234 m³/s, de los cuales para el uso público urbano son 69.651 m³/s, para el uso industrial 5.060 m³/s, para el uso agrícola 11.520 m³/s, de rehuso son 5.800 m³/s y para el uso ecológico 9.203 m³/s. Este último no está contemplado en el balance actual del agua de la CVM, porque es bien sabido que con este uso la demanda excede el abastecimiento. En el caso del escenario planteado en el modelo de optimización, existen 10 fuentes de abastecimiento que bien pueden abastecer el uso ecológico y los demás usos en la CVM. De hecho, una de las restricciones fundamentales en este modelo es que los aportes de todas las fuentes de abastecimiento consideradas, tanto las existentes como las potenciales, superficiales, subterráneas y de aguas residuales, se satisfaga la demanda por los usos del agua en la CVM, *i.e.*:

$$\sum_{i=1}^{10} QX0_i \geq Q_{\text{demanda}} \quad (2)$$

El objetivo del modelo de optimización es minimizar las aportaciones y los costos en el abastecimiento de agua a la ZMCDMX para satisfacer la demanda, sujeto a las restricciones de los flujos (Ec. 1 y 2) y de aquellas especificadas en el Cuadro 3 que determinan los límites de estos volúmenes de abastecimiento. De manera tal que, como resultado del modelo de optimización, se generen los parámetros de referencia técnica para la ejecución de las políticas del abastecimiento de agua en la CDMX. Por ello, la función a minimizar (*i.e.*, la función objetivo V) es el producto de los aportes de abastecimiento ($QX0_i$) y los costos incurridos para ello ($\$0_i$):

$$V = \sum_{i=1}^{10} (\$0_i \cdot QX0_i) \quad (3)$$

La solución del problema de optimización consiste en obtener las condiciones de las variables de decisión $QX0i$ ($i=1:10$) para $\min V$. Para ello, se requeriría determinar los costos involucrados en cada una de las alternativas de abastecimiento de agua (*i.e.*, $\$01$) para completar la función objetivo V (Ec. 3). El costo incluye aquellos derivados de la construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras de abastecimiento (v.gr., canales, plantas de tratamiento de agua), considerando la vida útil de cada opción de abastecimiento, así como también los costos del transporte del agua.

Siguiendo el procedimiento de Downs *et al.* (2000), aquí también utilizamos estimaciones de Costos Relativos Unitarios (CRU) para cada una de las alternativas de abastecimiento de agua. Por conveniencia y para referencia, se eligió el valor del CRU como 1 para el abastecimiento de agua subterránea a través de pozos de extracción ($\$01$). Igualmente, el CRU de 1 fue asignado para el abastecimiento mediante el ahorro de agua ($\$07$), aludiendo también a que a las medidas para este abastecimiento (*i.e.*, cambios en los hábitos y sustituciones tecnológicas que ahorran agua) son muy rentables para consumidores medianos a altos volúmenes, aunque limitado por los precios efectivos. De hecho, el CRU para $\$07$ debería ser menor de 1 para el caso cuando sólo cambios de hábitos y dispositivos ahorradores están involucrados. Sin embargo, se conservó el valor de 1 para el CRU en los casos de que sea necesario instalar válvulas dosificadoras en las tomas domiciliarias, por parte de los organismos operadores del agua en la CVM.

Para el caso del CRU del abastecimiento por tratamiento ($\$09$), Downs *et al.* (2000) reportaron estimaciones de acuerdo con el destino del agua tratada: 1.26 para uso doméstico, 1.04 para la industria y 0.74 para el uso agrícola. Estas estimaciones consideraron el costo de la tecnología de tratamiento primario para el rehuso agrícola, además del costo de tratamientos secundarios y terciarios para el rehuso industrial y, adicionalmente, el costo de tratamiento avanzado para el rehuso doméstico. Así mismo, el costo de infraestructura nueva para incorporar agua tratada en el sistema de distribución fue considerado mediante el aumento del 50% en tratamiento base correspondiente para cada rehuso. En nuestro caso, utilizamos un promedio ponderado de las estimaciones reportadas por Downs *et al.* (2000), de acuerdo con la demanda de cada uso (incluyendo el rehuso); el uso ecológico se agregó al uso agrícola. Resultando en un CRU promedio de 1.12 para $\$09$ aplicado a la CVM.

El CRU del abastecimiento del agua del sistema Lerma ($\$05$), Downs *et al.* (2000) lo estiman en 1.17. Mientras que calcula estimaciones para el sistema Cutzamala para sus tres fases desarrolladas en 1.30, 1.43 y 1.43; el promedio aritmético de estas estimaciones (1.39) lo usamos aquí como el CRU del abastecimiento de agua del Cutzamala ($\$04$). Downs *et al.* (2000) también presentan estimaciones para los CRU del abastecimiento por cuerpos de agua superficiales ($\$03$) y por manantiales ($\02), en 0.87 y 1.00, respectivamente, aplicados del mismo modo aquí. Por otra parte, el CRU del abastecimiento por captación de agua pluvia ($\$08$) se estimó en base al Plan de Recarga del Acuífero de la Alcaldía de Iztapalapa (Gomez-Reyes, 2012), en donde se cotizó el aprove-

camiento de la captación pluvial mediante sistemas de recarga-recuperación. Para la recarga se consideró el costo de pozos de absorción a cielo abierto y perforados, en una proporción de 5% y 95%, respectivamente. Los costos involucrados en la excavación de pozos consideran tanto la inversión en la infraestructura como en el mantenimiento. Obteniéndose un costo de \$11.90/m³ de agua, que comparado con la alternativa de abastecimiento del sistema Cutzamala del Nuevo Temascaltepec (\$22.60/m³) resulta en una proporción del 52.65%. El CRU del abastecimiento por el Nuevo Temascaltepec fue estimado por Downs *et al.* (2000) en 1.18. Por lo tanto, aquí se aplicó un valor de 0.62 para \$08, *i.e.* el 52.65% del CRU del abastecimiento por el Nuevo Temascaltepec.

**CUADRO 4
Costo Relativo Unitario (CRU) del abastecimiento de agua a la CVM**

Condición	Fuentes de abastecimiento		CRU	
	Descripción	Variable		
Actual	Pozos	\$01	1.00	5.43
	Manantiales	\$02	1.00	
	Cuerpos de Agua	\$03	0.87	
	Cutzamala	\$04	1.39	
	Lerma	\$05	1.17	
Alterna	Fugas	\$06	0.56	3.30
	Ahorro	\$07	1.00	
	Captación	\$08	0.62	
	Tratamiento	\$09	1.12	
Extrema	Pozos Profundos	\$10	10.00	10.00

Fuente: adaptada de Downs *et al.* (2000).

En cuanto al CRU por abastecimiento de pozos megaprofundos (\$10), dos mil a tres mil metros de profundidad, se obtuvo de la proporción de inversión de la perforación promedio de un pozo profundo (100 millones de pesos), respecto a la perforación promedio de los pozos en la CVM de aproximadamente 400 a 600 metros de profundidad (10 millones de pesos); *i.e.*, CRU para \$10 resultó 10.00. Finalmente, el CRU por abastecimiento de la recuperación de volúmenes perdidos por fugas (\$06) se estimó equivalente al costo de infraestructura nueva para incorporar agua tratada en el sistema de distribución que, de acuerdo con Downs *et al.* (2000), es del 50% del CPU por abastecimiento de agua tratada, *i.e.*, el CRU estimado para \$06 fue de 0.56. El Cuadro 4 presenta el resumen de los CRU aplicados al abastecimiento de agua a la CVM.

Un análisis de la política hídrica desde la perspectiva de la optimización

Ahora, procedemos a optimizar todas las posibles opciones de suministro de agua a la ZMCDMX que satisfacen la demanda para los diversos usos doméstico, industrial, agrícola, ecológico y de rehuso (*i.e.*, resolver el mínimo de la Ec. 3), bajo alternativas sustentables que mantengan en equilibrio al acuífero que subyace la CVM y en balance los volúmenes de transvase (*i.e.*, restricciones de las Ec. 1 y 2, así como las indicadas en el Cuadro 3). La función objetivo y sus restricciones de este problema de optimización, forman ecuaciones (igualdades y desigualdades) algebraicas lineales que en conjunto configuran un Problemas de Programación Lineal y que lo resolvimos empleando el algoritmo dual-simplex, como se describe por Andersen y Andersen (1995) y por Nocedal y Wright (2006). La solución al problema de optimización (*i.e.*, condiciones de las alternativas de abastecimiento para el mínimo de Ec. 3) se muestra en el Cuadro 5.

CUADRO 5
Solución al problema de optimización para el abastecimiento de agua a la CVM

Fuentes de abastecimiento		Fuentes		Abastecimiento (%)
Descripción	Variable	Límite	Óptimo	
Pozos	<i>QX01</i>	36.954	32.562	32.17
Manantiales	<i>QX02</i>	2.449	2.449	2.42
Cuerpos de Agua	<i>QX03</i>	6.498	6.498	6.42
Cutzamala	<i>QX04</i>	15.162	15.140	14.96
Lerma	<i>QX05</i>	4.231	4.231	4.18
Fugas	<i>QX06</i>	9.203	9.203	9.09
Ahorro	<i>QX07</i>	6.965	6.965	6.88
Captación	<i>QX08</i>	7.007	7.007	6.92
Tratamiento	<i>QX09</i>	17.179	17.179	16.97
Pozos Profundos	<i>QX10</i>	5.000	0.000	0.00

Fuente: elaboración propia.

La solución al problema de optimización muestra que existe una alternativa óptima para el abastecimiento de agua a la ZMCDMX que permite mantener en equilibrio al acuífero (*i.e.*, extracción igual a recarga) y que considere el uso ecológico del agua. Para ello se requiere utilizar los volúmenes de aguas de las fuentes de abastecimiento actuales (manantiales, cuerpos de agua superficiales, importación del sistema Lerma-Cutzamala), excepto que la extracción de agua subterránea se límite a sólo 32.562 m³/s (4.392 m³/s por debajo del límite tolerable para mantener el equilibrio del acuífero). Adicionalmente se requiere aplicar cambios de hábitos y dispositivos ahorradores de agua en los hogares, para lograr un ahorro del 10% en el actual uso doméstico

del agua, así como implementar la infraestructura de captación de agua de lluvia (sistemas de recarga-recuperación) para el aprovechamiento pluvial de aproximadamente 50%. Asimismo, se requiere bajar los niveles de volúmenes perdidos de agua por fugas hasta un 10% de perdidas. También es necesario mantener en balance los volúmenes de exportación e importación de agua para lograr un volumen de tratamiento de 17.179 m³/s.

Si bien estos volúmenes adicionales de abastecimiento de agua a la CDMX son los óptimos para lograr la sustentabilidad hídrica en la CVM, también son los que requieren mayor diversidad de esfuerzos tanto en los sectores sociales como en los administrativos de la gestión del agua, porque todas estas fuentes alternas de abastecimiento tienen que ser activadas y ponerse en marcha al mismo tiempo. Sin embargo, comparado con la estrategia de abastecimiento del acuífero profundo, los volúmenes alternos resultan viables porque la suma de todos ellos sólo representa 1/3 del costo de extracción de agua con pozos profundos (Cuadro 4). Además, en este contexto es necesario reconocer la importancia ecológica y económica que se deriva del rehuso del agua en las zonas urbanas de México, en cuanto a alcanzar el equilibrio de los acuíferos y los beneficios a que esto conlleva (recuperación de lagos y humedales, restablecimiento de los caudales base de ríos, incremento del rendimiento de los pozos de extracción, abatimiento de los asentamiento y agrietamiento del terreno, descontaminación del agua subterránea, mayor disponibilidad de agua para los usuarios). Y se tiene que considerar que la diversidad en abastecimiento (Cuadro 5) implica mayor resiliencia hídrica para la CDMX ya que pueden restablecerse las condiciones de abastecimiento de manera rápida en caso de falla en alguna de las fuentes.

Conclusiones

La solución sustentable al problema de optimización del abastecimiento de agua a la CDMX indica que se requiere utilizar los volúmenes de aguas de las fuentes de abastecimiento actuales (manantiales, cuerpos de agua superficiales, importación del sistema Lerma-Cutzamala), excepto que la extracción de agua subterránea se límite a sólo un 32.17% de la demanda total de agua en la CVM. Para lograr este reto, se requiere implementar un Plan de Abastecimiento de Agua en la CDMX que incluya las siguientes políticas hídricas:

1. Establecer el equilibrio del acuífero hasta igualar la extracción con la recarga. A medida que se instrumenten las demás políticas para el abastecimiento de agua en la CDMX y se avance en el reestableciendo del equilibrio del acuífero, se puede acelerar este equilibrio mediante el “transvase” de agua de los acuíferos de la CVM con disponibilidad (Apán y Soltepec principalmente) hacia aquellos sobreexplotados (ZMCDMX y Cuautitlán-Pachuca, principalmente); ver por ejemplo la Figura 2 y el Cuadro 2.
2. Promover una cultura del agua para ahorrar 10% del consumo actual en los hogares. La instrumentación de esta política deberá acompañarse de cambios en hábitos personales

y de dispositivos ahorradores, en caso necesario de válvulas dosificadoras en vez de medidores para garantizar este ahorro y para tener una distribución más equitativa del vital líquido.

3. Establecer el balance de transvases para disponer de volúmenes de agua para su tratamiento y rehuso en la CVM. En este contexto, la política hídrica deberá promover obras y/o modificación de obras en proceso de construcción de PTAR de alta eficiencia de tratamiento, así como bajo costo energético y ambiental (procesos anaeróbico-aeróbico) para generar agua tratada con calidad para rehuso agrícola, industria y doméstico. Por otra parte, será también necesaria la inversión en obras para la adecuación de la red de drenaje, toda vez que esta fue diseñada para el desalojo de las aguas residuales y evitar las inundaciones durante la temporada de lluvias. Las adecuaciones consisten en el seccionamiento de la red para facilitar su conexión y con los volúmenes requeridos de agua residual por las PTAR; se alude el seccionamiento de la red delimitado por polígonos con no más de 1 millón de habitantes. Adicionalmente, las adecuaciones deberán considerar la infraestructura de la red para el reemplazo de aproximadamente $6 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua potable por agua residual tratada para uso agrícola e industrial, de manera tal que el agua potable únicamente sea para consumo doméstico. Asimismo se requiere considerar obras estructurales suplementarias en los Distritos de Riego del Valle de Tula, como nivelación de parcelas, alienación de canales de riego, así como estratégicas no estructurales de capacitación, asistencia técnica y consultoría en el uso de equipo mecánico que hagan más eficiente la producción agrícola, y también cambios en las prácticas de manejo de suelos, irrigación (de inundación a dispersión y goteo) y cultivos con mejor rendimiento económico (hortalizas), de alta demanda de exportación y en el mercado de la ZMCDMX, de manera tal que incentive a los campesinos o agricultores con mayores ingresos que los vigentes.
4. Captación y aprovechamiento del 50% de agua de lluvia para incrementar la recarga natural del acuífero principalmente, pero también para abastecimiento dirigido al uso doméstico e industrial, a través del desarrollo de infraestructura de sistemas de recarga-recuperación y de sistemas de captación y de aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones.
5. Recuperación de volúmenes perdidos por fugas para incrementar el abastecimiento y mejorar la eficiencia de distribución de agua en la CDMX. La instrumentación de esta política deberá considerar la sectorización de la red de distribución de agua potable con el fin de tener un control en la conducción del agua. Luego, en cada sector se pueden reparar las fugas y/o reemplazar las tuberías de la red secundaria y secundaria, así como sus conexiones con las tomas domiciliarias, hasta lograr bajar los niveles de volúmenes perdidos de agua por fugas hasta un 10% de perdidas. Se requiere considerar un método eficiente para la detección de fugas, especialmente las no visibles, y proceder con su pronta reparación. Cabe señalar que, con la aplicación de esta política hídrica, se estarían recuperando sectorialmente los volúmenes de agua perdidos por fugas, mientras las nuevas tuberías no presenten ruptura por hundimiento diferencial del suelo. De allí que el éxito de una

política de reparación de fugas en la red de distribución de agua potable de la CDMX está ligada a la estabilización del nivel piezométrico en el acuífero, desacelerando así los hundimientos del suelo, i.e., es deseable aplicar esta política una vez que se tengan acciones encaminadas hacia el establecimiento del equilibrio del acuífero.

Referencias

- Andersen E. D. & K. D. Andersen (1995). Presolving in linear programming. *Math. Programming*, 71, pp. 221-245.G
- Arana-Muñoz O. y O. Monroy-Hermosillo (2000). Demanda de agua no-potable en el Valle del Mezquital, en Evaluación y Análisis de Opciones para el Abastecimiento de Agua al Distrito Federal, Reporte Técnico F.00396, Sistema de Agua de la Ciudad de México.
- Buenrostro-Hernandez C. (2006). Drinking Water Supply to Mexico City, *Indian-Mexican Symposium on Water Management on Metropolis*, New Delhi, India, October 30-November 1, 2006.
- Conagua (2007). *Sistema hidrológico del Valle de México*. Comisión Nacional del Agua, México Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Humanos, 97 pp.
- Conagua (2008). Equilibrio hidrológico en la Cuenca del Valle de México. *XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil*, Luege-Tamargo, J. L. (conferencista) 30 de enero del 2008.
- Conagua (2011). *Agenda del Agua 2030*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 70 pp.
- Downs T. J.; M. Mazari-Hiriart; R. Domínguez-Mora, & I. H. Suffet (2000). Sustainability of least cost policies for meeting Mexico City's future water demand. *Water Resources Research*, 36 (8), 2321-2339.
- Gomez-Reyes, E. (2012). *Plan de recarga del acuífero de la Delegación Iztapalapa*. Reporte preparado para el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE). Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, UAM-Iztapalapa.
- Gomez-Reyes E. (2013). Valoración de las componentes del balance hídrico usando información estadística y geográfica: la cuenca del Valle de México. *Realidad, Datos y Espacio*, Vol. 4, Num. 3: 4-27.
- Gomez-Reyes E.; Téllez-Arrieta, V. H., y Quiñónez-Piñón, R. (2009). Detección de fugas no-visibles en redes de distribución de agua potable, en: Montero-Contreras, D.; Gomez-Reyes, E.; Carrillo-González, G., y Rodríguez-Tapia, L. (Eds.), *Innovación Tecnológica, Cultura y Gestión del Agua: Nuevos Retos del Agua en el Valle de México*. III: 245-258, Universidad Autónoma Metropolitana y Porrúa, México.
- Gómez-Reyes E. y A. Galván-Fernández (2000). *Reducción de la Demanda por Fugas en la Red*. Reporte de la Evaluación y Análisis de Perspectivas para el Abastecimiento de Agua en el Distrito Federal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

- Han M. (2011). *Promotion of Rain Cities for Climate Change Adaptation, Workshop Water and Climate Change*, Universidad de Guadalajara, Jal., México, Septiembre 8-9, 2011.
- Lafragua J.; A. Gutiérrez; E. Aguilar; J. Aparicio; R. Mejía; O. Santillán; M.A. Suárez y M. Preciado (2003). Balance hídrico del valle de México. *Anuario IMTA*, 2003: 40-46.
- Lowry C. S. and M. P. Anderson. 2006. An Assessment of Aquifer Storage Recovery Using Ground Water Flow Models. *Ground Water*, 44 (5): 661-667.
- Lu H. W.; G. H. Huang; Y. M. Zhang y L. He (2012). Strategic agricultural land-use in response to water-supplier variation in a China's rural region. *Agricultural Systems*. 108, 19-28.
- MAHICU (2010). Modelo Numérico de Manejo Hídrico de Cuencas. En: E. Gomez-Reyes (Coord.), *Modelación de los Sistemas Hídricos y Económicos de la cuenca del Valle de México*. Reporte del Proyecto de Investigación Multidisciplinaria de la UAM, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, UAM-Iztapalapa.
- Medellín-Azuar J.; L. G. Mendoza-Espinosa; J. R. Lund, y R. J. Ramírez-Costa (2007). The application of economic-engineering optimization for water management in Ensenada, Baja California, México. *Water Science and Technology*, 55 (1), 339-347.
- Molinos-Senante M.; F. Hernández-Sancho; M. Mochilí-Arce, y R. Sala-Garrido (2013). Optimización de la gestión de recursos hídricos en cuencas deficitarias. XXI Jornadas ASEPUA-IX Encuentro Internacional, *Anales de ASEPUA* nº 21: Número orden 1020.
- Nocedal J. & S. J. Wright (2006). Numerical Optimization. *Second Edition, Springer Series in Operations Research*, Springer-Verlag.
- Ojeda-Ramírez M. (2012). Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de Ciudad Universitaria de la UNAM. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 121 pp.
- Ortega-Álvarez J. F.; J. A. De Juan Valero; J. M. Tariuelo-Benito y E. López-Mata (2004). MOPECO: An economic optimization model for irrigation water management. *Irrigation Science*, 23 (2), 61-75.
- Ray P. A.; P. H. Kirshen y R. M. Vogel (2010). Integrated optimization of a dual quality water and wastewater system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136, 37-47.
- Reca J.; J. Roldán; M. Alcaide; R. López y E. Camacho (2001). Optimization model for water allocation in deficit irrigation systems II: Application to the Bembezar irrigation system. *Agricultural Water Management*, 48 (2), 117-132.
- Sacmex (2012). *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 Años. Sistema de Aguas de la Ciudad de México*, 137 pp.

Hacia la gestión integrada del agua urbana en la Ciudad de México: análisis espacial del abasto y uso del agua (2008-2013)

Arturo Ramos-Bueno y María Perevochtchikova

Introducción

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un paradigma que surgió ante la reducción de las fuentes disponibles de agua, su contaminación y la competencia entre los diferentes tipos de usuarios y de actividades relacionadas con los recursos hídricos. De esta forma se han planteado varios principios que buscan conciliar y atender estas situaciones, generando tendencias hacia el bienestar social, económico y ambiental. Estos tres puntos enmarcan el desarrollo sustentable, en el cual, destaca el rol que tiene el agua para el desarrollo de las sociedades, aunque cercanía, disponibilidad o abundancia no implican directamente bienestar social, por lo que, es relevante comprender la integración de los sistemas naturales y humanos (GWP, 2000).

El estudio de las dinámicas que se desarrollan en ambos sistemas, permite evaluar y tomar decisiones informadas con visión de largo plazo, donde se incluyan y se consensuen los intereses de todos los usuarios del agua. En términos espaciales, la integración entre los sistemas naturales y humanos tiene lugar en las cuencas, que son la unidad primordial para la gestión de los recursos hídricos (GWP, 2000). En su interior, las áreas urbanas tienen un papel importante, en primer lugar porque se abastecen con recursos cada vez más lejanos, además del crecimiento demográfico que han experimentado las urbes, a tal grado que, en la actualidad, la mayor parte de la población mundial habita en ciudades (House-Peters y Chang, 2011).

Otro de los factores relevantes sobre el rol que juegan las áreas urbanas en las cuencas, está relacionado con la producción de aguas residuales, en tanto que son una fuente de contaminación cuya incidencia reduce la disponibilidad de agua potable (GWP, 2000). Este factor, aunado con la necesidad de controlar las precipitaciones y las modificaciones urbanas a las condiciones del ciclo hidrológico, ha propiciado el surgimiento de un paradigma más específico para enfrentar los retos que tienen las ciudades; la propuesta radica en la Gestión Integrada del Agua Urbana

(GIAU). El paradigma surge en oposición a la gestión tradicional del agua, que se caracteriza por una serie de procesos y de sectores desvinculados entre sí. El énfasis que hace la GIAU es en llevar a cabo el desarrollo sustentable de las ciudades, ante la crisis por la disminución de las fuentes de agua disponibles para el abasto urbano, en paralelo con la contaminación de los recursos hídricos, que van de la mano con los conflictos sociales y políticos en torno al agua (Bahri, 2011; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Entre los principios que se plantean desde la GIAU destacan: (1) la comprensión de la demanda de agua como polifacética, en términos de los requerimientos de cantidad y calidad según la actividad para la que se utilice el agua, y (2) la integración en términos físicos e institucionales, en donde se enfatiza la gestión coordinada del abastecimiento, las aguas residuales y la precipitación (Pinkham, 1999). En este sentido, es importante precisar que tanto la GIAU como la GRIH, en su papel de paradigmas auxiliares en la toma de decisiones, destacan la evaluación de los costos y beneficios en términos sociales, económicos, políticos y ambientales de todas las alternativas para el abasto de agua, destacando la priorización de las fuentes locales y la integración de los sistemas naturales y humanos en lo espacial y temporal (Baumann y Boland, 1997; GWP, 2000; Bahri, 2011; House-Peters y Chang, 2011; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

El presente capítulo tiene como fin comprender la operatividad de dos de los principios que establece la GIAU en la Ciudad de México, en primer lugar, el que establece el estudio de la demanda de agua en forma polifacética, enfatizando la cantidad medida y su comparación con el abasto para la ciudad. En segundo lugar, se explora el principio de la integración y de los componentes de la gestión, en particular la relación entre abasto y uso del agua, en el Suelo de Conservación, una categoría legal de clasificación de uso del suelo que existe en la capital mexicana. La información que se analizó, se obtuvo a través de solicitudes de transparencia hechas al portal al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex). Se solicitaron datos sobre las mediciones de abasto de agua para la ciudad, con un desglose por sistema a cargo del Sacmex. También se pidieron datos de los volúmenes que se reciben del Sistema Cutzamala. De igual forma, se aborda la cantidad de agua utilizada al interior de la ciudad y el número de usuarios que cuentan con medidor. La información corresponde al periodo de 2008-2013.

Las escalas espaciales son un factor fundamental para la comprensión de la gestión del agua y la toma de decisiones (House-Peters y Chang, 2011). Por esta razón se enfatiza que el análisis expuesto en este capítulo, se realizó a nivel de los sistemas de abasto que administra el Sacmex, dentro de los límites de la Ciudad de México. De esta manera se abordó el papel de las fuentes locales, el uso medido que hacen los usuarios urbanos y las áreas de provisión que están al sur de la ciudad y comprenden el Suelo de Conservación. En esta escala de análisis se exploró la operatividad de los dos principios de la GIAU y de la GRIH que se mencionan en los párrafos anteriores.

Panorama de abasto de agua para la Ciudad de México

Desde el año de 1996, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México cuenta con el título 13DFE100309/26HMGC18 destinado al uso público urbano. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, este tipo de uso de agua es el que se asigna a los organismos operadores para cubrir el suministro a la población mediante las redes municipales de agua potable (Conagua, 2009). Según la información que aparece en el Registro Público de Derechos del Agua, de la Comisión Nacional del Agua, el Sacmex tiene asignados $34.55\text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales $24.75\text{ m}^3/\text{s}$ corresponden a 858 aprovechamientos subterráneos y $9.8\text{ m}^3/\text{s}$ a 18 aprovechamientos superficiales (Conagua, 2018). Estas cantidades se refieren a la cantidad de aguas nacionales que el Sistema de Aguas tiene derecho a utilizar pero no son exactamente las mismas que se extraen.

La distribución espacial de estos aprovechamientos tiene lugar en tres cuencas pertenecientes a las Regiones Hidrológicas 18 "Balsas" (Sistema Cutzamala), 12 "Lerma Santiago" (Sistema Lerma) y 26 "Pánuco" (Cuenca de México) (Conagua, 2018). En esta última se sitúa la Ciudad de México, donde se aprovechan los caudales del título de asignación de uso público otorgado al Sacmex. Cabe destacar que las presas del Sistema Cutzamala son operadas por el Organismo de Cuenca "Aguas del Valle de México" de la Comisión Nacional del Agua; de las cuales, alrededor del 60% del agua almacenada se entrega a la capital mexicana, mientras que el resto se distribuye entre la ciudad de Toluca y los municipios conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México. En promedio, para el periodo de 1998-2012, el Sistema Cutzamala tuvo un gasto de $14.9\text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales $9.42\text{ m}^3/\text{s}$ se entregaron al Sacmex (Conagua, 2014).

De acuerdo con la información proporcionada por el Sacmex, los aprovechamientos subterráneos dentro de la Cuenca de México tuvieron un aporte promedio de $17.88\text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo 2008-2013 (Sacmex, 2015a), como se muestra en la Tabla 1, donde también se expone el caudal extraído promedio por cada una de las fuentes que abastecen a la Ciudad de México, en comparación el volumen asignado a este organismo operador según Conagua (2018). El Mapa 1 muestra la localización de cada una de las cuencas donde se ubican los sistemas de abasto para la Ciudad de México, que en la actualidad se encuentran operando al límite. Estos aportes de agua generan diferentes tipos de impacto ambiental, por un lado la extracción de agua subterránea ha provocado hundimientos diferenciales tanto en la cuenca de Lerma como en la de México, en tanto que el Sistema Cutzamala ha pasado a representar la fuente de abasto más vulnerable en términos ambientales, sociales y económicos, además de sus altos costos de operación (Burns, 2009; Escolero *et al.*, 2016).

TABLA 1
Caudales que abastecen la Ciudad de México

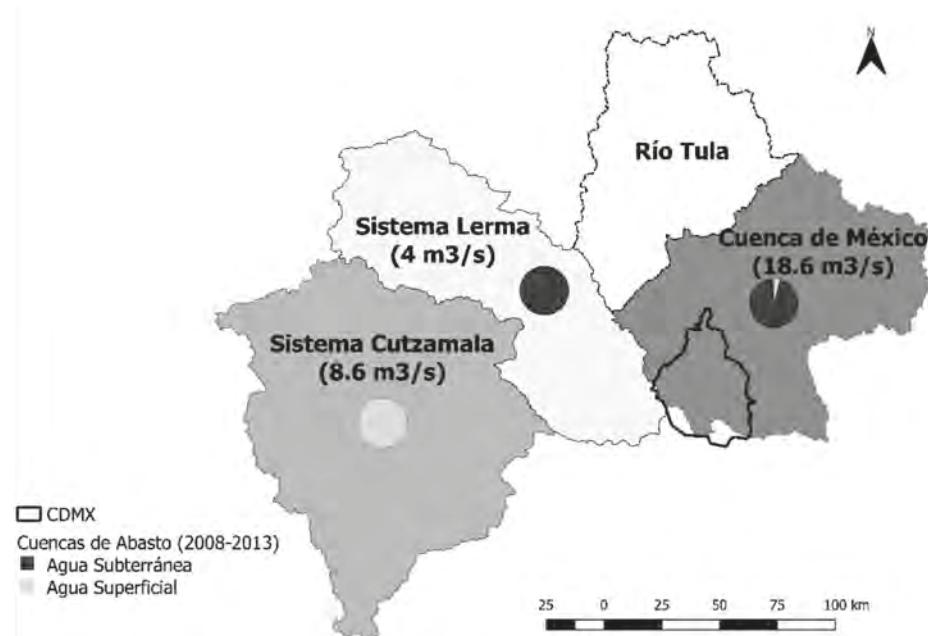
Cuenca	Título REPDA (m^3/s)	Caudal extraído 2008-2013 (m^3/s)	Número de Aprovechamientos	Tipo aprovechamiento
Cuenca de México	0.80	0.76	17	Superficial
	20.00	17.88	592	Subterráneo

Continúa...

Cuenca	Título REPDA (m ³ /s)	Caudal extraído 2008-2013 (m ³ /s)	Número de Aprovechamientos	Tipo aprovechamiento
Sistema Lerma	4.75	4.10	266	Subterráneo
Sistema Cutzamala	9.00	8.60	1	Superficial
Total	34.55	31.33	876.00	

Fuente: elaboración propia, con base en Sacmex (2015a) y Conagua (2018).

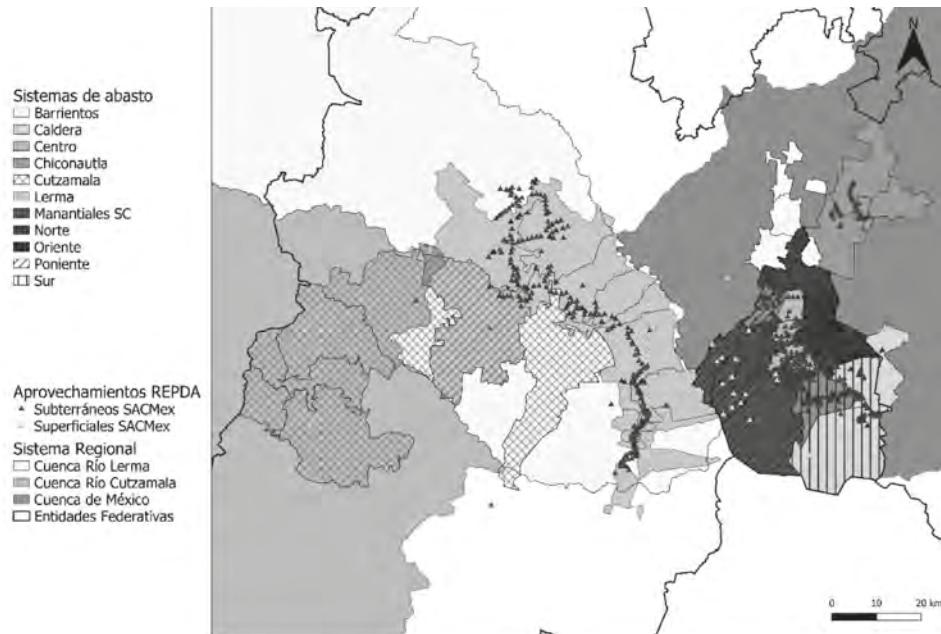
MAPA 1
Sistema Regional de Abasto de Agua para la Ciudad de México



Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015a).

Al interior de cada una de estas cuencas, existen once sistemas de operación que se ubican entre la Ciudad y el Estado de México, como se aprecia en el Mapa 2. Los sistemas Barrientos y Caldera ubicados en la Cuenca de México, al igual que el Sistema Cutzamala, perteneciente a la Región Hidrológica 18 "Balsas", están a cargo de la Comisión Nacional del Agua. El resto de los sistemas los opera el Sacmex aunque los pozos los sistemas Barrientos y Chiconautla se ubiquen en el Estado de México, los demás se encuentran en territorio capitalino.

MAPA 2
Ubicación de los Sistemas de Abasto de Agua para la Ciudad de México



Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015a).

El caudal promedio que aportaron estas fuentes durante el periodo de 2008-2013 fue de 31.33 m³/s (Sacmex, 2015a). Por su parte, el aporte parcial de distribución del agua de cada uno de estos sistemas aparece en la Tabla 2, donde se menciona la entidad federativa a la que pertenecen. Según estos datos, la Ciudad de México se abastece en un 46% de agua subterránea extraída dentro de su territorio, sin embargo, el título de asignación para esta institución avala el uso de 17 manantiales ubicados en el Suelo de Conservación (sc), mientras que el resto de los aprovechamientos están en el suelo urbano.

TABLA 2
Caudal promedio aportado por sistema para la Ciudad de México (2008-2013)

Entidad	Sistema	Alcaldías y municipios	Caudal promedio 2008-2013 (m ³ /s)
Cuenca de México	Sur	Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco	8.02
	Oriente	Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza	2.51
	Centro	Benito Juárez, Cuauhtémoc y Coyoacán	1.93
	Norte	Azcapotzalco y Gustavo A. Madero	1.07

Continúa...

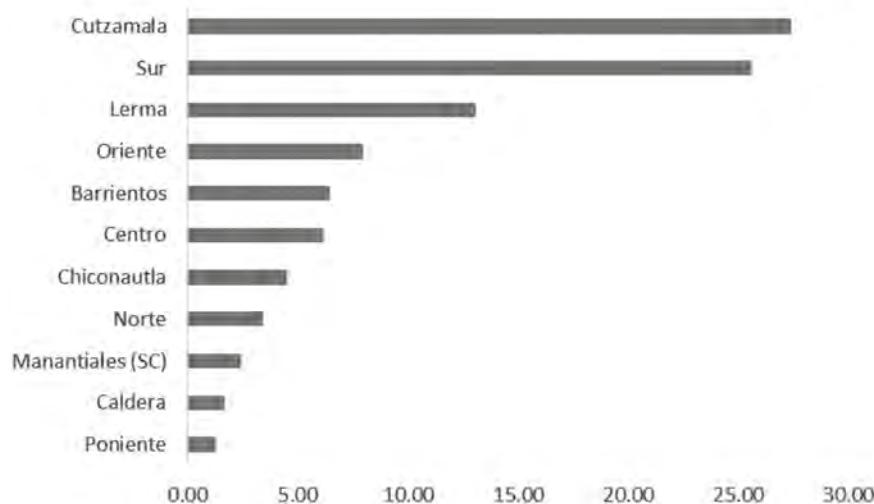
Entidad	Sistema	Alcaldías y municipios	Caudal promedio 2008-2013 (m ³ /s)
Estado de México	Manantiales (sc)	Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan	0.76
	Poniente	Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo y Tlalpan	0.40
	Cutzamala	Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria, Almoloya de Juárez y Toluca	8.60
	Lerma	Lerma, Ocoyoacac, Otzolotepec, San Lorenzo Oyamel, Temoaya, Xonacatlán, Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Calpuhuac, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Joquicingo, San Pedro Techuchulco, Santa Cruz Atizapán y Santiago Tianguistenco	4.10
	Barrientos	Tultitlán, Cuautitlán y Tlalnepantla	2.01
	Chiconautla	Ecatepec, Tecámac y Acolman	1.42
	Caldera	Milpa Alta, Tláhuac, Valle de Chalco y La Paz	0.52
Volumen Sistema Regional			31.33

Fuente: elaboración propia, con base en Sacmex (2015a) y CGMA (S/F).

Además de los caudales mencionados en la Tabla 2 y de la localización de los sistemas de abasto de agua para la Ciudad de México, en la Gráfica 1 aparece el porcentaje de abasto por cada uno de estos sistemas. El Sistema Cutzamala es la fuente que tiene mayor aporte, sin embargo, el Sistema Sur aparece con una cantidad muy similar y sus pozos se ubican en tres alcaldías pertenecientes al Suelo de Conservación capitalino. Este punto es importante dada la comparación entre una fuente local de agua dentro de la Cuenca de México y un transvase de agua, que representa vencer un desnivel de 1073.07 msnm mediante bombeo, además del recorrido de 322.32 kilómetros de distancia (Conagua, 2014), para abastecer a la ciudad en un contexto de impactos sociales, ambientales y políticos.

Este desglose de caudales por sistema de abasto permite realizar evaluaciones de costos e impactos desde una perspectiva local. En esta escala espacial es posible abordar la dinámica de extracción y el contexto social, cultural y económico donde se ubica la fuente en cuestión. Este nivel dentro de una cuenca permite un área de integración para la toma de decisiones y el involucramiento de actores.

MAPA 1
Sistema Regional de Abasto de Agua para la Ciudad de México



Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015a).

Para lograr la integración de los sistemas naturales y humanos, además de poner en contexto la extracción de agua, es necesario comprender la dinámica del uso de agua urbano. La escala que se propone en este capítulo, es abordar en forma local la relación entre extracción y uso, en vías de evaluar costos y beneficios en este nivel y, de igual forma, contar con estrategias para la gestión de la demanda del agua. De esta manera, se comprende tanto la cantidad de agua disponible y en comparación con el uso (Baumann y Boland, 1997; House-Peters y Chang, 2011).

La siguiente sección aborda los cinco sistemas de abasto subterráneo que se localizan dentro de los límites de la Ciudad de México, además de los manantiales amparados por el título de uso público urbano en favor del Sacmex. Se sumaron los caudales del Sistema Poniente con el de Manantiales, puesto que ambos sistemas comprenden casi las mismas alcaldías, por esta razón quedaron un total de cinco sistemas: Centro, Norte, Oriente, Poniente-Manantiales, y Sur, en los que se basa el cruce de información que se presenta en el siguiente apartado. La idea de enfatizar estas fuentes en esta escala espacial, corresponde al principio de integración que prioriza las fuentes locales de las ciudades (Bahri, 2011).

Situación del uso de agua en la Ciudad de México

Durante el año de 1994, la gestión del agua en la Ciudad de México adquirió un carácter público-privado, al concesionarse algunos procesos de gestión a cuatro empresas de la iniciativa privada.

Como resultado de esta acción, se realizó la actualización del padrón de usuarios y de tomas en la ciudad, así como la instalación de medidores de consumo de agua, para transitar de un esquema de cobro basado en cuotas fijas, a uno sustentado en los volúmenes medidos. La finalidad con la que se realizaron estas acciones fue para que, el gobierno de la ciudad, aumentara la recaudación por el cobro de servicios hidráulicos (Martínez, 2004).

A pesar de estos esfuerzos, en la actualidad, el Sistema de Aguas reconoce la discrepancia entre el padrón de usuarios, el número de medidores instalados y la cantidad de viviendas que se reportan en el censo, como se menciona en el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 años (PGIRH). De este modo, para el año 2010, en el primer rubro aparece un total de 2 millones de usuarios, de los cuales, 1.29 millones tienen medidor instalado, en tanto que, el INEGI reporta 2.40 millones de viviendas (GDF, 2012:35). De acuerdo con la Ley de Aguas del Distrito Federal, vigente desde el año 2003, los usuarios se definen como las personas físicas o morales que hacen uso de uno o más servicios hidráulicos, es decir, servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado prestados por la administración pública capitalina (ALDF, 2003).

Los usuarios que se mencionan en esta sección hacen referencia a la definición enunciada en el párrafo anterior. Con respecto al uso del agua en la Ciudad de México, es importante señalar la falta de cobertura universal de medición, además de las pérdidas en fugas, que se estima un 40% del volumen abastecido (GDF, 2012). Por su parte, el Sacmex estima, para el año 2006, un caudal de 19.4 m³/s entregado a los usuarios, proveniente de los 31.88 m³/s suministrados por todas las fuentes (GDF, 2007). Teniendo en cuenta esta cifras, de acuerdo con los datos aportados por el Sistema de Aguas vía transparencia, para el periodo 2008-2013, se reportó un promedio de 2,036,960 de usuarios, de los cuales un 66.38% poseía un medidor, es decir 1,352,325, cifra muy similar a las mencionadas en el PGIRH (GDF, 2012:35). En este mismo sentido, destacan los datos de uso del agua medidos para este periodo, de manera que un millón trescientos usuarios de agua utilizaron en promedio 12.34 m³/s, cantidad que contrasta con los 31.33 m³/s que se reportan en la Tabla 2 (Sacmex, 2015a; 2015b).

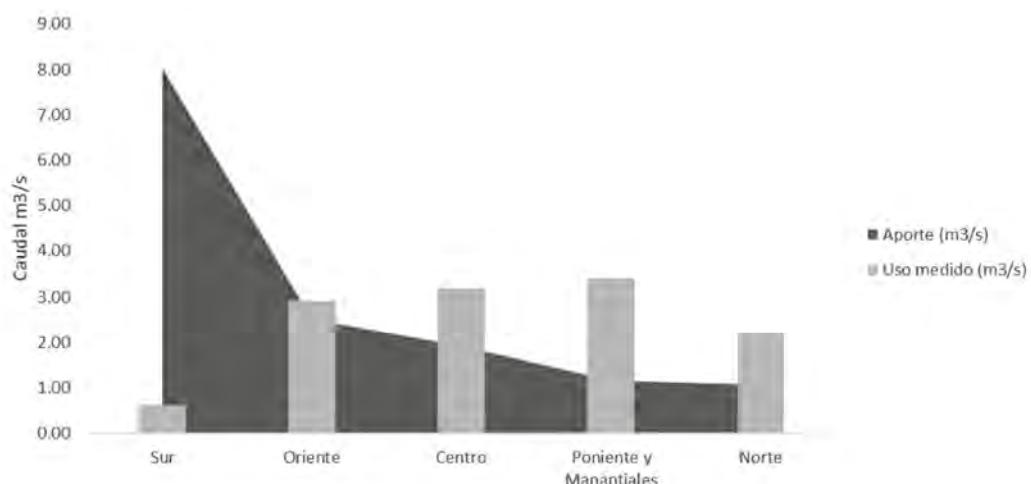
A pesar de esta limitación, la Gráfica 2 muestra la cantidad de agua que se utiliza y se mide en las alcaldías que conforman los cinco sistemas de abasto. Destaca que el Sistema Norte cuenta con un total de 78.03% de usuarios que tienen medidor, en comparación con el sistema Centro, en donde solamente el 55.06% de los usuarios cuenta con medidores. Por su parte, el Sistema Sur aparece como el que utiliza menos cantidad de agua pero aporta un volumen mayor. Cabe recordar que este caudal es similar al del Sistema Cutzamala y también que sólo el 64.29% del total usuarios de la ciudad tiene medidor.

Para comprender la demanda de agua de forma polifacética, más allá de meras cuestiones de cantidad, se requieren abordar los usos que se le da al agua. En este punto, se distingue que los usuarios del Sacmex están clasificados en tres categorías, para la prestación de los servicios hidráulicos y también para fines de cobro. Estos usos se definen de la siguiente manera:

- Doméstico: es el agua que se utiliza en las viviendas, siempre y cuando no se desempeñen actividades lucrativas.
- No Doméstico: cuando el agua se usa en establecimientos comerciales, industriales y de servicios.
- Mixto: se hace referencia a las tomas localizadas en inmuebles con uso habitacional y no habitacional de manera simultánea.

Con estas definiciones, se precisa que el uso del agua en la Ciudad de México tiene diferentes dinámicas. La Tabla 3 expone los diferentes usos de agua que hay en la ciudad por sistema de abasto, de los cuales, el uso doméstico es el que contó con más usuarios para el periodo 2008-2013 (Sacmex, 2015a). La mayor cantidad de éstos, se asientan en las alcaldías del Sistema Oriente, sin embargo los usuarios localizados en la zona del Sistema Poniente-Manantiales, son los que utilizan mayor cantidad de agua según los datos de medición. El Sistema Centro se caracteriza por contar con los porcentajes de usuarios con medidor más bajos de toda la ciudad, tanto que, este sistema es el que presenta el indicador mayor no doméstico. De forma general, el uso mixto es el que tiene mayor cantidad de medidores, localizados principalmente en los Sistemas Norte y Poniente.

GRÁFICA 2
Comparación del uso medido de agua en la Ciudad de México, con los caudales aportados por los cinco sistemas de abasto que se localizan en territorio capitalino



Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015a).

TABLA 3
Usos del agua por Sistema de abasto en la Ciudad de México

Sistema de abasto	Uso Doméstico (m ³ /s)	Usuarios domésticos con medidor (%)	Total Usuarios Domésticos	Uso No Doméstico (m ³ /s)	Usuarios No Domésticos con medidor (%)	Total Usuarios No Domésticos	Uso Mixto (m ³ /s)	Usuarios Mixtos con medidor (%)	Total de Usuarios Mixtos
Centro	2.06	52.29	434,476	0.79	66.11	49,969	0.35	78.25	28,193
Norte	1.64	76.18	281,209	0.33	84.93	20,335	0.23	91.23	28,822
Oriente	2.21	62.95	498,410	0.40	75.19	34,971	0.30	75.72	47,144
Poniente-Manantiales	2.51	69.33	413,591	0.66	69.25	25,670	0.24	81.40	19,639
Sur	0.50	62.98	132,712	0.08	71.90	6,741	0.05	72.34	15,083
CDMX	8.91	64.75	1,760,396	2.26	73.48	137,684	1.165	79.787	138,879

Fuente: elaboración propia.

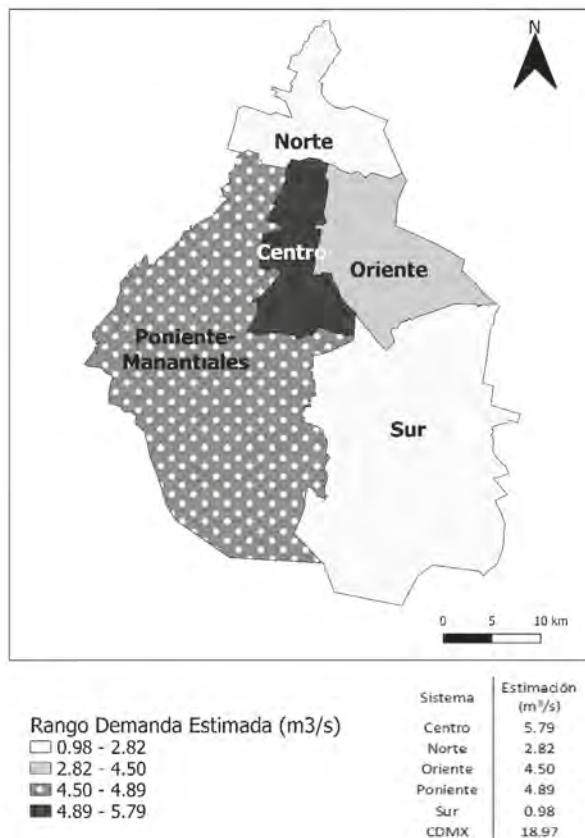
El desglose de los usos del agua por sistema de abasto permite reconocer las zonas en donde se genera mayor demanda por este recurso. El conocimiento local del uso de agua, permite establecer los sitios en donde se pueden llevar a cabo acciones para reducir el consumo de agua; si bien existe la limitación por conocer la cantidad exacta de agua que se utiliza, es posible apreciar el papel del Sistema Sur como área que aporta grandes caudales pero cuyo consumo es el más bajo de la ciudad.

El contraste de los caudales aportados por los sistemas de abasto, que están dentro de la Ciudad de México, en comparación con el uso medido, tiene como fin visualizar los sitios en donde es necesario aumentar la eficiencia del uso de agua, ya sea reduciendo la cantidad de agua no contabilizada o prestando atención a las fugas; para ello es necesario realizar un análisis más profundo. En este sentido, se deben abordar las características de las viviendas y la composición socio-económica de los habitantes, sobre todo para contar con información útil y así diseñar tarifas para el cobro por la prestación de los servicios agua potable, que muestren señales a los usuarios para reducir su consumo, a la vez que se contemplen objetivos de sustentabilidad y de asequibilidad. En términos de la gestión de demanda de agua, y en función de la integración del abasto de forma local, la importancia de la cobertura universal de medición o de la estimación local del uso de agua son puntos altamente relevantes para la toma de decisiones y la evolución de costo-beneficio (Baumann y Boland, 1997; Billings y Jones, 2008).

Para efectos de esbozar un primer análisis de la cantidad de agua utilizada en la Ciudad de México, con un desglose local por sistema de abasto, se presenta un pequeño ejercicio que se basa en el cálculo de una regla de tres entre el promedio del agua utilizada por sistema y el por-

centaje de usuarios con medidor instalado. Los datos utilizados provienen de Sacmex (2015a). El Mapa 3 muestra la estimación por sistema de la demanda de agua.

MAPA 3
Estimación de la Demanda de Agua de la Ciudad de México por Sistema de Abasto



Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015a).

Esta estimación tuvo como resultado 18.97 m³/s, cifra parecida a la que presenta el Sacmex en el Programa para el Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México, donde se estima un promedio de 22.3 m³/s entregados a los usuarios para el periodo de 1996-2006 y de 19.4 m³/s durante el año 2006 (GDF, 2007:13). Complementariamente, Downs *et al.* (2000) publicaron una estimación probabilística de la población de la Ciudad de México y de su zona metropolitana, con la que estimaron el abasto y la demanda para el año 2015. El resultado que obtuvieron fue de 27.87 m³/s. En este punto deben tomarse en cuenta los supuestos que sustentan cada una de las estimaciones. La ventaja del ejercicio realizado en este capítulo, radica en que utiliza datos medidos, la cantidad de medidores instalados y un desglose espacial de uso del agua; sin embargo, el

método de regla de tres presenta limitaciones, aunque el resultado obtenido es similar a los que se publicaron de forma institucional y académica.

Para mejorar los resultados de las estimaciones de uso del agua, es necesario utilizar métodos explicativos como la regresión múltiple, además de incluir variables explicativas con respaldo de literatura científica (Billings y Jones, 2008; House-Peters y Chang, 2011). Por otra parte, el aporte espacial se puede realizar en escalas más finas como las colonias, con el fin de captar la heterogeneidad de los usuarios; también es importante considerar la variabilidad temporal y tener la posibilidad de distinguir entre los usos interiores y exteriores (Ramos-Bueno, 2016). Esta información permite la evaluación de los costos y los beneficios de utilizar fuentes locales en comparación con la importación de agua.

El análisis local de las fuentes de abastecimiento, en comparación con las zonas de consumo, sugiere que las áreas de extracción no son las mismas que los sitios donde se utiliza el agua, particularmente el caso del Sistema Sur cuyas alcaldías se ubican en el Suelo de Conservación (sc). En este punto, se señala la importancia de la zona sur de la capital como garante de una parte importante del abasto de agua y también de la disponibilidad del resto de los sistemas subterráneos de donde se extrae el agua (Escolero *et al.*, 2016).

Por estas dos razones, el sc funge un papel doblemente importante en la gestión del agua de la ciudad. La siguiente sección trata sobre el rol que cumple el Suelo de Conservación como componente de los sistemas de abastos Poniente-Manantiales (alcaldías de Miguel Hidalgo,¹ Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan), sumado al Sistema Sur (Tláhuac, Tlalpan y Milpa Alta). De esta forma se contempla al sc como proveedor directo de agua.

Aporte del Suelo de Conservación y uso local del agua al interior de la Ciudad de México

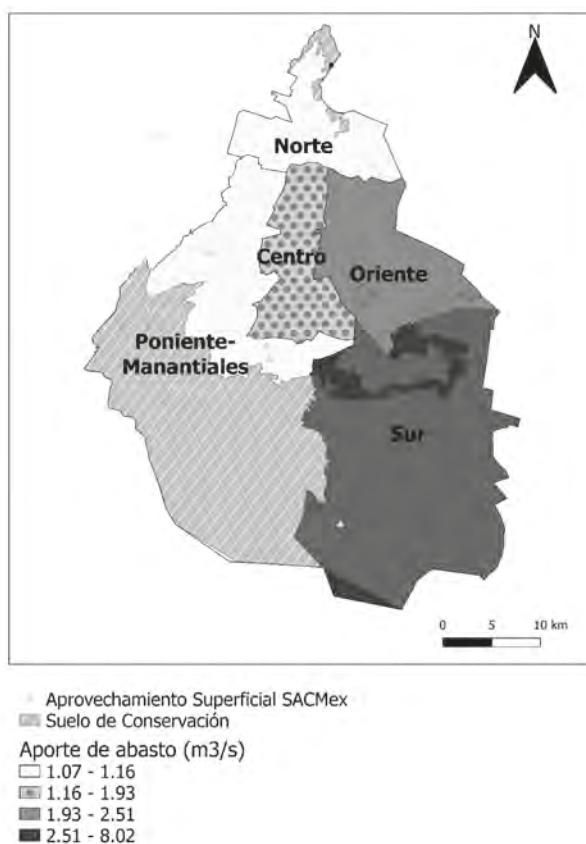
Desde el año 2000 se decretó el Suelo de Conservación en gran parte de la zona sur de la Ciudad de México, englobando 87,297 hectáreas que representan el 59% de la extensión territorial de esta entidad federativa. A través de esta figura legal se busca contener el crecimiento de la zona urbana, así como vedar las actividades extractivas y preservar la vocación rural del área. Se reconoce que esta zona es importante para la recarga de los sistemas acuíferos, de donde se obtiene más de la mitad del agua que se utiliza en la zona urbana y que se extrae a través de los sistemas de pozos (Escolero *et al.*, 2016; Sedema 2016).

El Mapa 4 muestra la ubicación del Suelo de Conservación con respecto de los sistemas de abasto de agua. Para efectos de este análisis, se excluyeron las alcaldías de Gustavo A. Madero e Iztapalapa que conforman el 2.4% de la superficie del sc (Sedema, 2016), y cuya dinámica es

¹ Esta alcaldía forma parte del sistema Poniente, mientras que el resto de alcaldías que lo conforman coinciden con aquellas donde se hallan los manantiales. Para el análisis de esta sección se juntaron tanto el sistema Poniente y Manantiales como el Sur, ya que aquí se ubica el Suelo de Conservación, aunque Miguel Hidalgo no pertenece a esa zona. La limitación espacial de los datos, generó su inclusión como parte del análisis.

meramente urbana. Por su parte, en el Suelo de Conservación se ubican 42 núcleos agrarios reconocidos en el Registro Agrario Nacional, 36 de ellos se asientan en la zona sur, en las alcaldías de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac. Estos núcleos agrarios pertenecen tanto a comunidades como a ejidos (RAN, 2017). Adicionalmente a estas formas de tenencia de la tierra, en esta zona se ubican 13 de los aprovechamientos que avala el título de uso público urbano con el que cuenta el Sistema de Aguas (Conagua, 2018).

MAPA 4

Aporte al Abasto de Agua desde el Suelo de Conservación en la Ciudad de México

Fuente: elaboración propia con base en Sacmex (2015b).

En términos del aporte de agua que brinda el Suelo de Conservación a la Ciudad de México, destaca el contraste con el suelo urbano, tal como aparece en la Tabla 4. A partir de estos datos se hace hincapié en la cantidad de usuarios en ambas categorías de uso del suelo, ya que en el área urbana se localiza más del doble de los usuarios, en comparación con los que habitan en el sc; algo similar ocurre con el uso medido, a pesar de que en ambos sitios el porcentaje de medición ronda alrededor del 60%. Si se toman los datos de la estimación realizada en el apartado anterior,

en el SC se utilizan 5.87 m³/s contra 13.11 m³/s del área urbana. En cualquiera de los dos casos, el agua no se consume en los sitios donde se capta o donde se extrae.

**TABLA 4
Aporte del agua del Suelo de Conservación a la Ciudad de México**

Sistema de abasto por tipo de suelo	Concesión (m ³ /s)	Aporte (m ³ /s)	Caudal aportado (%)	Uso medido (m ³ /s)	Usuarios con medidor (%)	Total de Usuarios
Alcaldías Suelo de Conservación	8.15	9.19	62.54	4.045	68.45	613,434
Alcaldías Suelo Urbano	9.80	5.50	37.46	8.298	64.33	1,423,526
CDMX	17.96	14.69	100.00	12.34	66.39	2,036,960

Fuente: elaboración propia con base en Sacmex, (2015a; 2015b).

El análisis del acceso al agua potable, es una forma adicional de acercamiento a la situación de las zonas de extracción y consumo de agua. Este tema presenta una gran complejidad por las variables que lo componen y por la distribución espacial heterogénea que muestra (Jiménez, 2011); en la Gaceta Oficial de la CDMX se reportan las colonias que periódicamente reciben el suministro de agua de manera intermitente, es decir, mediante de tandeos (GDF, 2010). Esta información, que es sólo un aspecto del acceso al agua, aparece en la Tabla 5,² donde se recabaron los datos de las colonias por alcaldía que fueron abastecidas por tandeo durante el periodo 2008-2013. Todas las alcaldías del Suelo de Conservación presentaron colonias en esta situación.

**TABLA 5
Número de colonias abastecidas por tandeo según la Gaceta CDMX**

Tipo de suelo	Alcaldía	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Suelo de Conservación	Tlalpan	54	100	72	115	108	89
	Magdalena Contreras	17	38	27	33	29	27
	Xochimilco	17	34	14	29	21	14
	Cuajimalpa	17	24	13	15	16	14
	Álvaro Obregón	16	20	14	7	8	8
	Tláhuac	2	4	1	7	6	6
	Milpa Alta	4	6	3	3	3	4

² Esta información se obtuvo mediante publicaciones periódicas de la Gaceta del 2008 al 2013. La cita refiere a los datos del 2010, sin embargo es necesario revisar temporalmente en el sitio al que hace referencia para encontrar los datos expuestos.

Tipo de suelo	Alcaldía	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Suelo Urbano	Iztapalapa	21	51	14	48	52	62
	Gustavo A. Madero			27	21	11	23
	Coyoacán	4	8	4	4	5	5
	Azcapotzalco						2

Fuente: elaboración propia con base en Sacmex, (2015a; 2015b).

El caso más crítico de la Tabla 5 es la alcaldía de Tlalpan, ya que presenta el mayor número de colonias abastecidas por tandeo, seguida de Magdalena Contreras, dentro de la categoría del Suelo de Conservación. Paralelamente, en el Cuadro 4.17 “Sistemas de abastecimiento de agua potable por delegación según sistema” del Anuario 2011, publicado por el INEGI, que recaba datos de Sacmex, las alcaldías de Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, reciben agua proveniente del Sistema Cutzamala; éstas dos últimas, junto con Tlalpan, también reciben agua del Sistema Lerma (INEGI, 2011).

En contraste, las alcaldías de Tláhuac y Milpa Alta, según esta fuente (INEGI, 2011), reciben agua del Sistema Sur y son las dos alcaldías que presentan menos colonias abastecidas mediante tandeo en el sc. El caso de Xochimilco, que tiene el tercer lugar de colonias abastecidas por tandeo, no aparece en el Cuadro 4.17 como abastecida por algún sistema de agua, lo que sugiere extracción de agua subterránea que puede estar operando al límite y generando sobreexplotación o infraestructura deficiente. En este mismo cuadro, también aparece el Sistema Norte, que a pesar de localizarse en el suelo urbano, abastece a las alcaldías de Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza; de las cuales sólo la primera aparece en la Tabla 5 con muy pocas colonias abastecidas mediante el tandeo.

Los Sistemas Centro, Oriente y Poniente-Manantiales son los que tuvieron algunas alcaldías cuyas colonias no fueron afectadas por el suministro mediante tandeo. En la Tabla 5, las alcaldías de Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc e Iztacalco no aparecen enlistadas, lo que sugiere que son el destino principal de los caudales de agua que abastecen a la Ciudad de México.

Comentarios finales

El presente capítulo, cuya guía se centró en dos principios que enuncia la GIAU, deja de manifiesto la falta de integración de los componentes de abasto y uso del agua, ya que, a nivel local, aparece la contradicción de utilización del agua de procedencia lejana con respecto al sitio del que se extrae. Tal es el caso de las alcaldías que conforman el Sistema Sur y Poniente-Manatiales, que a excepción de dos, el resto reciben agua tanto del Sistema Lerma como del Cutzamala y presentan colonias suministradas por tandeo. Desde esta perspectiva, destaca la presencia de los 13

aprovechamientos superficiales en favor del Sacmex, localizados en el SC, dentro de los núcleos agrarios de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan. Dada la presencia de varias colonias abastecidas por tandeo en esta zona, surge la pregunta sobre ¿Cuál es el costo-beneficio de importar caudales lejanos de agua? Además de exponer la falta de acuerdos entre los actores locales y el organismo operador perteneciente al gobierno local.

En este punto particular, destaca la necesidad de caracterizar el uso de agua en forma local para su estimación y su posterior contraste con el abasto. Uno de los problemas más relevantes de la Ciudad de México es que se desconoce la cantidad de agua que utiliza, por esta razón es muy importante abordar los determinantes del uso de agua y su dinámica, para el planteamiento de estrategias locales. La principal recomendación es llegar al total de la cobertura de medición, para contar con instrumentos que permitan tomar decisiones de manera informada. En este sentido, el espacio funge como una dimensión de integración que deja conocer las necesidades, el contexto ambiental y social, además de la ubicación de los actores involucrados en sitios determinados, en donde sea posible plantear soluciones con visión de largo plazo.

Como parte de la integración que requiere la GIAU, es necesario analizar el abasto del agua incluyendo el estado en el que se encuentran las fuentes, algo que debe ser incorporado a este análisis, para también contrastarlo con la dinámica de los usos, en la que también deben abordarse temas de la dinámica socio-económica y productiva de la ciudad. La propuesta de análisis que se presentó en este capítulo, se centró en el componente espacial de cinco sistemas de abasto dentro de la Ciudad de México, donde se contrastaron los usos y aportes de agua, y también se destacó la importancia del Suelo de Conservación como fuente de aporte a la ciudad, pues las unidades espaciales permiten integrar de forma sistemática y local los componentes que conforman el ciclo urbano del agua de esta metrópolis.

Referencias

- ALDF [Asamblea Legislativa del Distrito Federal] (2003). *Ley de Aguas del Distrito Federal*. México, DF: Gobierno del Distrito Federal.
- Bahri, A. (2011). *Hacia la gestión integrada de aguas urbanas*. Estocolmo: Global Water Partnership.
- Baumann, D., & Boland, J. (1997). The Case for Managing Urban Water. In D. Baumann, J. Boland, & W. Hanemann, *Urban Water Demand Management and Planning* (pp. 1-30). Nueva York: Mc Graw Hill.
- Billings, R., & Jones, C. (2008). *Forecasting Urban Water Demand* (2 ed.). Denver: American Water Works Association.
- Burns, E. (2009). *Repensar la Cuenca: La Gestión en Ciclos del Agua en el Valle de México*. México: UAM.
- CGMA [Coordinación General de Modernización Administrativa (s/f)]. *Transparencia DF*. Recuperado el 4 de Abril de 2019, de Información Util a tu Alcance sobre Medio Ambiente. Agua: http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com_content&

- view=article&id=86%3Afuentes-de-abastecimiento&catid=57%3Aimpactos-en-la-vida-cotidiana&Itemid=415
- Conagua [Comisión Nacional del Agua] (2009). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua [Comisión Nacional del Agua] (2014). *Estadísticas del Agua, Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Edición 2013*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua [Comisión Nacional del Agua] (31 de Diciembre de 2018). *Consulta a la base de datos del REPDA*. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Downs, T.; Mazari-Hiriart, M.; Domínguez-Mora, R., & Suffet, I. (2000). Sustainability of least cost policies for meeting Mexico City's future water demand. *Water Resources Research*, 36(8), 2321-2339.
- Escolero, O.; Kraslisch, S.; Martínez, S., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geográfica Mexicana*, 68 (3), 409-427.
- GDF [Gobierno del Distrito Federal]. (2007). *Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente, Secretaría de Obras y Servicios, Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- GDF [Gobierno del Distrito Federal] (2010, May 13). Administración Pública del Distrito Federal. Secretaría de Finanzas. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, pp. 4-9.
- GDF [Gobierno del Distrito Federal] (2012). *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 Años*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente, Sistemas de Agua de la Ciudad de México.
- GWP [Asociación Mundial para el Agua] (2000). *Integrated Water Resources Management*. Estocolmo, Suecia: Global Water Partnership.
- House-Peters, L., & Chang, H. (2011). Urban water demand modeling: Review of concepts, method and organizing principles. *Urban Water Research*, 47 (15).
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2011). *Anuario Estadístico. Distrito Federal. Edición 2011*. Recuperado el 4 de Abril de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825201845>
- Jiménez, B.; Gutiérrez, R.; Marañón, B., & González, A. (2011). *Evaluación de la política de acceso al agua potable en el Distrito Federal*. México: Evalúa DF-PUEC-UNAM.
- Martínez, M. (2004). La participación de la empresa privada en la gestión de servicios de agua en el Distrito Federal. In H. Libreros; R. López; M. Martínez; J. Montesillos; G. Ortiz, & A. Quiñones, *Gestión del agua en el Distrito Federal retos y propuestas* (pp. 15-57). México, DF: PUEC-UNAM.
- Pinkham, R. (1999). *21st Century Water Systems: Scenarios, Visions, and Drivers*. Retrieved 12-15, 2016, from http://www.rmi.org/Knowledge-Center/Library/W99-21_21stCenturyWater
- Ramos-Bueno, A. (2016). *Análisis Socio-Espacial de la Demanda por Uso Doméstico de Agua en la Ciudad de México*. Ciudad de México: Tesis de Maestría en Geografía-UNAM.

- RAN [Registro Agrario Nacional] (05 de Julio de 2017). *Catálogo de Núcleos Agrarios*. Recuperado el 10 de Agosto de 2017, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/catalogo-de-nucleos-agrarios>
- Sacmex [Sistema de Aguas de la Ciudad de México] (2015b). *Portal de transparencia, solicitud de información pública 0324000105214/2014. Volumen total de agua suministrada a la Ciudad de México para los años 2008 al 2013*. Obtenido de <http://www.infomexdf.org.mx/InfomexDF/Default.aspx>
- Sacmex [Sistema de Aguas de la Ciudad de México] (2015a). *Portal de transparencia, solicitud de información pública 03240001052140004. Dotación de agua a la Ciudad de México 2008-2013*. Retrieved from <http://www.infomexdf.org.mx/InfomexDF/Default.aspx>
- Sedema [Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México] (22 de Marzo de 2016). *Cuidar el Aguas es Cosa de Tod@s*. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de Suelo de conservación: nuestra principal fuente local de agua en la CDMX: http://www.cuidareagua.cdmx.gob.mx/fuentes_agua.html
- Tiburcio, A., & Perevochtchikova, M. (2012). Indicadores ambientales en la gestión del agua urbana. In M. Perevochtchikova, *Cultura del agua en México. Conceptualización y vulnerabilidad social*. México, DF: UNAM-Porrúa.

¿Es posible la preservación de las Ciénegas de Lerma?

Eloísa Domínguez Mariani y Carlos Vargas Cabrera

Introducción

Los humedales son ecosistemas que dependen de la inundación somera, constante o recurrente, o bien, sólo de la saturación del sustrato con agua cercana de la superficie (ccw, 1995). Debido a su comportamiento hídrico, se definen como ecosistemas dependientes del agua subterránea (EDAS o GDE, *Groundwater Dependent Ecosystems*, por sus siglas en inglés) que influencian la distribución espacial de los nutrientes y de los diferentes componentes fisicoquímicos (Klijn y Witte, 1999; Foster, *et al.*, 2006; AG y NWC, 2008; Eamus, 2007; Dresel *et al.*, 2010; de la Hera *et al.*, 2013; Kreamer *et al.*, 2015; Harper *et al.*, 2016).

Estos ecosistemas son muy vulnerables ante presiones humanas por el uso de sus recursos como agua, suelo y especies diversas. Se han documentado efectos adversos como extracción excesiva de agua, derivación de escurrimientos para la desecación de terrenos, (UNAM, 2009), efectos del cambio climático (Bergkamp y Cross, 2006; Bond, 2008; Erwin, 2009) y cambio de uso de suelo (Zorrilla-Miras, 2014). Los componentes hídricos que alimentan a un humedal mantienen la vida acuática y guardan entre sí un delicado balance hídrico, que en el momento de romperse derivan en la desaparición de estos sistemas. Su estudio se ha realizado en diversas partes del mundo en unión con componentes bióticos y antrópicos para proponer acciones de protección efectiva ambiental encaminada al manejo integral de los recursos hídricos para su protección (Ferratti *et al.*, 2000; Bradley, 2002, Sandford *et al.*, 2012; Hancock *et al.*, 2005; Kroluleg, 2016; Harper *et al.*, 2016). Como apoyo para su estudio también se utilizan parámetros fisicoquímicos como cloruro, conductividad eléctrica, iones mayores y nutrientes (nitrato, nitrito y fosfato) (Klijn y Witte, 1999).

Área de estudio

Las Ciénegas de Lerma, decretada como área de protección de flora y fauna a nivel federal (DOF, 2002), incluyen tres cuerpos de agua ahora separados entre sí, que representan el 43% del área

que existía a finales del siglo XIX (Ramsar, 2004) (Figura 1). Asimismo, están incluidas como Sitio Ramsar y, de acuerdo con Ceballos (2003), son los remanentes de una extensión de 27,000 ha, que actualmente se diferencian por su magnitud en tres ciénegas que son Chiconahuapan o Almoloya (596 ha), Chimaliapan o Lerma (2081 ha) y Chignahuapan o Atarasquillo (346 ha), ubicadas de sur a norte. Enfrenta graves amenazas, de acuerdo a diversos autores, que son: descargas industriales, domésticas, cambio de uso de suelo, derivación de escurrimientos superficiales, extracción intensiva de agua subterránea, especies exóticas e invasoras, así como la extracción selectiva de flora y fauna (Viesca-González *et al.*, 2011; Ramsar, 2015). A nivel regional, respecto a la explotación intensiva del agua subterránea en el valle de Toluca, Rudolph *et al.* (2005) y Conagua (2002) comentan que han influido en la diminución de los niveles piezométricos regionales y en la intercepción del flujo regional de agua subterránea que alimenta a las ciénegas.

Las ciénegas ubicadas al sur de la Carretera México-Toluca se encuentran rodeadas de espacios urbanos, industrias y actividades económicas contaminantes, en tanto que, al norte, la Cié nega de Atarasquillo (o de San Nicolás Peralta, como es conocida localmente), tiene como actividad principal en la zona ribereña, la agrícola (González-Jácome en Zanbatha). Por esta razón, se escogió esta última para realizar actividades de evaluación hidrogeológica y de monitoreo a fin de conformar el modelo conceptual de comportamiento de esta ciénega que permite delinear las componentes hídricas y la relación hidrogeoquímica entre el agua subterránea para definir oportunidades de conservación.

Antecedentes

Morfología de la zona de estudio

Las Ciénegas de Lerma se ubican en la parte baja de la Sierra de las Cruces (altitud máxima 3,420 msnm). Esta sierra es el parteaguas entre la Cuenca de México y la Cuenca alta del río Lerma, de acuerdo con García-Palomo *et al.* (2008), está conformada por ocho estratovolcanes traslapados, otros aparatos de dimensiones menores y una multitud de pequeños volcanes monogenéticos de apenas 1 km de diámetro, cuya abundancia y frecuencia disminuyen hacia la planicie (2,600 msnm).

Como resultado de los sucesivos episodios de deformación y de la propia construcción de la sierra, existen fallas y fracturas que han facilitado la presencia de manantiales a diversa altitud, arroyos y ríos y las propias ciénegas en la planicie. El escurrimiento de los manantiales fue de gran magnitud de manera que formaron la Laguna de Almoloya, lo que fue el indicio del gran potencial hídrico de la Sierra de las Cruces, que suscitó a su vez la perforación de los pozos del Sistema Lerma del Sacmex (Sistema de Aguas de la Ciudad de México).

Marco geológico

Como se mencionó, las rocas aflorantes en la Sierra de las Cruces son principalmente el producto de la actividad principal volcánica que ocurrió durante el Plioceno tardío-Pleistoceno (3.71 ± 0.40 y 0.39 ± 0.16 millones de años, respectivamente) (Palomo *et al.*, 2008), y consiste en andesitas afectadas por intemperismo y erosión que han formado suelos residuales al pie de los taludes de las montañas. También se presentan depósitos piroclásticos de media a alta permeabilidad, por lo que funcionan como zonas de recarga. En el valle se presentan depósitos fluviales y lacustres que cubren a los depósitos volcanoclásticos terciarios. Esos depósitos están constituidos por aca-rreos de tamaño variable, cuyo tamaño va de arcillas, arenas, gravas hasta cantos sin consolidar, presentan una alta capacidad de infiltración con espesores de hasta 70 m en cortes litológicos de pozos considerándose excelentes lentes acuíferos (Conagua-GTZ, 2008; Castellanos- Nava, 2012). Los depósitos lacustres están constituidos por sedimentos arcillosos y limosos, se localizan en el área que en conjunto ocuparon y ocupan las ciénegas y que por supuesto es de mayor extensión a la ocupada hoy en día; éstos son de baja permeabilidad por lo que funcionan como confinantes de los cuerpos de agua superficiales (Castellanos- Nava, 2012).

Uso de suelo

Originalmente el área de estudio estaba constituida por bosques, pastizales, tulares y cuerpos de agua. El desarrollo económico de la zona de estudio ha venido produciendo cambios en el paisaje y en el uso de suelo. De acuerdo con Pineda-Jaimes *et al.* (2009), en el periodo de nueve años (1993-2002) se perdieron un total de 13,691 ha de bosque de coníferas, latifoliado y mesófilo, lo que significaría que procesos como el escorrentimiento superficial puede darse en forma de avenidas con una gran cantidad de material en suspensión, debido a que el suelo no está protegido por raíces y cubierta vegetal. De acuerdo con Zepeda-Gómez *et al.* (2012) los tres cuerpos de agua que integran las Ciénegas de Lerma han tenido una transformación significativa en el periodo 1973-2008. Las superficies de tulares han disminuido en un 94%, transformándose principalmente a campos de cultivo y vegetación acuática de porte bajo. De hecho, el cambio hacia zonas agrícolas es el más frecuente, mientras que la recuperación de espacios con vegetación acuática es prácticamente nula. La transformación de zonas de mayor densidad poblacional con zonas industriales va unida al uso del agua de manera intensiva y extensiva, de acuerdo a Zepeda-Gómez *et al.* (2012). En tanto que Martín del Campo *et al.* (2014) comentan que ha existido un proceso de expansión de la urbanización del municipio de Metepec hacia el oriente, donde se ha tenido un proceso de densificación de los municipios ubicados en esta porción del valle de Toluca.

Comportamiento hidrogeológico

Las componentes hídricas que alimentan a un EDAS son básicamente la precipitación directa de agua de lluvia en el humedal, el escurrimiento superficial procedente de la cuenca asociada, las entradas subterráneas ascendentes o bien, laterales del acuífero asociado y los aportes antrópicos como son descargas domésticas, municipales y/o industriales (Pérez-Almeyda, 2017). En tanto que las salidas pueden ser la evapotranspiración de la superficie abierta (desprovista de vegetación) y la producida por la vegetación, además de la extracción directa por bombeo y/o desviación de aportes naturales hacia el humedal (Fornés *et al.*, 2008). El equilibrio entre estos componentes supone que el EDAS en cuestión se encontraría en equilibrio, empero, en la mayoría de los casos existe un excesivo uso de los caudales de aportación superficial de manera consciente, y en otros casos, se hace una reducción de los aportes subterráneos de manera indirecta, al no ser visualizados como alimentación a los EDAS, lo que integra una extracción intensiva del recurso.

En el valle de Toluca, el flujo subterráneo originariamente tenía una dirección hacia el poniente, desde el Nevado de Toluca, y desde la Sierra de las Cruces, siendo las Ciénegas de Lerma la zona de descarga (Esteller y Díaz-Delgado, 2002). La expresión de esta confluencia era una amplia región integrada por potentes manantiales y una extensa zona de humedales ó ciénegas, Albores-Zárate (2013). La extracción de agua subterránea para usos doméstico, municipal, agrícola e industrial se inició en 1950, siendo el agua fue el detonante de la actividad industrial de la ciudad de Toluca. Paulatinamente, los niveles piezométricos han ido descendido con un promedio 1.25m/año en el periodo 1970-2010 para la ciudad de Toluca, a la vez que se ha desarrollado un cono de abatimiento al NE de la ciudad (Martín del Campo *et al.*, 2014).

Para la región oriente del acuífero de Toluca, a partir de 1951 se inició la operación del Sistema Lerma del entonces Departamento del Distrito Federal con un gasto de $4\text{m}^3/\text{s}$, el que se incrementó a $14.6\text{m}^3/\text{s}$ (1974) y disminuyó cuando entró en operación del Sistema Cutzamala (Aguirre, 2018). El caudal ha ido en decremento en los últimos 10 años, hasta registrarse $8.3\text{m}^3/\text{s}$, ahora que está integrado por 400 pozos, más de 100 km de interconexión y un acueducto de 60km de longitud y el Túnel Atarasquillo-Dos Ríos (Aguirre, 2018). De acuerdo con el mismo autor, las causas pueden ser el descenso de caudales, extracción de arena o bien, mala calidad el agua. Para la ZMCM, la importancia de estos caudales radica en que suministra el 14% del aporte total, que significa el 55% de su extracción, mientras que el resto se distribuye a poblaciones del propio valle de Toluca y del oriente del estado de México.

Adicionalmente, menciona que 10 manantiales de la Sierra de las Cruces (Cuajimalpa y Ajusco) en conjunto aportan $0.8\text{ m}^3/\text{s}$ al suministro de la Cd. de México.

De acuerdo a Castellanos-Nava (2012), el descenso de niveles piezométricos al oriente de las ciénegas en el periodo 1968-2009 fue de apenas 5m (0.12 m/a), y el desarrollo en 2009 de una depresión piezométrica entre la carretera México-Toluca y Atarasquillo. Aunque se han presentado descensos, éstos son menores, al ser una zona de descarga, se tiene la confluencia del flujo

regional del valle de Toluca, lo que aminora los efectos. Sin embargo, Rudolph *et al.* (2005) señalan que los gradientes verticales ascendentes son muy bajos y la velocidad de infiltración es baja. Los autores señalan que otras causas de la disminución de la superficie inundada de las ciénegas son obras de desvío del escurrimiento superficial y de los procesos de recarga al propio acuífero.

De acuerdo con Conanp (2017a y b), problemas más graves para el ANP son los incendios, la contaminación de cuerpos de agua, la presencia de especies exóticas, la forma en que se realiza el aprovechamiento de vida silvestre y la cacería furtiva. De acuerdo con el mismo documento, el Polígono 1 o Ciénega de Chignahuapan, tiene valores más altos para DBO, DQO y SST que el Polígono 3 ó Ciénega de Atarasquillo; o lo que significaría mayor contaminación. En 2018, se propuso el Programa de Manejo del ANP con categoría de Área de Protección de Flora y Fauna con el objetivo de establecer regulaciones y la gestión efectiva, DOF (2018). Sin embargo, en los documentos anteriores el agua subterránea no se concibe como un elemento de importancia para la conservación de las ciénegas, lo que sí es considerado por Velasco-Orozco (2008), quien comenta que es una causa de la desecación de los humedales, así también menciona la indiferencia de la población ante el deterioro ambiental de las ciénegas. Particularmente, en esta región Boege (2009) menciona que sólo el 1% de su superficie (30 km) está ocupado por las comunidades originarias (otomíes) lo que explicaría en parte la falta de conciencia ambiental en el cuidado por las ciénegas. A un resultado similar llegó Ramírez-Martínez (2016) al analizar la visión de una porción del poblado de Lerma.

En el análisis realizado por Pérez-Almeyda(2017) en la porción norte de la Ciénega de San Nicolás Peralta (CSNP) (llamada localmente Cuarta Laguna) para conocer los diferentes componentes de alimentación de las ciénegas, consideró la estimación tanto del flujo superficial y subterráneo en una cuenca de escurrimiento (área=15 km²) hacia la ciénega. En el periodo de análisis de marzo-junio 2017, previo a lluvias, el caudal promedio mensual de escurrimiento superficial fue de 0.001 m³/s, que se consideró sea mayor en la temporada de lluvia cuando el área inundada es la máxima. En tanto que la estimación del caudal del agua subterránea fue de 0.002 m³/s prácticamente constante a lo largo del año. Aunque Pérez-Almeyda (2017) no obtuvo el escurrimiento total hacia la ciénega, puso de manifiesto que el caudal subterráneo es mucho menor que el aporte de agua superficial, debido al proceso de captura del flujo subterráneo por la extracción intensiva de los pozos del Sistema Lerma, lo que explica la continua disminución de la superficie inundada de las ciénegas.

Justificación

A partir de la revisión bibliográfica, no se ha propuesto algún esquema de funcionamiento de las Ciénegas a escala regional y que considere el sistema hídrico en conjunto, lo que es imprescindible para una propuesta de gestión desde una visión integrada y que esté enfocada a su recuperación.

Metodología

El presente estudio plantea un modelo conceptual del comportamiento de las Ciénegas de Lerma, para lo cual se hace énfasis en cómo es la distribución del flujo de agua superficial y subterráneo, y su relación con la biodiversidad del humedal, hábitat que requiere el aporte de nutrientes y agua distribuidos adecuadamente a lo largo del año.

Para cumplir con el objetivo planeado se integró información antecedente de las Ciénegas de Lerma y se realizó el mapa geológico de la zona de estudio a partir de las cartas San Miguel Zinacantepec, clave E14A37 (CETENAL, 1975a) e (INEGI, 1997), Toluca de Lerdo, clave E14A38 (CETENAL, 1975b), e (INEGI, 1997), Nevado de Toluca, clave E14A47 (CETENAL, 1975c) e (INEGI, 2011), Tenango, clave E14A48 (CETENAL, 2011) e (INEGI, 1998), cortes litológicos y recorridos de campo, a fin de establecer puntos de verificación de las formaciones reportadas. Lo anterior permitió establecer el marco geológico del flujo subterráneo y superficial del agua.

Los muestreos de agua superficial se realizaron en abril de 2016, antes del inicio de la época de lluvias, lo cual permitió evaluar la composición del agua sin la influencia del escurrimiento de agua pluvial. El muestreo comprendió siete pozos del Sacmex y 8 puntos en la Ciénega (Figura 1). El muestreo en cada punto en el cuerpo de agua se hizo tomando muestras y midiendo parámetros en la parte media del tirante de agua. Se seleccionaron parámetros fisicoquímicos que permiten analizar procesos geoquímicos y que permiten evaluar la calidad como agua potable de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 y para la protección de la vida acuática en agua dulce y riego agrícola de acuerdo con los Criterios de Calidad del agua, CE-CCA-001/89 (DOF, 1989). Para considerar los tiempos de conservación de las muestras de agua para el análisis de cada parámetro y las recomendaciones para el muestreo se consideró lo mencionado en NMX-AA-014-1980 y APHA, AWWA, WEF (2012).

En campo se midieron los siguientes parámetros: CE (conductividad eléctrica), pH y temperatura del agua con un medidor Conductronic PC18, calibrado en campo y laboratorio, alcalinidad total y de fenolftaleína con la técnica de titulación con una solución de ácido clorhídrico 0.01N de J. T. Baker®, y con fenolftaleína y naranja de metilo como indicadores (NMX-AA-036-SCFI-2001). Turbidez: la medición se realizó mediante el turbidímetro portátil Hach® modelo 2100Q. La calibración se realizó con los estándares de calibración StablCal para 10, 20, 100 y 800 NTU (Nephelometric Turbidity Units).

En campo se tomaron muestras para su análisis en laboratorio, las que fueron filtradas en campo con membranas de nitrocelulosa Millipore de 0.45ucm. De esta forma se tomó una muestra para aniones y otra para cationes, a esta última fue añadido ácido nítrico Ultrex grado ultrapuro hasta pH~2. Ambas muestras fueron conservadas a una temperatura de 4 °C hasta el momento del análisis. Los procedimientos para la toma de muestras en cuerpos de agua similares coinciden con las recomendaciones de Fuentes y Massol (2003) y Sánchez, *et al.* (2007). Se analizaron iones mayores, menores y traza en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Campus Juriquilla de la UNAM.

El análisis de cationes se realizó con un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado por inducción Thermo® iCAP 6500 Duo View. En tanto que el análisis de aniones se realizó con un cromatógrafo de líquidos de alta resolución Dionex® ICS-2500 HPLC/IC con bomba de gradiente cuaternario y detectores de conductividad.

La interpretación de resultados se realizó mediante: el Diagrama de Shöeller (que integra los iones mayores Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , H_2CO_3^- , SO_4^{--}) que permite definir las familias de agua mediante la similitud entre la distribución de los iones mencionados; Diagrama F-CL y -turbidez-conductividad eléctrica. El primero, de interés geoquímico, permite definir si la composición de ambos iones de tipo conservativo, por no tener reacción con otros iones, tiene una continuidad entre el agua subterránea y la superficial, lo que se definiría en la gráfica por su distribución en una línea recta, lo que significaría que existe comunicación entre acuífero y ciénaga. El segundo diagrama, de interés ambiental, permite relacionar la conductividad asociada con el contenido de iones disueltos producto de procesos como interacción agua-roca, evaporación, por ejemplo, y la turbidez, que es clave para la calidad del agua, y está asociada con material orgánico e inorgánico en suspensión. Finalmente, se integró el modelo de comportamiento conjuntando la información anterior conforme al modelo EDAS (Ecosistema Dependiente del Agua subterránea) con lo cual se presentan propuestas para la gestión del agua a fin de alcanzar la recuperación de las ciénegas.

Resultados

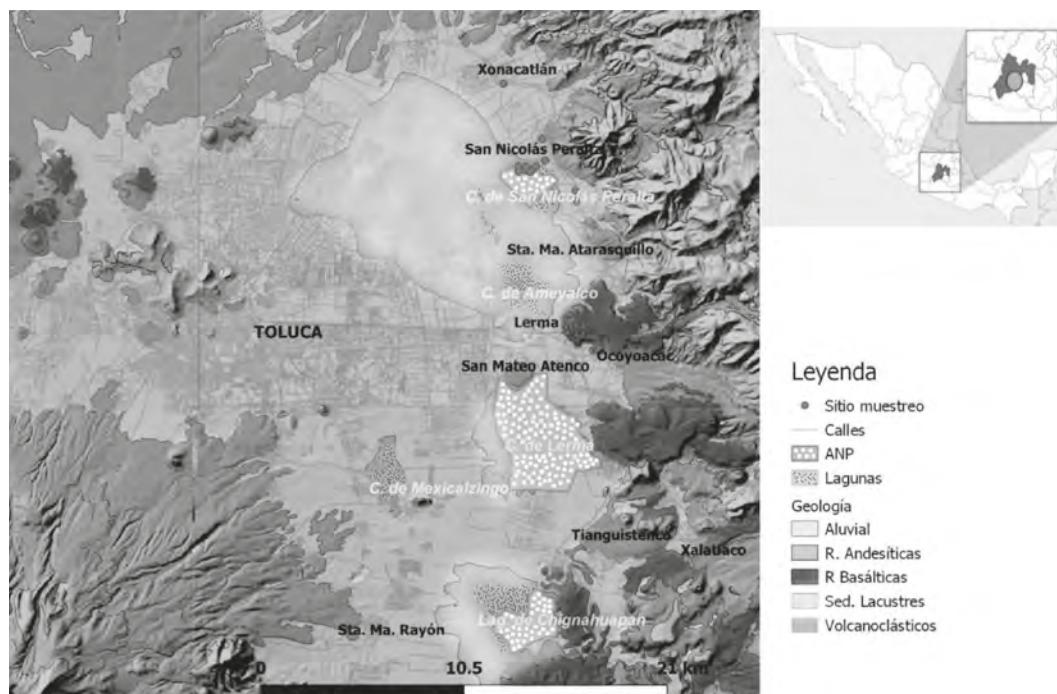
La figura 1 muestra el plano geológico de la zona de estudio donde se muestran los polígonos de las tres Ciénegas de Lerma de acuerdo a (DOF, 2002), y los puntos de muestreo que fueron los pozos de agua potable del Sacmex y los que se tuvieron en el agua de la Ciénega de San Nicolás Peralta (CSNP).

La Tabla 1 contiene los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua tomadas para el presente estudio. Se realizó el cálculo de la electroneutralidad de los resultados (en meq/L) de cada muestra, lo cual es un indicativo de la calidad del análisis. El 87% de los análisis tuvieron errores menores a 10% por lo que se consideran de buena calidad, en tanto que el 14% estuvieron entre 10 y 11% considerados como aceptables, y el 6% registró un valor cercano al 20%, por lo que fueron rechazados.

Los resultados químicos obtenidos en campo y laboratorio permitieron definir que los valores más altos se presentan en el agua superficial y los menores en el agua subterránea. La razón es debido a que el agua subterránea obtiene su composición de la interacción con el medio geológico solamente, en tanto que el agua superficial tiene varios procesos que inciden en su composición como pueden ser la actividad biológica, la geológica y las actividades antropogénicas circundantes.

FIGURA 1

Localización de la zona de estudio en el ángulo superior derecho con la elipse. Se muestra el mapa geológico y Polígonos de la ANP de las Ciénegas de Lerma con los puntos de muestreo. Para referencias de las cartas utilizadas, ver el texto



Fuente: mapa de localización tomado de Wikimedia commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mexico_\(state\)_in_Mexico_\(zoom\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mexico_(state)_in_Mexico_(zoom).svg)

TABLA 1

Resultados de análisis químicos practicados en muestras de agua de agua subterránea y superficial colectadas en la Ciénega de Lerma para los puntos que se muestran en la Figura 1, donde L corresponden a puntos en la ciénega y P son pozos, Ca=calcio, Cl=cloruro, CE=conductividad eléctrica, F=fluoruro, HCO₃⁻=bicarbonato, K=potasio, Mg=magnesio, Na=sodio, SO₄²⁻=sulfato, NTU=nephelometric turbidity units

Nombre	Sitio de muestreo	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	CE (uS/cm)	F ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Turbidez (NTU)
L2	Ciénega	53.14	30.67	550	0.49	647.54	25.51	31.17	61.56	14.39	10.00
L3	Ciénega	55.58	33.09	650	0.49	200.00	26.03	31.44	62.50	11.56	8.77
L4	Ciénega	46.11	20.92	867	0.33	704.92	27.45	34.13	70.08	7.36	13.60
L5	Ciénega	50.26	32.81	850	0.43	672.13	27.36	35.10	70.74	11.50	10.50
L6	Ciénega	45.76	42.10	793	0.50	688.52	25.77	32.25	62.26	12.28	17.30

Nombre	Sitio de muestreo	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	CE (uS/cm)	F ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Turbidez (NTU)
L7	Ciénega	50.84	6.07	810	0.26	616.39	25.62	32.38	61.70	2.14	9.36
L8	Ciénega	25.08	35.53	798	0.50	614.75	14.08	16.82	33.49	13.80	10.80
P1	Pozo	15.08	3.71	240	0.22	229.51	4.53	9.61	17.99	11.22	0.15
P2	Pozo	3.28	4.03	211	0.09	196.72	1.84	2.65	5.97	2.69	0.33
P3	Pozo	12.23	4.36	202	0.07	229.51	3.73	10.20	16.76	3.04	0.15
P4	Pozo	6.04	4.91	195	0.07	163.93	2.61	5.31	7.83	3.50	0.16
P5	Pozo	10.29	2.95	163	0.20	147.54	3.46	8.71	9.31	3.26	0.41
P6	Pozo	9.22	1.81	162	0.04	114.75	4.19	7.29	11.85	5.52	0.60
P7	Pozo	8.06	1.85	169	0.04	147.54	3.79	6.02	11.81	5.49	0.63

Fuente: elaboración propia.

Discusión de resultados

La cuenca de escurrimiento de las ciénegas se caracterizan apantles que conducen el agua lejos de la ciénega, hacia campos agrícolas, aunque también han servido para recibir descargas domésticas de agua residual. Por esta razón, en los canales se encuentra abundante vegetación acuática debido a los abundantes nutrientes vertidos en canales.

Para complementar el modelo conceptual de las ciénegas de Lerma, de acuerdo a Pérez-Almeyda (2017) que menciona que existen dos componentes hídricos de alimentación, de las cuales el subterráneo, actualmente de menor en cuantía que el superficial, por lo que existe reducción en la superficie inundada, lo que significaría la evaporation del agua contenido, sin mayor renovación anual. Los valores de CE (conductividad eléctrica) del agua subterránea, medidos en mayo 2016, fueron de 162-240 uS/cm que se considera como valores bajos, típicos de rocas volcánicas jóvenes, y que son menores que los del agua superficial (548-867uS/cm) que se supondrían asociados a procesos de evaporación. Lo anterior se comprueba con lo mostrado en el Diagrama de Shöeller (Figura 2, izquierda) que muestra que la concentración de los diferentes iones define un tipo de línea que tiene la misma forma para las correspondientes al agua subterránea (esto es, pertenecen a la misma facies hidrogeoquímica) de color verde y ubicada abajo se las correspondientes al agua de la ciénega, de color naranja.

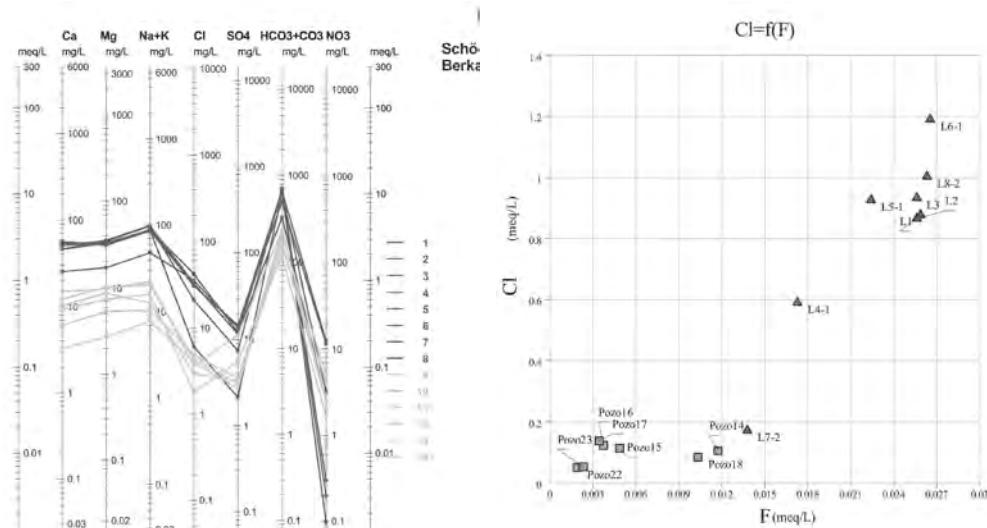
De acuerdo con Hem (1985) la única fuente posible de ion cloruro en esta región es el agua de lluvia; a medida que se tiene mayor tiempo de circulación en el medio geológico, las concentraciones de este ion se incrementarían un poco, sin embargo ya en la ciénega la evapotranspiración producirá un mayor incremento. En cuanto al fluoruro, de acuerdo con el mismo autor, tiene como origen, minerales de origen volcánico, así como gases fumarolas volcánicas, y como el ión cloruro, los incrementos en el medio geológico se producirán en cierta tasa y serán mayores en las superficies abiertas de ciénaga.

En esta región, la alimentación continua de agua, clima templado y relativamente poco tiempo de residencia, no produjo un cuerpo realmente salino, como sí ocurrió en el Lago de Texcoco (uno de los antiguos lagos de la Cuenca de México), debido a la presencia de un clima más cálido (Domínguez Mariani, 1996).

Las concentraciones de los iones cloruro y fluoruro, permiten visualizar que estos dos cuerpos de agua son todavía parte de una misma secuencia química e hidráulica al encontrarse las concentraciones en una línea recta (Figura 2, derecha) a pesar de la alimentación subterránea ha disminuido.

FIGURA 1

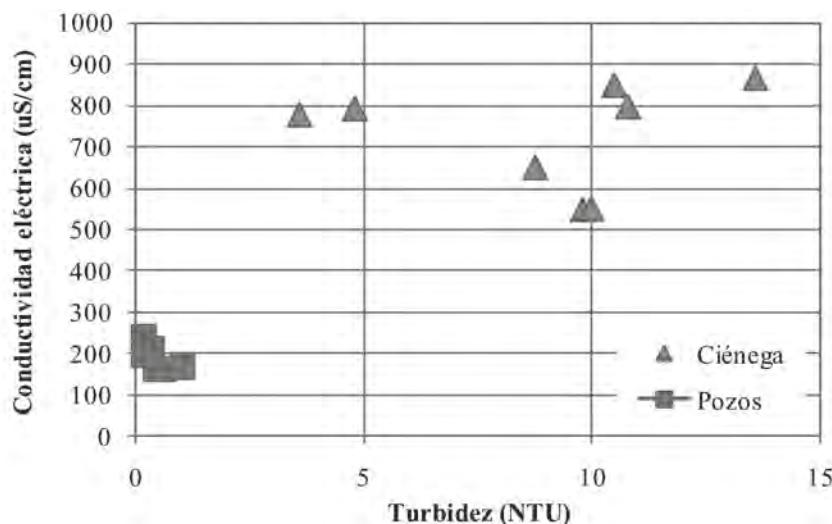
Diagrama de Shoeller (izquierda) que muestra las concentraciones de agua subterránea y agua superficial de las Ciénegas de Lerma, colectada en los puntos de muestreo de la Figura 1. Diagrama Fluoruro vs. Cloruro en meq/L (derecha), correspondiente a los mismos puntos de muestreo de la Figura 1



Fuente: elaboración propia.

La relación turbidez (NTU) vs. conductividad eléctrica (uS/cm) muestra los valores bajos de ambos parámetros del agua subterránea y los más altos en el agua de la ciénega (Figura 3). De acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, el agua subterránea se encuentra por debajo de los Límites permisibles de ambos parámetros (respectivamente, 5 NTU y 1570 uS/cm). Para evaluar el agua de la ciénegas, se evaluó la turbidez de acuerdo a lo recomendado por Singleton y Fast (2001), por lo que algunos puntos de la ciénega se encuentran por arriba de lo recomendado por este organismo (8 NTU).

FIGURA 3
Diagrama de Turbidez (NTU) vs. Conductividad eléctrica(uS/cm) que muestra los valores registrados en agua subterránea y agua superficial de las Ciénegas de Lerma, colectada en los puntos de muestreo de la Figura 1



Fuente: elaboración propia.

El incremento de la turbidez estaría en relación con los sedimentos suspendidos acarreados por la cuenca de escurrimiento y materia orgánica en suspensión, que significaría la paulatina colmatación de la ciénega por, consiguiente la pérdida de capacidad de almacenamiento, y el incremento de los procesos de eutrofización (Zhang *et al.* (2016), UAM-L y AL(2016); Rivera-Lima (2017).

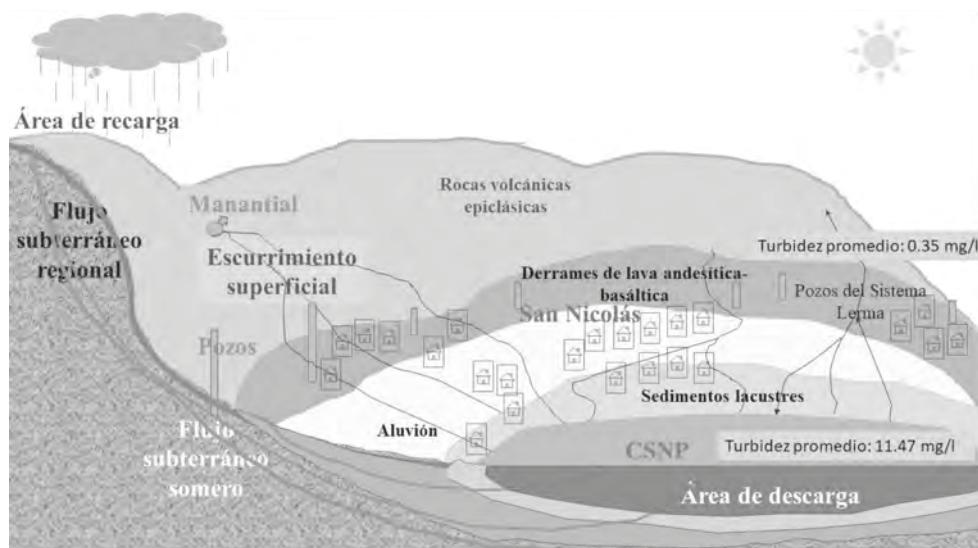
Modelo conceptual de funcionamiento de la Ciénegas de Lerma

En la figura 4 se muestra un esquema con el modelo conceptual de la ciénega de San Nicolás Peralta, pero que es aplicable a las Ciénegas de Lerma, donde la base del sistema está integrada por rocas volcánicas fracturadas y por depósitos volcánicos poco consolidados, de edad terciaria. Se ha tomado como modelo de comportamiento el de un ecosistema dependiente del agua subterránea (EDAS) de extensión regional, que ha tenido la alimentación de flujo subterráneo tanto del Nevado de Toluca como de la Sierra de las Cruces. Los procesos de erosión-acumulación conformaron un importante espesor de sedimentos lacustres durante el Cuaternario. La continuidad hidráulica entre el acuífero y el humedal aún existe, aunque la continua disminución de los escurrimientos tiene efectos visibles en la calidad del agua, en la extensión de las propias ciénegas y también en la biodiversidad propia del humedal. Esta reducción se relaciona con la desviación

del agua superficial, la extracción intensiva del agua subterránea para el propio valle y para la Cuenca de México, además la persistente presión antrópica por la reducción de la superficie de tules, a agua abierta, hacia agricultura y finalmente, hacia uso urbano. El aporte de aguas residuales domésticas hacia los canales afecta a la calidad del agua del cuerpo, la que disminuye aún más por la disminución de escurrimiento del flujo de aguas subterráneas, sólo en la época de lluvias las condiciones del humedal mejoran.

FIGURA 4

Esquema que representa de forma simplificada la relación entre el agua superficial y subterránea que alimentan a la Ciénega de San Nicolás Peralta. Esquema no está a escala



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente al modelo conceptual, de acuerdo con Kløve *et al.*, (2014) el cambio climático influirá en forma compleja, principalmente la recarga que se encuentra de por si asociada a la variabilidad climática, sin contar con que esta última también influye en el manejo hídrico. Considerando que la recarga de las ciénegas tiene influencia de flujo subterráneo proveniente de deshielo del Nevado de Toluca, los cambios en el régimen de nevadas-y fusión repercutirán en la recarga del acuífero completo y de la que llega a las ciénegas.

De acuerdo con el mismo autor, los cambios asociados al cambio climático y que repercutirán en el agua subterránea que se reflejan en el incremento de la profundidad, en el incremento en la presión por diferentes usuarios, en la cantidad de agua que llega a los ecosistemas dependientes del agua subterránea, así como un incremento en el cambio de uso de suelo. Lo anterior se ha presentado ya en el entorno de las Ciénegas.

Según Foster y Ait-Kadi (2013) existe un importante vínculo entre el manejo del agua subterránea el desarrollo económico y los ordenamientos territoriales, sin embargo, raramente es

reconocido. La forma en que se llevaría a la práctica es la implementación de un esquema de GIRH (Gestión de Recursos Hídricos) que requiere, a su vez, de la integración apropiada de políticas y esquemas regulatorios, arreglos institucionales, participación social, e instrumentos efectivos para que, en este caso de estudio, los EDAS sean un parte integral de los recursos de agua subterránea.

En relación con las Ciénegas de Lerma, a pesar de que instrumentos como el Plan de manejo del área natural protegida federal (DOF, 2018), la Norma para el gasto ecológico (DOF, 2012), y los Criterios de Cuidado de la Calidad del Agua (DOF, 1989), de que se tiene en curso la actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Estatal del estado de México (POETE), el pago de servicios ambientales, no se ha conseguido la protección o la restauración de la ciénegas.

Podría ser, que como lo mencionan McClain y Anderson (2015) que el desafío se encuentra en "los procesos de gobernanza y la asignación equitativa entre los usuarios del agua y el medio ambiente". Sin embargo, Metha *et al.* (2016) menciona que la GIRH no funciona debido a que no ha resuelto las inequidades de acceso a agua al incluir arreglos institucionales centralizando el poder y el control creando poderosos usuarios. Por lo que se requiere una nueva legislación que considere instituciones fortalecidas, en el que participen activamente las comunidades para la vigilancia y el cuidado.

Por lo que es importante poner en el centro de la gestión al agua subterránea, que redundaría en la conservación-restauración de las Ciénegas de Lerma. Es importante rescatar, algunas acciones que se proponen son las siguientes:

- Difundir los saberes de las comunidades originarias hacia los nuevos núcleos de población que habitan las riberas y aun, el valle.
- Es preciso hacer uso de los instrumentos normativos existentes y realizar los acuerdos inter-institucionales para la obtención de volúmenes de escurrimiento para restablezcan las funciones ecológicas de las ciénegas.
- A fin de que las actuales actividades productivas generen la menor cantidad de residuos contaminantes, es urgente se proporcionen instrumentos fiscales y también sanciones para su reducción progresiva. Así como, se requiere la incorporación de tecnologías para su tratamiento a baja escala.

Es preciso, el monitoreo y evaluación constante por parte de autoridades y habitantes para el seguimiento del avance de la restauración.

Conclusiones

Las Ciénegas de Lerma constituyen un EDAS (Ecosistema Dependiente del Agua Subterránea) de extensión y funcionamiento regional cuyo sistema de alimentación está constituido por agua subterránea, superficial y lamentablemente también, por agua residual. Aunque se trata de un

sistema hidrológico alterado aún existe la conexión hidráulica entre el acuífero y las ciénegas, mostrada mediante Diagrama de Schöeller y los iones conservativos de Cl y F.

Los resultados muestran que la componente de agua subterránea, considerada como constante a lo largo del año, es de menor cuantía que la superficial, que está asociada a un notorio incremento de la superficie inundada en época de lluvias. La disminución en la cuantía de los componentes naturales que ha tenido, ha significado efectos en la extensión de la superficie inundada, en la calidad del agua y por ende en la supervivencia de la biodiversidad de cuerpo de agua entero.

Las acciones de conservación de las ciénegas deberán considerar la protección de los caudales ecológicos, lo que significa la Gestión Integral del Agua para mantener el ecosistema y las funciones ambientales que suministra. A las acciones de protección y conservación de los humedales en conjunto debe integrarse el conocimiento hidrogeológico ya que constituye la componente de mejor calidad y de presencia constante a lo largo del año.

La competencia que existe por el uso del agua significa establecer un nuevo equilibrio entre los diferentes usuarios fin de establecer una nueva política hídrica en torno a la protección de los humedales.

Finalmente, es necesaria la valorización de las cienegas por las autoridades federales, estatales y locales y también por los todos los habitantes, a fin de conservar este ecosistema de gran importancia ambiental.

Referencias

- AG (Australian Government) & NWC (National Water Commission) (2008). Subsurface groundwater-dependent ecosystems. *Raising National Water Standards Program*, 2 p.
- Aguirre, R. (2018, 12 junio). Planean reactivar el Sistema Lerma, *El Universal, Sección Metrópoli*. Recuperado el 12 junio de 2018, de: <https://www.eluniversal.com.mx/metro/cdmx/planean-reactivar-el-sistema-lerma>.
- Albores-Zárate, B. (2013). Zanbatha. Etapas históricas del valle de Toluca. En Bastida, M. et al., (2013). *Zanbatha, El Valle de la Luna*, Colección 2 Diversidad Inteligente. 5-58 p. UAM,
- APHA, AWWA & WEF (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation) (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22a ed.) Washington: American Public Health Association.
- Bergkamp, G. & Cross, K. (2006). Groundwater and Ecosystem Services: towards their sustainable use. *International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS)*. Barcelona, España: Resumen en extenso, 177-196.
- Boege, E. (2009). El reto de la conservación de la biodiversidad en los territorios de los pueblos indígenas, en *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 603-649.
- Bond, N.; Lake, P. & Arthington, A. (2008). The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective. *Hydrobiologia*, 600, 3-16.

- Bradley, C. (2002). Simulation of the annual water table dynamics of a floodplain wetland, Narborough Bog, UK. *Journal of Hydrology*, 261, 150-172.
- Castellanos-Nava, P. (2012). *Caracterización hidrodinámica e hidrogeoquímica de la porción oriente del Acuífero del valle de Toluca, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México.
- ccw (Committee on Characterization of Wetlands) (1995). *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 329 p.
- Ceballos, G. (2003). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. 14 p. Recuperado de: <http://ramsar.wetlands.org/Database/Searchforsites/tabid/765/language/en-US/Default.aspx>, consultado en abril de 2019.
- Cetenal (Comisión de Estudios del Territorio Nacional) (1975). Carta geológica San Miguel Zinantepec, E14A37, escala 1:50, 000, Primera Edición, Segunda reimpresión-
- Cetenal (Comisión de Estudios del Territorio Nacional) (1975). Carta Geológica Toluca de Lerdo, E14A38, escala 1:50, 000, Primera Edición.
- Cetenal (Comisión de Estudios del Territorio Nacional) (1975). Carta Geológica Nevado de Toluca, E14A47, escala 1:50, 000, Primera Edición.
- Cetenal (Comisión de Estudios del Territorio Nacional) (2001). Carta geológica Tenango, E14A48, escala 1:50, 000, tercera impresión.
- Ching, L., & Mukherjee, M. (2015). Managing the socio-ecology of very large rivers: Collective choice rules in IWRM narratives. *Global Environmental Change*, 34, 172-184.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua), y GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, en alemán; Agencia de Cooperación Técnica Alemana) (2008). Plan de manejo de la Cuenca del Río Lerma en el Valle de Toluca. Agencia Alemana de Cooperación Técnica, Reporte final.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2002). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero valle de Toluca, Estado de México. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 40 p.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2017). Descripción de la Problemática del APFF (Área de Protección de Flora y Fauna) Ciénegas del Lerma. SEMARNAT, 12 p.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2017b). Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas del Lerma, revisión., 27 p. Recuperado en febrero de 2017, de: <http://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/19983/mir/41296/regulacion/3281146>.
- De la Hera, A., Hidalgo, R., Gimeno, I., Bernués, M., Moreno, L. y Murillo, J. (2013). Aproximación a la conceptualización de los ecosistemas dependientes de aguas subterráneas en España. Cartel, 8 Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Lisboa, 5-7 de diciembre de 2013.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (1989). Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Aguas CE-CCA-001/89. 13 diciembre 1989. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989.

- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2002). Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Ciénegas del Lerma, ubicada en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México, con una superficie total de 3,023-95-74.005 hectáreas. 27 de noviembre de 2002, Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=718862&fecha=27/11/2002.
- DOF (Diario de la Federación) (2012). Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, Diario Oficial de la Federación, México. 20/09/2012.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2018). Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con categoría de Área de Protección de Flora y Fauna la zona conocida como Ciénegas del Lerma, miércoles 5 de septiembre de 2018, 35 p.
- Domínguez Mariani, E. (1996). *Geoquímica del agua salina del acuífero lacustre y riesgo de contaminación al acuífero subyacente que abastece a la ciudad de México*. Tesis de Maestría en Ingeniería (Ambiental), División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 122 p.
- Dresel, P. E.; Clark, R.; Cheng, X.; Reid, M.; Terry, A.; Fawcett J. & Cochrane, D. (2010). *Mapping Terrestrial Groundwater Dependent Ecosystems: Method Development and Example Output*. Melbourne VIC. Victoria Department of Primary Industries, 66
- Eamus, D. (2007). *Identifying groundwater dependent ecosystems. A guide for land and water managers*. Land & Water Australia, 16 p.
- Erwin, K. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology Management*, 17, 71-84.
- Esteller, M. V. y Díaz-Delgado, C. (2002). Environmental Effects of Aquifer Overexploitation: A Case Study in the Highlands of Mexico. *Environmental Management*, 29 (2), 266–278.
- Fornés, J. M., De la Hera, A., Ballesteros, B. y Aragón, R. (2008). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales del litoral mediterráneo español. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2), 231-246.
- Foster, S.; Koundouri P.; Tuinhof A.; Kemper K.; Nanni M. y Garduño H. (2006). *Los ecosistemas dependientes del agua subterránea procedimientos de caracterización y medidas de conservación. Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas*. Serie de Notas Informativas GW Mare, Nota 15. Banco Mundial, 8 p.
- Foster, S., & Ait-Kadi, M. (2012). Integrated Water Resources Management (IWRM): how does groundwater fit in?. *Hydrogeology Journal*, 20 (3), 415-418.
- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. (2002). *Parámetros físico-químicos. En Manual de laboratorios: ecología de microorganismos (18-31)*. San José: Universidad de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>
- García-Palomo, A.; Zamorano, J. J.; López-Miguel, C.; Galván-García, A.; Carlos-Valerio, V.; Ortega, R. y Macías, J. L. (2008). El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 251, 158-178.

- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply Paper No. 2254.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1997). Carta topográfica Zinancatepec, E14A37, escala 1:50, 000, Primera edición, primera impresión.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1998). Carta Topográfica Tenango, E14A48, escala 1:50, 000, primera impresión.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (1999). Carta topográfica Toluca de Lerdo, E14A38, escala 1:50, 000, Tercera Edición.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2011). Carta Topográfica Nevado de Toluca, E14A47, escala 1:50, 000, primera impresión.
- Klijn, F. & Witte, J. P. M. (1999). Eco-hydrology: Groundwater flow and site factors in plant ecology. *Hydrogeology Journal*, 7, 65-77.
- Kløve, B.; Ala-Aho, P; Bertrand, G.; Gurdak, J. J.; Kupfersberger, H.; Kværner, J.; ... & Uvo, C. B. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518, 250-266.
- Kreamer, D. K.; Stevens, L. E. & Ledbetter, J. D. (2015). Chapter 9, Groundwater dependent ecosystems-science, challenges, and policy directions, in *Groundwater* Ed. Segun Michael Adelana, Nova Science Publishers, Inc.
- Malcom D., Pacini, N., & Zalewski, M. (2016). Ecohydrology is a fundamental component of integrated water management. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16, 201-202.
- Martín del Campo, M. A.; Esteller, M. V.; Expósito, J. L. & Hirata, R. (2014). Impacts of urbanization on groundwater hydrodynamics and hydrochemistry of the Toluca Valley aquifer. *Environmental Monitoring Assessmente*, 186, 2979-2999.
- Matta, G.; Srivastava, S.; Pandey, R. R., & Saini, K. K. (2017). Assessment of physicochemical characteristics of Ganga Canal water quality in Uttarakhand. *Environment, development and sustainability*, 19 (2), 419-431.
- McClain M. E., & Anderson E. P. (2015). The Gap Between Best Practice and Actual Practice in the Allocation of Environmental Flows in Integrated Water Resources Management. In: Selegny S., Donoso M. (eds.) *Sustainability of Integrated Water Resources Management*. Springer, Cham
- Mehta, L.; Movik, S.; Bolding, A.; Derman, B., & Manzungu, E. (2016). Introduction to the special issue-flows and practices: The politics of Integrated Water Resources Management (IWRM) in southern Africa.
- Norma Mexicana NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores-muestreo. *Diario Oficial de la Federación*, 05 septiembre de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de Agua-Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de enero de 1997.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano (modificación), límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*, 16 de diciembre de 1999.

- Pérez-Almeyda, E. (2017). *Estimación del aporte de agua subterránea a partir de parámetros físico-químicos en la Ciénega de San Nicolás Peralta, Lerma, Estado de México, México*. Proyecto de Investigación para requisito para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería en Recursos Hídricos. Universidad Autónoma Metropolitana Lerma. 72 p.
- Pineda-Jaimes, N. P.; Bosque-Sendra, J.; Gómez-Delgado, M. y Plata-Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, 69, 33-52.
- Ramírez-Martínez, L. (2016). *Visión Transdisciplinaria del Canal de las Garzas (apantle), Lerma de Villa-dña, Estado de México; Camino al Rescate de Socio-Ecosistemas Lacustres en el Valle de Toluca*. Trabajo terminal para obtener el título de Biología ambiental, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Lerma, 36 p.
- RAMSAR (2004). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) Ciénegas de Lerma*. Recuperado el 18 de enero de 2017 de: <https://rsis.ramsar.org/ris/1335>.
- RAMSAR (2015). Wetlands: why should I care? Fact Sheet, 2 p. Recuperado el 8 de junio de 2019 de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet1_why_should_i_care_0.pdf
- Rivera-Lima, A. F. (2017). *Estudio del comportamiento de los contaminantes provenientes de la agricultura, con una evaluación temporal y espacial en la Sub Cuenca de San Nicolás Peralta*. Proyecto terminal de la Licenciatura en Ingeniería en Recursos Hídricos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, marzo del 2017, 34 p.
- Rudolph, D. L.; Sultan, R.; Garfias, J. & McLaren, R. (2005). Significance of enhanced infiltration due to groundwater extraction on the disappearance of a headwater lagoon system: Toluca Basin, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 1, 115-130.
- Sánchez, O.; Herzig, M.; Peters, E.; Márquez, R. y Zambrano, L. (Eds.). (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (113-144). México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sanford, W. E.; Nelms, D. L.; Pope, J. P. & Selnick, D. L. (2012). Quantifying components of the hydrologic cycle in Virginia using chemical hydrograph separation and multiple regression analysis. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report*, 2011-5198, 152 p.
- Singleton, H., & Fast, D. (2001). *Ambient Water Quality Guidelines (Criteria) for Turbidity, Suspended and Benthic Sediments, Overview Report*. Environmental Protection Division, Ministry, Government of British Columbia, 11 p. Recuperado el 13 de abril de 2019 de: https://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/ffip/bcmoe1998_b.pdf
- UAM-L (Universidad Autónoma de México, Unidad Lerma) y Ayuntamiento de Lerma (AL) (2016). *Caracterización y diagnóstico hídrico y de la biodiversidad de la Cuarta Laguna de Lerma*, inédito, reporte técnico, 40 p.
- Velasco-Orozco, J. J. (2008). La Ciénega de Chiconahuapan, Estado de México: un humedal en deterioro constante. *Contribuciones desde Coatepec*, 15, 101-125.

- Viesca-González, F. C.; Flores-Somera, J. L.; y Romero-Contreras, A. T.; Garduño-Mendoza, M. y Quintero-Salazar, B. (2011). El impacto de la desecación de la laguna de Lerma en la gastronomía lacustre de San Pedro Tultepec de Quiroga, Estado de México. *El Periplo Sustentable*. Universidad Autónoma del Estado de México, 21, 101-138.
- Womble, P.; Perrone, D.; Jasechko, S.; Nelson, R. L.; Szeptycki, L. F.; Anderson, R. T., & Gorelick, S. M. (2018). Indigenous communities, groundwater opportunities. *Science*, 361 (6401), 453-455.
- Zepeda-Gómez, C.; Nemiga, X. A.; Lot Helgueras, A. y Madrigal Uribe, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las Ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas*, 78, 48-61.
- Zhang, Z.; Wang, J. J.; Ali, A.; & DeLaune, R. D. (2016). Heavy metal distribution and water quality characterization of water bodies in Louisiana's Lake Pontchartrain Basin, USA. *Environmental monitoring and assessment*, 188 (11), 628.
- Zorrilla-Miras, R.; Palomo, I.; Gómez-Baggethun, E.; Martín-López, B.; Lomas, P. L. & Montes, C. (2014). Effects of land-use change on wetland ecosystem services: A case study in the Doñana marshes (sw Spain). *Landscape and Urban Planning*, 122, 160-174.

Semblanzas

Miriam Alfie Cohen

Es profesora-investigadora en el Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Cuajimalpa (UAM-C). Fue la primera presidenta de este departamento entre 2005 y 2009. Además, es miembro de la Asociación Mexicana de Estudios Canadienses, de la que también fue presidenta. Es investigadora del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II. Sus principales líneas de investigación son la gobernanza; gobernanza e instituciones; agentes de riesgo ambiental y agencias ambientales en el espacio de América del Norte; globalización y democracia; y la adaptación y mitigación inter/transdisciplinar del cambio climático en las comunidades urbanas y periurbanas.

David Barkin

Doctor en economía de Yale University, actualmente es Profesor Distinguido en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Recibió el Premio Nacional de Economía Política en 1979. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias e Investigador Emérito el Sistema Nacional de Investigadores. En 2015, fue otorgada por tres años la Cátedra Georg Forster por la Fundación Alexander van Humboldt, en Alemania, para avanzar en sus investigaciones relacionadas con el impacto del cambio climático. Sus análisis de la dinámica social y productiva en el campo mexicano contribuyeron a orientar los trabajos del Centro de Ecodesarrollo desde sus inicios en 1974 y siguen guiando a investigadores en temas rurales hasta estos días.

José A. Colín Luna

Cuenta con la licenciatura en Ingeniería Química por la UAM-A, la maestría y el doctorado en Ingeniería Química por la UAM-I. Ha sido miembro y coordinador del comité de estudios de la carrera en Ingeniería Química, del Comité Editorial de la Revista Conexiones, Miembro del Comité Editor de la DCBI, Miembro del SNI (Nivel I) en el periodo 2017-2020 y perfil Promep desde el 2004. Jefe del Área de Análisis de Procesos desde el 2015. Una de sus líneas de interés principal radica en el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados con propiedades ácidas empleados como adsorbentes o soportes de catalizador para reacciones de hidrotratamiento o para transformación en combustibles limpios a partir de la biomasa hacia biocombustibles.

Roberto M. Constantino Toto

Economista por la Universidad Autónoma Metropolitana, con estudios en Políticas Públicas (ITAM, México), y Política de Ciencia y Tecnología (STEPI, Corea del Sur), es integrante de la Red de Agua

de la UAM. Se desempeña como investigador universitario en el campo de la política económica y la gestión de los recursos naturales (Universidad Autónoma Metropolitana). Ha sido jefe del Área de Investigación de Política Económica y Desarrollo, así como director de la Cátedra “Raúl Anguiano” de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Ha formado parte de diversos comités nacionales e internacionales de consejería en materia de gestión hídrica y ha dirigido proyectos de investigaciones en el ámbito de la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos naturales.

Helena Cotler Avalos

Doctora en Ciencias Agronómicas y maestra en Geomorfología por la Universidad de Liège, Bélgica, actualmente es investigadora titular en el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centrogeo). Sus intereses profesionales son el estudio de la erosión de suelos y, manejo de cuencas y políticas públicas. Sobre este último tema sus últimas publicaciones son “Incidencia del enfoque de cuencas en las políticas públicas en México” en Burgos *et al.* (2015), UNAM y “Cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización”, Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P.

María Guadalupe Díaz Santos

Cursa el doctorado en Estudios Urbanos y Ambientales en El Colegio de México; hizo una maestría en Ciencias Sociales en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales; y cursó Sociología en la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha estudiado temas del agua desde el enfoque social como: las implicaciones sociales de la participación privada en el servicio público del agua; las relaciones de poder en la gestión comunitaria del agua; la vulnerabilidad hídrica en contextos urbanos; el manejo del agua en los distritos de riesgo; así como el impacto hídrico de actividades extractivas. Es miembro de la Red Water LatGobacit, donde se le otorgó el premio del primer lugar por la mejor tesis de maestría; también es integrante de la Red de Investigadores Sociales Sobre el Agua.

Eloísa Domínguez Mariani

Es ingeniera geóloga (UNAM) con maestría en Ingeniería Ambiental (UNAM) y doctorado en Ciencias de la Tierra (UNAM), en la opción aguas subterráneas; realizó un posdoctorado en el Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología (IPICYT), Centro Público de Investigación de Conacyt. Ha laborado tanto en el sector privado como en el público (Conagua) y en el sector académico. Laboró en la UNAM, en el Instituto Interamericano de Recursos del Agua-UAEM; actualmente es profesora definitiva en la Unidad Lerma de la UAM. Es miembro del SNI nivel I y profesora de Perfil deseable de Promep. Las líneas de investigación que desarrolla son hidrogeología, evolución geoquímica del agua subterránea, modelación hidrogeoquímica, especialmente la interrelación agua residual-agua subterránea, sistemas kársticos y ambientes salinos.

Judith Domínguez Serrano

Es profesora-investigadora del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México, Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores de Conacyt. Fue Directora General Adjunta de políticas públicas y marco legal en la Subdirección General de Planeación de

la Comisión Nacional del Agua. Participó del Seminario Permanente de Estudios Constitucionales sobre la Constitución de la CDMX y coordina el Doctorado en Estudios Urbanos y Ambientales. Es miembro del Comité técnico de la Red temática de Gestión e Investigación del Agua de Conacyt. Sus líneas de investigación son: Política y derecho de aguas, derecho humano al agua y gobernanza ambiental. Ha trabajado como consultora en temas ambientales para diversas instituciones gubernamentales nacionales e internacionales.

Flor Y. García-Becerra

Es profesora-investigadora en el Departamento de Procesos y Tecnología (Licenciatura en Ingeniería Biológica) en la UAM-C a través de un Conacyt de Cátedra (Proyecto No. 2989). Sus líneas de investigación actuales incluyen tanto ingeniería biológica como proyectos inter/transdisciplinarios. En el aspecto de la ingeniería, se centra en la valorización de la biomasa de residuos; Biodegradación de microcontaminantes en aguas residuales; y soluciones descentralizadas de agua y saneamiento (recolección de agua de lluvia, retretes secos y humedales construidos) desde una perspectiva de ingeniería ecológica. En su trabajo transdisciplinario, estudia las adaptaciones del cambio climático sostenibles y resistentes en las ciudades.

Eugenio Gómez Reyes

Profesor-Investigador Titular "C" del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa. Educado en los Estados Unidos desde su formación en la Maestría y Doctorado en la Universidad Estatal de Nueva York. Imparte cursos en la Licenciatura de Ingeniería Hidrológica y en el Posgrado de Energía y Medio Ambiente de la UAM-Iztapalapa. Así como en la Especialización de Economía y Gestión del Agua de la UAM-Azcapotzalco. Ha coordinado proyectos de Investigación, dirigido tesis, además de elaborar modelos numéricos para la simulación de procesos hidrológicos e hidrodinámicos en cuencas y cuerpos de agua.

Margarita M. González Brambila

Licenciatura en Ingeniería Bioquímica Industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana, maestría en Ingeniería Química por la Universidad Nacional Autónoma de México, y doctorado en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana. Fue ingeniera de Proyectos en Fertilizantes Mexicanos, Investigadora en el Instituto Mexicano del Petróleo y actualmente es Profesora-Investigadora en la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Sus líneas de investigación se centran en el tratamiento de agua residual y el desarrollo de procesos biológicos. Fue Jefa del Departamento de Energía en la UAM, es Presidenta de la Academia Mexicana de Energía, A. C., y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

Iván Maceda Mejías

Se gradúa de la carrera en Estomatología de la UAM unidad Xochimilco en el año 2009 y se dedica a la práctica privada en la atención a la salud bucal desde entonces. Comenzó a participar en el programa radiofónico de Radio Abierta desde el año 2011 y conduce una sección especial dedicada a la concientización de los problemas ambientales, así como la participación en campañas

de desestigmatización de las personas con padecimientos psíquicos. Se gradúa de la maestría en Ecología Aplicada, participando en diversos eventos relacionados con los temas de salud pública, Investigación en odontología y medio ambiente. Forma parte del comité organizador de la Segunda Reunión Académica en Ecología Aplicada celebrada en mayo de 2017.

Pedro Moctezuma Barragán

Licenciado en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México y Doctor en Planeación y Desarrollo por la Facultad de Estudios Sociales y Ambientales *The University of Liverpool*, Integrante de la Junta Directiva de la Universidad Autónoma Metropolitana, Coordinador General del Programa de Investigación para la Sustentabilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana, Integrante del Departamento de Sociología de UAM Iztapalapa, Integrante de la Coordinadora Nacional Agua para Todos Agua para la Vida, Fundador del Centro para la Sustentabilidad “Incalli Ixcahuicopa” (CENTLI), Autor de diversos libros y artículos sobre gestión integral del agua, medio ambiente y movimientos sociales en México.

Delia Montero Contreras

Profesora investigadora Titular C de tiempo completo adscrita al Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Es Doctora en Economía por la Escuela de Altos Estudios de América Latina (IHEAL), Sorbonne Nouvelle Paris III, Francia. Realizó estudios de maestría en Desarrollo Rural en el Instituto Estudios en Desarrollo Económico y Social (IEDES) en Paris, Francia, y de Licenciatura en Relaciones Internacionales en la UNAM-Acatlán. Actualmente es miembro del Comité Científico de la Asociación Internacional de Estudios sobre Québec (AIEQ), miembro fundador del Foro del Agua de la UAM, coordinó el proyecto Calidad y disminución de la demanda de agua en el Distrito Federal, financiado por el ICYTFD, y es miembro fundador y Jefa del Área Investigación de Economía Institucional, Estado y Gestión Social adscrita al Departamento de Economía.

Adalberto Noyola

Ingeniero Ambiental por la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (1976-1980) en CDMX. Cursó la maestría y el doctorado en ingeniería (tratamiento de aguas residuales) en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Toulouse, Francia (1981-1985). Desde 1987 es investigador en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es investigador titular C y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) con el nivel III. Entre 2008-2016 fue Director del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Su línea de investigación es el tratamiento de aguas residuales y lodos por vía biológica, en particular los procesos anaerobios. Asimismo, desarrolla investigación sobre la emisión de gases de efecto invernadero (metano) a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Raul Pacheco-Vega

Doctor en Manejo de Recursos y Estudios Ambientales por *The University of British Columbia* (Vancouver, Canada) con doble especialización en ciencia política y geografía humana, Profesor-Investigador Titular de la División de Administración Pública del Centro de Investigación y Do-

cencia Económicas (CIDE). Sus líneas de investigación incluyen el estudio de la política pública comparada, el análisis de la transferencia de políticas, la gobernanza del saneamiento, los aspectos políticos del agua embotellada, el manejo de basura, los movimientos ambientales transnacionales, los conflictos por el agua y la teoría neoinstitucional. Investigador Nacional Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

María Perevochtchikova

Es Ingeniera-hidróloga por la Universidad Estatal de Hidrometeorología de Rusia (1996); y Doctora (PhD) en Ciencias Geográficas por el Departamento de Ecología Aplicada por la misma Universidad (2003); con estancia posdoctoral en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (2004-2006). Desde enero de 2007 es profesora-investigadora del área urbano-ambiental del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México A. C. (Colmex). A partir del 2006 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (actualmente nivel III). A partir del 2015 Académica de la Academia de Geografía de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Ha coordinado varios proyectos de investigación de Ciencia Básica, Problemas Nacionales, Fondos Mixtos del Conacyt.

Guillermina Pérez González

Es Catedrática del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, adscrita a Subdirección de Posgrado. Licenciada en Economía por UAM-I, Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial por TESCO, y actualmente está realizando el Doctorado en Ciencias Administrativas con Especialidad en Producción Sustentable. Ha publicado unos 40 artículos, libros electrónicos y ponencias. Con el apoyo de sus alumnos y del Cuerpo Académico como Perfil Deseable por Prodep, ha llevado a cabo estancias y estadías de investigación en México, Europa y Latinoamérica, que le han permitido fortalecer su quehacer académico al compartir el conocimiento adquirido con sus alumnos de Licenciatura y Posgrado.

Héctor Fernando Puebla Núñez

Cuenta con la licenciatura en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la maestría en Ingeniería Química y el doctorado en Ciencias (Ingeniería Química) por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I). Hizo una estancia posdoctoral en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Investigador Científico en el IMP. Es Profesor-Investigador en la UAM-Azcapotzalco desde 2006. Es responsable del Cuerpo Académico Consolidado de Análisis de Procesos de la UAM-A desde el 2007, Jefe del Área de Análisis de Procesos del 2007-2012, Fundador y Coordinador del Posgrado en Ingeniería de Procesos de la UAM, Vocal de la Asociación Mexicana de Control Automático 2011-2013, y Miembro fundador de la Academia Mexicana de Energía.

Arturo Ramos Bueno

Licenciado en Ciencias Ambientales y Maestro en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. En 2013 se desempeñó como becario en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, dentro del Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua. Durante el año 2015 desarrolló una estancia de investigación en el Departamento de Geografía en la Universidad Estatal de Portland. Formó parte del Proyecto

60512 "Análisis socio-ecológico de las consecuencias de la implementación de programas de conservación forestal en el contexto peri-urbano y rural" del Conacyt. Actualmente es parte del proyecto "Trajectories of Social-Ecological Systems in Latin America Watersheds: Facing Complexity and Vulnerability in the Context of Climate" y se encuentra desarrollando estudios de doctorado en Geografía en la UNAM.

Lourdes Romero Navarrete

Doctora en Historia por la Universidad Nacional Autónoma de México (1999). Investigadora titular del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Ciudad de México (2000). Sus líneas de trabajo giran en torno a la historia de las instituciones relacionadas con los derechos de propiedad de tierra y agua, de manera particular sobre los cambios en la legislación y formas de gestión del recurso hídrico. Desarrolla actualmente el proyecto de investigación institucional e individual: La institucionalización del derecho a la participación e información sobre el agua en México ¿hacia la sostenibilidad del recurso? Publicación reciente: Romero Navarrete, Lourdes y Olvera Molina, Mónica. (2019). *Control del agua bajo el modelo de gestión por cuencas hidrológicas en México*. Iztapalapa.

Raymundo Sánchez Villavicencio

Ingeniero civil y docente de la Facultad de Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha desarrollado su actividad laboral en el campo de la ingeniería Ambiental y sanitaria. En el año 2015 se desempeña en una empresa de diseño, construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua residual, ISISDC. A mediados de 2016 ingresa a la Maestría en Ingeniería Ambiental en la UNAM a la vez que comienza su actividad docente. Actualmente sus labores en la UNAM incluyen la elaboración y acompañamiento de visitas técnicas con alumnos a nivel especieidad, así como la impartición de seminarios en diferentes planteles de la Escuela Nacional Preparatoria con el fin de presentar carreras pertenecientes a la facultad a alumnos de nivel medio superior.

Hugo Velasco Bedrán

Profesor Titular "C" en el Departamento de Ingeniería Bioquímica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, Zácatenco, Ciudad de México. Miembro de la séptima generación de Ingenieros Bioquímicos de México, se ha desempeñado en la industria de alimentos y de bioprocesos, previo al ejercicio de la docencia y la investigación (1974 a la fecha). Con un diplomado en Proyectos de Inversión (NAFINSA-UPIICSA-IPN, 1990) es Doctor en Ciencias en Ingeniería Química (UAM-I, 1999-2007). Ha publicado una decena de comunicaciones científicas y obtenido una patente (IMPI, 2010) y solicitado el registro de una segunda. Habiendo realizado estancias de investigación en Gran Bretaña, Dinamarca y España, fundó y dirige el Laboratorio de Ingeniería de Bioprocessos en la ENCB.

Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua

Se terminó de imprimir en

con un tiraje de ejemplares.

Impreso sobre papel bond cultural de 90 grs. y couché de 250 grs.

La composición tipográfica se realizó
con tipografía Myriad Pro 10/13.32 pts.