

H₂O

Gestión del agua



Alianza estratégica Estado-IP mexicana

Las "imprevisibles" inundaciones catastróficas en México. **Felipe de Alba Murrieta** | Túnel Semiprofundo Miramontes. **Guillermo Leal Báez** | Desbordamiento de la Presa de la Olla. **Jéssica Nava Pérez** | Sistemas de recirculación de agua. **Rigoberto Engel Ugalde** | La economía circular en las ciudades. **Oriana Romano** | Migraciones por inseguridad hídrica. **Helios**



SISTEMA DE AGUAS
DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Revista auxiliar de difusión del Sacmex dirigida a la población y profesionales interesados en el sector agua.



CONSTRUCCIONES
Fypasa

Planta de tratamiento de aguas residuales en Magdalena Contreras, Ciudad de México

La planta de tratamiento de la alcaldía Magdalena Contreras, originalmente planeada para construirse en la zona histórica de Chimalistac, fue diseñada con altas especificaciones técnicas para tratar un caudal constante de 50 litros por segundo de aguas residuales. La norma a satisfacer fue la NOM-003-SEMARNAT-1997 para reúso del agua en servicios al público con contacto directo.

El procesamiento del agua inicia con un pretratamiento que integra operaciones de cribado grueso, medio, fino, desarenación y tamizado micrométrico, con equipos de acero inoxidable encabinados de fábrica para control de ruido y olores.

El agua pretratada pasa directamente a tratamiento biológico por lodos activados para remover materia orgánica y sólidos suspendidos, equipado con un sistema de aeración con difusores de poro fino, alimentados con sopladores turbo de alta tecnología con motores síncronos de imán permanente.



Debido a la limitada disponibilidad de espacio, la planta de tratamiento fue construida en dos niveles; los reactores biológicos se ubican en el nivel inferior, y los sedimentadores secundarios, que separan la biomasa del agua tratada, en el superior. Están equipados con rastras de succión y disipadores de energía para elevar su eficiencia.

El agua tratada biológicamente pasa a un sistema de filtración terciaria con 4 filtros de arena cilíndricos automáticos de limpieza continua, fabricados en acero inoxidable y



encabinados de origen para operación continua a contracorriente, con objeto de eliminar precursores de parásitos y aumentar su transparencia.

Finalmente el agua es sometida a un proceso de desinfección con radiación ultravioleta por medio de un tren de lámparas de luz ultravioleta de baja presión y alta intensidad, que eliminan microorganismos patógenos. Con esta operación termina el proceso de tratamiento.

El agua tratada de la planta de Magdalena Contreras es aprovechada en riego de áreas



verdes de la zona, sobre la base de un diseño de alta tecnología que elimina ruidos y olores en la zona residencial circundante.

Director general
Rafael Bernardo
Carmona Paredes

**Gerente general
de Coordinación
Institucional de
Operación y Servicios**
Raúl Othón
San Martín Silva

**Directora general
de Apoyo Técnico
y Planeación**
Claudia Lucía
Hernández Martínez

**Directora general
de Servicios a Usuarios**
Dulce María
Cruz Ulloa

**Director general
de Administración**
José María
Castañeda Lozano

**Director general
de Agua Potable**
Sergio
Ramos Tapia

**Director general
de Drenaje**
Santiago
Maldonado Bravo

AVISO AL LECTOR

H₂O Gestión del agua, un instrumento informativo, de opinión y de debate respetuoso, fundamentado y sustantivo, está abierta a la participación de quienes deseen poner a consideración del Consejo Editorial sus puntos de vista. Puede hacernos llegar sus contribuciones a h2o@heliosmx.org

Contenido



4 TEMA DE PORTADA
Alianza estratégica Estado-
IP mexicana
Francisco José Chozas Rizo

12 AGRICULTURA
Desalación de suelos
para aumentar la producción
*Leonardo Pulido Madrigal
y Adán Jesús González Real*

18 CULTURA HÍDRICA
Humedales artificiales
*Mónica Lucía Rodríguez Estrada
y cols.*

24 CAMBIO CLIMÁTICO
Las "imprevisibles" inundaciones
catastróficas en México
*Felipe de Alba Murrieta
y Juana Martín Cerón*

30 ECOLOGÍA
Diagnóstico con base
en bioindicadores
Gabriela Vázquez Silva y cols.

36 OPERACIÓN
Túnel Semiprofundo Miramontes
*Guillermo Leal Báez y Tania Paola
Robles Montero*



42 DESARROLLO
Historia y actualidad del IMTA
*Alfonso Guillermo Banderas Tarabay
y Rebeca González Villela*

48 RIESGOS
Desbordamiento
de la Presa de la Olla
Jéssica Nava Pérez y cols.



56 GESTIÓN
Acuíferos transfronterizos
México-EUA
Rosario Sánchez Flores

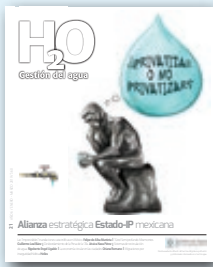
62 INVESTIGACIÓN
Sistemas de recirculación de agua
Rigoberto Engel Ugalde



66 SUSTENTABILIDAD
La economía circular
en las ciudades
Oriana Romano y Natalia Altman

72 EL AGUA EN EL MUNDO
Migraciones por inseguridad hídrica
Helios

76 ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL
78 BREVES
79 CALENDARIO
80 ARTE/CULTURA



Revista auxiliar de difusión del Sacmex dirigida a la población y profesionales interesados en el sector agua.

Enero-Marzo 2019

Portada: **Ilustración de Waldo**

Consejo Editorial

Ramón Aguirre Díaz
Luis Eduardo de Ávila Rueda
Rafael Bernardo Carmona Paredes
Fernando González Villarreal
César Herrera Toledo
Adalberto Noyola Robles
Adrián Pedrozo Acuña
César Ramos Valdés
Luis Robledo Cabello
Jorge Carlos Saavedra Shimidzu

Dirección Ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

Dirección Editorial

Alicia Martínez Bravo

Coordinación Editorial

José Manuel Salvador García

Coordinación de Contenidos

Teresa Martínez Bravo

Contenidos

Ángeles González Guerra

Diseño

Marco Antonio Cárdenas Méndez
Diego Meza Segura

Dirección Comercial

Daniel N. Moser da Silva

Comercialización

Laura Torres Cobos
Victoria García Frade Martínez

Dirección Operativa

Alicia Martínez Bravo

Administración y Distribución

Nancy Díaz Rivera

Realización

HELIOS COMUNICACIÓN
+52 (55) 29 76 12 22



HELIOS
COMUNICACIÓN

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la opinión del Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

Los textos publicados, no así los materiales gráficos, pueden reproducirse total o parcialmente siempre y cuando se cite la revista *H₂O Gestión del agua* como fuente. Para todo asunto relacionado con *H₂O Gestión del agua*, dirigirse a h2o@heliosmx.org.

H₂O Gestión del agua, publicación trimestral. Enero-marzo de 2019. Editor responsable Daniel N. Moser. Número de Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2013-072517282900-102. Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido: 16133. Domicilio de la publicación: Nezahualcóyotl 109, col. Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06080. D.F. Impresión y distribución: Helios Comunicación, S.A. de C.V., Av. Insurgentes Sur 4411, ed. 7 depto. 3, colonia Tlalcolitla, delegación Tlalpan, C.P. 14430, México, Ciudad de México.

H₂O Gestión del agua es una revista auxiliar de difusión del Sacmex dirigida a la población y profesionales interesados en el sector agua. Nezahualcóyotl 109, Col. Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06080. Ciudad de México. Costo de recuperación \$60, números atrasados \$65. Suscripción anual \$625.

Nueva etapa, mismo compromiso

H₂O Gestión del agua cumplió cinco años de aparición regular, y con su edición 21 inicia una nueva etapa. Con esta renovación mantiene su compromiso de ser un espacio para la divulgación de información y opinión buscando aportar al conocimiento y la actualización permanente de los profesionales de las más diversas áreas involucradas en el sector hídrico mexicano e internacional, con una estricta política que distingue con claridad el contenido editorial del comercial.

Con satisfacción podemos afirmar que durante los primeros cinco años hemos contado con el reconocimiento de los lectores, la principal razón de ser de una publicación. Gracias a la valiosa colaboración de los destacados integrantes de su Consejo Editorial, quienes han obsequiado su experiencia y conocimientos para recomendar temas y autores, así como para evaluar los contenidos a publicarse, *H₂O* ha podido consolidarse como una publicación de colección y consulta permanente. Hacemos también explícito nuestro agradecimiento a los patrocinadores que en cada edición han confiado en *H₂O* como un vehículo de promoción de sus productos y servicios.

Mediante sus versiones impresa y electrónica, nuestra revista ha llegado cada tres meses a más de 9 mil lectores. De manera directa y personalizada la han recibido profesionales –que a su vez la comparten– de la función pública, del empresariado y de la academia que participan o influyen en la toma de decisiones para el sector hídrico.

Comenzamos 2019 con entusiasmo, confiados en mantener nuestros valores y calidad para progresar y ofrecer en cada edición un mejor servicio.

En este número abordamos como tema principal el debate sobre la participación privada en el sector hídrico. En esta primera entrega nos da su punto de vista un empresario con amplia experiencia involucrado en el sector; iremos sumando la opinión de otros actores del ámbito público y de la academia, así como de todos quienes deseen hacer llegar sus puntos de vista, con información sustentada, para ser puestos a consideración de los consejeros editoriales.

Los editores



JUGAMOS
A FAVOR
DE MÉXICO



EFICIENCIA
SINERGIAS
INVERSIÓN
TRANSPARENCIA
PROFESIONALISMO



¿Privatizar o no privatizar? Existe un fuerte debate sobre la relación entre sector público e iniciativa privada en materia de construcción y servicio en infraestructura. La polémica se ha expresado en diversos ámbitos, especialmente en el vinculado con el agua, donde está en discusión una ley nacional que regulará, entre otras muchas acciones, la participación del sector privado.

Desde quienes plantean la imperiosa necesidad de la participación privada en el sector hídrico hasta quienes la consideran pernicioso, no son pocos los puntos intermedios.

Por la trascendencia del tema, *H₂O Gestión del agua* se da a la tarea de alimentar un debate abierto, respetuoso, basado en información verificable, entre los exponentes de los distintos puntos de vista. Daremos espacio a reconocidos representantes del sector público y privado, de la academia y de organizaciones que con sustento ofrezcan un punto de vista que enriquezca el imprescindible debate. Comenzamos con esta entrevista a uno de los empresarios con más larga trayectoria en el sector.

Alianza estratégica Estado- IP mexicana

Entrevista a
FRANCISCO JOSÉ CHOZAS RIZO,
director de Fypasa Construcciones,
S.A. de C.V.

Existen casos de muy buenas y muy malas prácticas en la relación sector público-sector privado. Quienes estamos en el ámbito del agua, en el desarrollo de infraestructura en general, sabemos muy bien que las malas y las buenas prácticas no son, como algunos creen, atribuibles exclusivamente a los mexicanos. Yo lo he vivido en persona y me consta; no necesito dar nombres de empresas o países, se conocen muy bien las experiencias en el mundo y en México.

El sector público no tiene fin de lucro, y por lo tanto se presume que las obras y los servicios resultarían más económicos para el usuario, pero tiene limitaciones burocráticas, presupuestales, y ha sufrido en las últimas tres décadas el desmantelamiento de los cuerpos de profesionales, especialmente ingenieros, que le permitan actuar con la eficiencia y eficacia que puede esperarse; por otro lado, la iniciativa privada sí tiene fin de lucro, y ello implicaría un costo mayor para el usuario, pero cuenta con la posibilidad de invertir y su nivel de limitaciones de recursos humanos y burocráticos es menor.

¿Dónde ubica usted el punto de equilibrio para que todos los involucrados –usuarios, sector público y sector privado– resulten beneficiados?

Es necesario que el sector público se fortalezca. Existió un programa que desgraciadamente no duró, llamado Mejoramiento Integral de la Gestión, que se planteó fortalecer la capacidad de gestión de los municipios. La principal razón de su fracaso fue la falta de profesionalización y de continuidad, según los casos, de los funcionarios en el sector agua. Cada tres años cambian a los directores de los

organismos operadores, que son reemplazados, en la mayoría de los casos, por personas que no están preparadas, y cuando con esfuerzo y dedicación se forman y adquieren los conocimientos adecuados, ya van de salida.

¿Es una situación generalizada, o hay excepciones?

Hay excepciones; lamentablemente son las menos y no se han tomado como ejemplo.

¿Cuál sería una solución pragmática, realista, para el problema del servicio de los organismos operadores?

Que existiera una carrera profesional; que se accediera a los cargos mediante un concurso por oposición, y no por ser el cuate del alcalde o del gobernador.

En un contexto internacional, el agua en México se paga muy barata; los usuarios dan por hecho que el agua está en la naturaleza, sin considerar que para que les llegue se requiere mucha y costosa infraestructura.

Paradójicamente, la gente de menores recursos es la que paga más cara el agua –una verdadera fortuna– mientras la recibe en pipas, o debe invertir un gran esfuerzo y tiempo para acarrearla de lugares apartados, pero una vez que se construye la infraestructura para que le llegue en cantidad, oportunidad y calidad a su domicilio, no la paga o paga un precio despreciable.

¿A la falta de profesionalismo en la gestión le suma la ausencia de una política pública de concienciación sobre el valor del servicio agua?

Definitivamente. Hay otro factor más: el agua sale de su fuente en condiciones ideales, y es contaminada en las tuberías que ya están muy rotas o en los tinacos que no reciben el mantenimiento mínimo indispensable; la infraestructura, en un alto porcentaje, no cumple con las condiciones de calidad mínimas necesarias, y existen casos en que aun cumpliéndolas no es utilizada.

¿Por ejemplo?

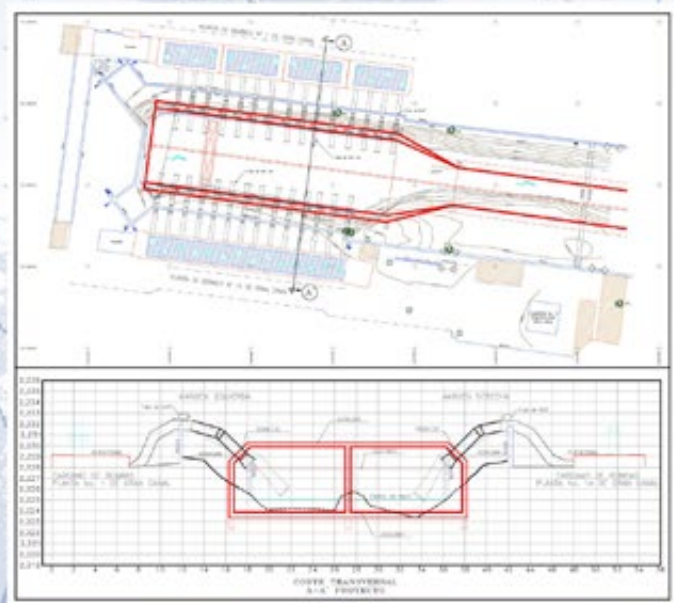
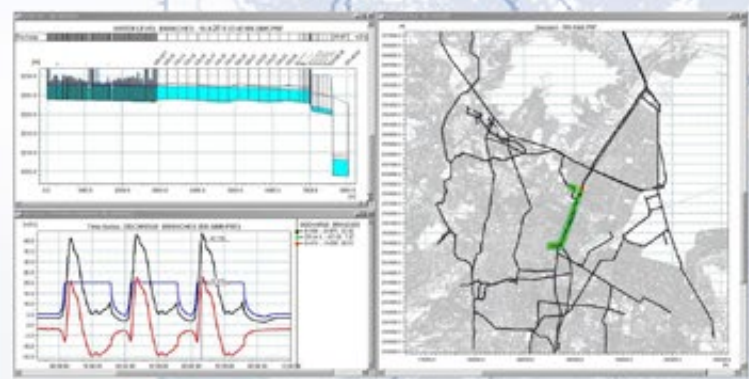
Las plantas potabilizadoras son el mejor ejemplo. A menudo las plantas de tratamiento de agua terminan convirtiéndose en un elefante blanco; se construyen, las



Inesproc

s.a. de c.v.

22 años apoyando el desarrollo de la infraestructura hidráulica en México



- consultoría técnica especializada en estudios y proyectos ejecutivos de macrosistemas de agua potable y drenaje
- especialistas en el análisis y solución integral de infraestructura hidráulica mediante la implementación de modelos de simulación matemática de última generación
- peritos profesionales certificados en ingeniería hidráulica, cicm
- académicos titulares de la academia de ingeniería, México

Paradójicamente, la gente de menores recursos es la que paga más cara el agua –una verdadera fortuna– mientras la recibe en pipas, o debe invertir un gran esfuerzo y tiempo para acarrearla de lugares apartados, pero una vez que se construye la infraestructura para que le llegue en cantidad, oportunidad y calidad a su domicilio, no la paga o paga un precio despreciable.

paga el gobierno, se entregan a la autoridad que debe operarla y después se abandonan.

¿Se puede deducir entonces que, más que de aspectos presupuestales, de disponibilidad de recursos, se trata de la necesidad de políticas públicas que garanticen la profesionalización en todos los niveles y áreas de gestión del agua?

En efecto. Yo he visto, por ejemplo, cómo fue mejorando, aun con las limitaciones presupuestales, la gestión del recurso por parte del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), debido a la continuidad –por más de diez años– de una gestión a cargo de profesionales. La nueva administración que acaba de asumir también está a cargo de reconocidos profesionales y es de esperarse que no se haga un borrón y cuenta nueva, aunque seguramente habrá aspectos que corregir y otros a los que dar continuidad. Por cierto, celebro que el nuevo gobierno de la Ciudad de México haya decidido invertir importantes recursos en el Sacmex.

Se ha presentado en el Senado una iniciativa de reforma a la Ley de Aguas Nacionales para revertir cualquier proceso encaminado a la privatización del servicio de agua potable. Existe una serie de prejuicios –en muchos casos fundamentados por hechos de al menos las últimas tres décadas– por la falta de transparencia, por corrupción... sin embargo, ¿no debería distinguirse entre privatizar y ceder el control de una obra o servicio esencial como es el del agua, por un lado, y el contratar al sector privado para que construya obras o dé servicios sin que el Estado pierda la potestad y el control de la gestión, por otro?

Lo considero un punto esencial del debate. Evidentemente, el sector privado tiene que ser controlado, porque si no, la corrupción se torna galopante entre quien ofrece y quien acepta. Debe darse un fortalecimiento de la entidad estatal a fin de que haya un control adecuado para garantizar que se cumpla un servicio esencial con la calidad apropiada a un precio justo y solidario para aquellos sectores sociales que merecen ser considerados por sus limitaciones económicas.

No se trata de inventar el hilo negro. Existen casos de muy buenas y muy malas prácticas en la relación sector público-sector privado. Quienes estamos en el ámbito del agua, en el desarrollo de infraestructura en general, sabemos muy bien que las malas y las buenas prácticas no son, como algunos creen, atribuibles exclusivamente a los mexicanos. Yo lo he vivido en persona y me consta; no necesito dar nombres de empresas o países, se conocen muy bien las experiencias en el mundo y en México.

La relación sector público-iniciativa privada se da de muy diferente manera en el mundo. En los países centrales del sistema capitalista, se observa que los estados privilegian a las empresas nacionales frente a las extranjeras, incluso dando infinidad de preferencias cuando sus empresas salen a competir en el exterior, lo cual es distinto de la apertura indiscriminada que se practica en muchos países periféricos; las empresas mexicanas lo padecen, al menos hasta ahora.

¿Considera que la política de protección de los países centrales a sus empresas nacionales debería asumirse por parte del flamante gobierno mexicano?

La apertura indiscriminada que menciona fue factor determinante en la desaparición de empresas mexicanas de ingeniería que gozaban de enorme capacidad y prestigio. Durante más de 30 años, ya no digamos privilegios; no se les dieron ni condiciones de equidad a las empresas mexicanas frente a las extranjeras. Respondiendo a su pregunta, sí, debería el Estado promover condiciones de fortalecimiento de empresas mexicanas, con la obvia contraprestación de calidad y cumplimiento estricto de leyes por parte de éstas; debe existir una alianza estratégica entre el Estado y la IP mexicana.



¿Considera que deben implementarse políticas públicas que distingan el trato dependiendo de si las empresas son grandes, medianas o chicas?

Sin duda este es un ejemplo que debería tomarse de los países centrales: generar condiciones de desarrollo de las empresas nacionales, porque son las que generan recursos que se reinvierten en el país y fuentes de trabajo permanente. Sin duda debe haber un compromiso de las empresas mexicanas de cumplir con condiciones justas de contraprestación y cumplimiento de las leyes.

Destaco la importancia de generar competencia y transparencia en la adjudicación de los contratos. Durante varios años se adjudicaron concesiones en condiciones muy deficientes, en lo cual influyeron evidentemente factores políticos y limitaciones de tiempo para la implementación de reformas sectoriales integrales.

¿Qué puede decir respecto a la distinción entre las empresas de distinto tamaño?

Debido en parte a las políticas de inversión orientadas a grandes proyectos, con fuertes inversiones, el asunto ha derivado en la concentración de unos cuantos actores con la capacidad necesaria para participar en los procesos de licitación. Esto ha conducido a la descapitalización de muchas empresas mexicanas que, desde la ingeniería de proyecto, han sido desplazadas del mercado, esto es, la ingeniería mexicana que por muchos años gozó de una reputación reconocida internacionalmente por los grandes acueductos que hoy operan en el país, las presas, sistemas

de riego y otras grandes obras ha perdido actualmente su posición de liderazgo.

Sin dejar de reconocer la importancia de los grandes proyectos que han llamado a la participación del sector privado, es también primordial reconocer que las necesidades del país van mucho más allá, y es aquí donde las empresas de ingeniería de menor tamaño pueden hallar un nicho de negocios que permita su fortalecimiento y en muchos casos su supervivencia. Para ello se requiere una política pública explícita, orientada al fortalecimiento de las empresas mexicanas de ingeniería mediante su participación en proyectos de asociación público-privada, estratificados de acuerdo con la magnitud de las inversiones requeridas y de las capacidades técnicas y financieras de las empresas participantes.

La apertura indiscriminada fue factor determinante en la desaparición de empresas mexicanas de ingeniería que gozaban de enorme capacidad y prestigio. Durante más de 30 años, ya no digamos privilegios; no se les dieron ni condiciones de equidad a las empresas mexicanas frente a las extranjeras. Debería el Estado promover condiciones de fortalecimiento de empresas mexicanas, con la obvia contraprestación de calidad y cumplimiento estricto de leyes por parte de éstas.

Se requiere una política pública explícita, orientada al fortalecimiento de las empresas mexicanas de ingeniería mediante su participación en proyectos de asociación público-privada, estratificados de acuerdo con la magnitud de las inversiones requeridas y de las capacidades técnicas y financieras de las empresas participantes.

¿Qué ejemplo mundial considera se debería seguir sin copiar, adaptándolo a las condiciones de México?

La República Popular China, que según las proyecciones más conservadoras será la primera economía del mundo en no muchos años, debe su acelerado crecimiento económico a que la ingeniería –junto con rubros como la educación y la salud pública– ocupa una posición central en la consecución de las metas de progreso que su gobierno se ha fijado.

Ahora, México no es China, obviamente; por ello debe considerarse que en nuestro país la participación de la iniciativa privada sea mayor que la que existe en China, de 30%, aproximadamente. Lo anterior debe lograrse con una activa y firme intervención del Estado mediante políticas públicas que hagan simple y eficaz el marco regulatorio, así como con la consolidación de instituciones públicas que fomenten la participación de la iniciativa privada mexicana, con transparencia, buscando sinergias con el sector público en beneficio de la sociedad.

¿En el caso de México, cuáles identifica como los principales desafíos que enfrentan las empresas?

El sector privado encara algunos riesgos, que llevan implícitas dificultades asociadas al marco legal vigente y a los procedimientos administrativos relacionados con los procesos de licitación. Sobre el tema de riesgos, considero necesario que en paralelo a la estructuración del proyecto se elabore una matriz de mitigación de riesgos, tanto para el sector público como para el privado, buscando un mejor balance o equilibrio de riesgos entre las dos partes; asimis-

mo, sostengo la necesidad de que en el esquema financiero se establezcan tarifas aplicables al usuario por recibir los servicios, con un justo costo, incluyendo mecanismos de subsidios necesarios, para desarrollar proyectos económicamente sustentables a largo plazo.

¿Qué recomienda como posible solución a las dificultades comentadas?

Se debe simplificar y rediseñar el marco legal para que la ingeniería en todas sus ramas y disciplinas cumpla plenamente su papel en la creación, ampliación y mantenimiento de la infraestructura física, en beneficio del desarrollo y el crecimiento económico, así como del bienestar de la población. En esta tarea los ingenieros podemos aportar nuestra experiencia resultante de muchos años; esta misma experiencia debería orientarse también a la definición y presentación de nuevos esquemas de participación del sector privado que busquen alentar con ingenio no sólo a la economía nacional, sino también a las economías regionales y locales. El país requiere grandes obras, pero también demanda dar solución a los problemas que enfrentan los organismos operadores de menor tamaño, o las decenas de miles de localidades urbanas que hoy no tienen acceso al agua segura o al saneamiento básico; de ahí la importancia de definir esquemas de participación privada que otorguen las economías de escala necesarias y los esquemas de repago que garanticen un adecuado equilibrio económico-financiero.

No se trata de privatizar la infraestructura; se trata de recurrir al sector privado, en especial nacional, para que haga su aporte en las condiciones que el sector público establezca.

La asociación público-privada debería entonces empezar con la definición conjunta de esquemas y procesos de participación privada que beneficien al país, y contar, entre otras, con una ingeniería local capaz y competitiva, condición que es estratégica para la soberanía nacional de cualquier país ◀

Entrevista de Daniel N. Moser

Soluciones en
Tratamiento de
Aguas

PTAR Tierra Negra, Tampico
1,500 lps.



Microfiltración



Ultrafiltración



Ósmosis Inversa

Ticsa integra procesos para obtener diferentes calidades de agua según los requerimientos del cliente, a partir de agua residual municipal.

TICSA SU SOLUCIÓN EN REÚSO DE AGUA.

Tecnología Intercontinental

+52 (55) 3098 5666

correo@ticsa.com.mx

www.ticsa.com.mx

Desalación de suelos para aumentar la producción

En los distritos de riego en México, la salinidad de los suelos es uno de los principales problemas que limitan la producción agrícola, y aumenta como consecuencia del calentamiento global. Ante la demanda de alimentos, para incrementar el rendimiento agrícola se hace necesario buscar alternativas tecnológicas basadas en el uso de energías renovables.

**LEONARDO PULIDO MADRIGAL**

Tecnólogo del Agua "B" titular, IMTA.

ADÁN JESÚS GONZÁLEZ REAL

Especialista en tecnologías de la información.

Los problemas de salinidad en las tierras de cultivo son tan antiguos como el origen de la agricultura. De acuerdo con Tanji y Wallender (2012), los registros históricos de los últimos 6,000 años revelan que numerosas sociedades basadas en la agricultura de riego han fracasado. Mesopotamia (actual Iraq), que una vez fue una tierra productiva, parece haber sufrido por ensalitramiento de suelos desde aproximadamente 2400-1700 a. C. Los anegamientos, filtraciones de los canales, sobrerriegos y sedimentación dieron como resultado un nivel freático superficial, que provocó una salinidad excesiva en los suelos. También la civilización sumeria decayó, luego de 1,000 a 1,500 años de una agricultura exitosa.

En este artículo se presenta un panorama de la salinidad de suelos en distritos de riego de México y se analizan las causas del ensalitramiento; por último, se dan a conocer resultados de una investigación sobre desalación de suelos con energía eólica en un distrito de riego.

Magnitud del problema en México

La agricultura de riego, que produce de 35 a 40% de fibra y alimentos totales en el mundo, se ve afectada por la salinidad del suelo en aproximadamente la mitad de los suelos irrigados (unas 250 millones de hectáreas), con más de 20 millones de hectáreas gravemente afectadas por este fenómeno en todo el mundo (Corwin *et al.*, 2012).

Con una superficie de 6.5 millones de hectáreas bajo riego, México ocupa el séptimo lugar mundial entre los países que cuentan con infraestructura para riego. De esta área, 3.3 millones de hectáreas corresponden a 86 distritos de riego (Conagua, 2016). La principal fuente de salinidad en los distritos de riego es el pobre manejo del agua, que incluye un exceso en su aplicación, contenidos altos de sales en el agua de riego e inadecuados o inexistentes sistemas de drenaje.

Debido a que los distritos de riego son las áreas agrícolas más productivas del país, la salinidad y el drenaje ineficiente son considerados problemas serios, ya que en 27% de la superficie existen afectaciones. Los mayores problemas se registran en la región noroeste, de 298,361 ha (62% del territorio nacional; véase tabla 1); es ahí donde se localiza el Distrito de Riego 038 Río Mayo, Sonora, donde los problemas de salinidad y drenaje abarcan entre 20 y 24% del área, por lo que es de los más afectados del país (De la Peña, 1993 y 2001; Pulido *et al.*, 2010).

Ensalitramiento de suelos y calentamiento global

Existe un problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radicular con una concentración tal que ocasiona pérdidas en la producción agrícola (Maas, 1990). En las zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación pluvial es menor que la evaporación, las sales se pueden acumular sobre la superficie del suelo cuando la profundidad del nivel freático superficial es menor de 1.5 m. La causa más común de la acumulación de

Tabla 1. Superficie afectada por salinidad y drenaje en los distritos de riego del noroeste de México

Distrito de riego	Superficie regada (ha)	Superficie ensalitrada		Superficie con mal drenaje	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
014 Río Colorado, Baja California	207,965	110,660	53.2	4,185	2.0
014 Río Colorado, Sonora	33,119	11,263	34.0	–	–
066 Santo Domingo, Baja California Sur	38,101	3,928	10.3	–	–
018 Colonias Yaquis, Sonora	23,684	5,092	21.5	5,135	21.7
037 Altar Pitiquito, Sonora	36,500	2,795	7.7	–	–
038 Río Mayo, Sonora	97,047	18,949	19.5	23,170	23.9
041 Río Yaqui, Sonora	220,000	20,734	9.4	29,120	13.2
051 Costa de Hermosillo, Sonora	66,296	8,700	13.1	–	–
084 Guaymas, Sonora	17,500	2,205	12.6	–	–
010 Culiacán, Sinaloa	273,370	34,535	12.6	54,250	19.8
063 Guasave, Sinaloa	100,125	8,180	8.2	13,295	13.3
074 Mocorito, Sinaloa	41,500	8,435	20.3	–	–
075 Río Fuerte, Sinaloa	231,441	54,720	23.6	70,450	30.4
076 Valle del Carrizo, Sinaloa	43,259	7,860	18.1	24,070	55.6
108 Elota-Pixtla, Sinaloa	9,500	237	2.5	122	1.3
043 Nayarit	43,312	68	0.2	3,475	8.0
Subtotal región noroeste	1,482,719	298,361	20.1	227,272	15.3
Total nacional	3,136,746	481,073	15.3	388,848	12.4
Región noroeste	La superficie ensalitrada representa 62% del total nacional				

Fuente: De la Peña, 1993 y 2001.

sales es la evapotranspiración, que aumenta la concentración de éstas a medida que profundiza la zona radicular (Corwin *et al.*, 2012) (véase figura 1).

El calentamiento del sistema climático es inequívoco; desde el decenio de 1950 muchos de los cambios observados no tienen precedentes en las últimas décadas, y a veces ni siquiera en los últimos milenios. En la atmósfera y los océanos las temperaturas han aumentado; las cantidades de nieve y de hielo han disminuido, y el nivel del mar se ha incrementado (IPCC, 2014). Los escenarios que indican el impacto del cambio climático en variables como temperatura y precipitación pluvial son

llamados “trayectorias de concentración representativas” (RCP, por sus siglas en inglés). El escenario RCP8.5 es el más extremo y supone un aumento de 8.5 W/m² para el año 2100, debido al aumento de gases de efecto de invernadero (IPCC, 2014). Según este escenario, se estima que para el periodo 2075-2099 en el sur del estado de Sonora la temperatura máxima en primavera-verano aumentará entre 5.0 y 5.4 °C, y la precipitación pluvial decaerá un 16.9% (Salinas *et al.*, 2015).

El clima es el principal factor que afecta la tolerancia de los cultivos a las sales. La mayor parte de los cultivos pueden tolerar altos niveles de estrés a la salinidad si el clima es frío y húmedo,



Figura 1. Suelo ensalitrado en el DR 038 Río Mayo, Sonora.

en comparación con uno cálido y seco. La salinidad afecta más el rendimiento agrícola cuando el contenido de humedad ambiental es bajo (Maas, 1990; Rhoades, 2012).

En el DR 038 Río Mayo, Sonora, los efectos del calentamiento global manifestados por medio del incremento en la temperatura, disminución de la precipitación pluvial, disminución en la disponibilidad de agua de riego y aumento en la concentración de sales en el agua de riego se tradujeron en incrementos en las superficies afectadas por sales. La temperatura empezó a elevarse a partir de 1992, y entre ese año y 2001 el acrecentamiento fue equivalente a 12.2%. También entre 1992 y 2001 la precipitación pluvial disminuyó a un valor medio de 333 mm anuales, con respecto al periodo 1968-1991; la reducción de 82 mm equivalió a 19.6% del total anual. En este distrito, con el calentamiento global los problemas de salinidad se incrementaron 24.1% en el periodo 1970-2001. En tal lapso el impacto del calentamiento global en la agricultura se estimó en una reducción de 15.2% de la producción agrícola (Pulido, 2016). Entre 2012 y 2014 en el DR 038 la temperatura media anual fue de 22.6 a 23.6 °C, que representa un aumento de 4.4%; la precipitación pluvial disminuyó en 38% y la evapotranspiración se elevó en 10.4%. En ese intervalo, el incremento de temperatura en un grado Celsius generó pérdidas de 1.5 Mg ha⁻¹ de trigo (23.4%) y 0.3 Mg ha⁻¹ de cártamo (15.3%). El aumento de superficie ensalitrada redujo en 19.1% la producción de trigo y en 10.6% la de cártamo. En 2013 la superficie ensalitrada creció 5% respecto a 2012, y en 2014 aumentó 1.6% (Pulido y González, 2017).

Desalación de suelos con energía eólica en un distrito de riego

En el periodo 2012-2014 se encontró que en el DR 038 las mayores superficies ensalitradas se presentaron cuando los niveles freáticos estaban más superficiales y las temperaturas más altas. En ese periodo se determinó que, si se aplicaban medidas como el bombeo para profundizar por debajo de 1.5 m los niveles freáticos en tierras bajas del distrito de riego, donde existen mayores problemas de salinidad, se resolvería gran parte del problema de ensalitramiento de los suelos, puesto que por cada 100 ha con problemas de niveles freáticos superficiales, se ensaltran 33 ha (Pulido y González, 2017).

En este sentido, para reducir el ensalitramiento en tierras localizadas por debajo de la cota 5 metros sobre el nivel medio del mar, se instaló una parcela experimental para drenar suelos y bombear el drenaje hacia la red de drenaje a cielo abierto, y de ésta al mar. Los trabajos se realizaron en una parcela localizada en el municipio de Huatabampo, Sonora, entre 2014 y 2017. La parcela cuenta con un sistema de drenaje parcelario subsuperficial, con tubería ranurada de PVC de polietileno de alta densidad y con filtro exterior instalada a 1.5 m de profundidad, y con una separación de líneas entre 30 y 50 m. El sistema está conectado a un cárcamo de bombeo de 38 m³ de capacidad.

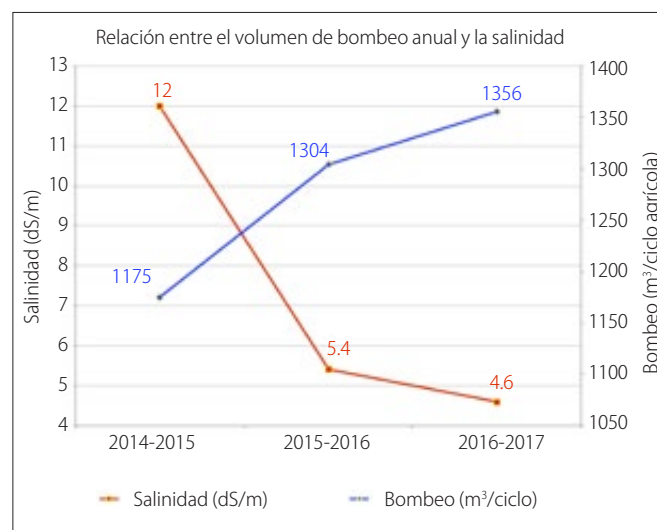


Figura 2. Disminución de la salinidad por efecto del bombeo del drenaje.

El bombeo anual que realizó el aerogenerador en el periodo 2015-2017 influyó en la reducción de niveles freáticos, que en promedio fueron de entre 0.83 m y 1.16 m. Los volúmenes de bombeo más altos registrados en 2015-2016 y 2016-2017 coincidieron con los niveles freáticos más profundos en los mismos años. Por lo tanto, el bombeo del agua de drenaje que es realizado por medio de un aerogenerador profundiza el nivel freático, con lo cual disminuye la salinidad del suelo hasta niveles que permiten un mejor desarrollo del cultivo de trigo.

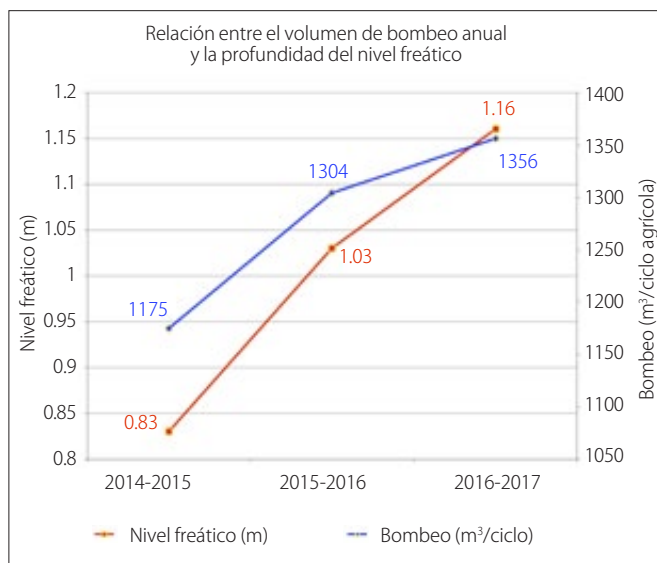


Figura 3. Abatimiento del nivel freático por efecto del bombeo del drenaje.

Por la cercanía que tiene con el mar el área experimental, corren vientos de diferente intensidad a lo largo del año, capaces de generar energía para impulsar el bombeo. Es así que se instaló un aerogenerador, que incluye una torre de 10 m de altura, una hélice de 18 aspas de 3 m de diámetro y un pistón de 5", y se le dotó de un desagüe de PVC de 900 m para conducir el agua contenida en el cárcamo hasta un dren a cielo abierto próximo a la parcela.

Para evaluar el funcionamiento agronómico e hidráulico del bombeo, se sembró trigo durante los ciclos agrícolas otoño-invierno 2014-2017, y desde octubre de 2014 hasta octubre de 2017 se monitorizó mensualmente la salinidad y la profundidad del nivel freático.

A partir de que se inició el bombeo en noviembre de 2014, se determinó que éste influyó en la reducción de la salinidad. Así, antes del bombeo el nivel de salinidad era de 12.0 dS/m^{-1} , y se redujo a 4.6 dS/m^{-1} en octubre de 2017 como consecuencia del bombeo del drenaje. El agua de bombeo del drenaje tiene concentraciones de sales muy altas, de 19.5 dS/m^{-1} , que contribuyen en gran medida al ensalitramiento. Por su parte, el volumen de bombeo tuvo un incremento de $1,175 \text{ m}^3/\text{año}$ en 2014-2015 a $1,356 \text{ m}^3/\text{año}$ en 2016-2017, que influyó en la disminución anual de la salinidad (véase figura 2).

El bombeo anual que realizó el aerogenerador en el periodo 2015-2017 influyó en la reducción de niveles freáticos, que en promedio fueron de entre 0.83 m y 1.16 m. Los volúmenes de bombeo más altos registrados en 2015-2016 y 2016-2017 coincidieron con los niveles freáticos más profundos en los mismos años (véase figura 3). Por lo tanto, el bombeo del agua de drenaje que es realizado por medio de un aerogenerador profundiza el nivel freático, con lo cual disminuye la salinidad del suelo hasta niveles que permiten un mejor desarrollo del cultivo de trigo.

En tres años, con la desalación del suelo se lograron incrementos de 60% en los rendimientos de trigo (véase figura 4). Con el bombeo se lograron decrementos de 56% en los niveles de salinidad que permiten producir cultivos como el trigo con rendimientos superiores a la media del distrito de riego (véase figura 5). El bombeo del drenaje con energía eólica se desarrolla sin generar gases de efecto invernadero, con lo que se contribuye a reducir el calentamiento global.

Conclusiones

El distrito de riego 038 Río Mayo, Sonora, es uno de los que tienen mayores problemas de salinidad en el país, ya que se

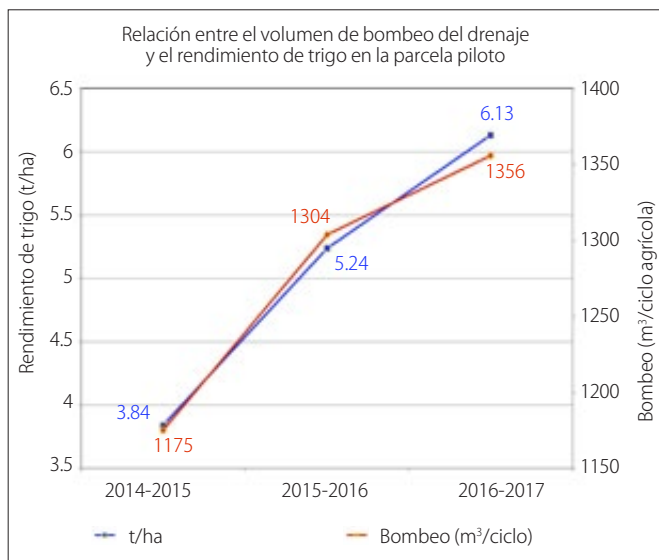


Figura 4. Incremento del rendimiento de trigo por efecto del bombeo del drenaje.



Figura 5. Trigo en etapa de cosecha en la parcela experimental. Ciclo agrícola 2016-2017.

localiza en una región semiárida, con temperaturas y evaporación altas y donde las precipitaciones pluviales son menores que la evaporación.

Por efecto del calentamiento global en este distrito de riego, se están incrementando la temperatura y la evapotranspiración, y se está registrando una reducción en las precipitaciones pluviales. Estas variables, sumadas a las bajas eficiencias de operación y conservación del distrito, así como a la falta de sistemas de drenaje de apoyo y parcelario, están propiciando un incre-

mento de las superficies ensalitradas. Asimismo, los impactos de las variables climáticas y agronómicas están produciendo disminuciones en los rendimientos agrícolas. Esta problemática demanda la búsqueda de alternativas para desalar suelos e incrementar el rendimiento agrícola, apoyadas en el uso de energías renovables. De este modo se contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

Con el bombeo del drenaje subsuperficial impulsado por energía eólica, se logró la disminución de la salinidad del suelo hasta un nivel que permitió incrementar el rendimiento de trigo. Dicho rendimiento incluso superó el promedio del distrito de riego en el ciclo agrícola 2016-2017. Por lo tanto, el bombeo del drenaje impulsado por energía eólica es una medida de adaptación al calentamiento global, aplicable en tierras bajas ensalitradas de las planicies costeras localizadas por debajo de la cota 5 metros sobre el nivel medio del mar en distritos de riego del noroeste del país ◀

Referencias

Comisión Nacional del Agua, Conagua (2016). Estadísticas del agua en México 2016. www.conagua.gob.mx

Corwin, D. L., S. M. Lesch y D. B. Lobell (2012). Laboratory and field measurements. En: W. W. Wallender y K. K. Tanji (Eds.). *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 71. Agricultural Salinity Assessment and Management*: 295-341. Reston: American Society of Civil Engineers.

De la Peña, I. (1993). Problemas de salinidad y drenaje en México. Documento de circulación interna. Subgerencia de Riego y Drenaje, Gerencia Regional en el Noroeste, Conagua. Ciudad Obregón.

De la Peña, I. (2001). Problemática de la salinidad y el drenaje y su control en los distritos de riego de la región noroeste. Subgerencia de Riego y Drenaje, Gerencia Regional en el Noroeste, Conagua. Ciudad Obregón.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Ginebra.

Maas, E. V. (1990). Crop salt tolerance: Agricultural salinity assessment and management. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 71*. American Society of Civil Engineers.

Pulido, M. L. (2016). Cambio climático, ensalitramiento de suelos y producción agrícola en áreas de riego. *Terra Latinoamericana* 34(2): 207-218.

Pulido, M. L., J. González M., C. L. Wiegand, J. Infante R. y J. M. Delgado (2010). Monitoreo de la salinidad mediante sensores remotos. *Terra Latinoamericana* 28(1).

Pulido, M. L., y A. J. González Real (2017). Calentamiento global, salinidad, drenaje y producción agrícola en distritos de riego. III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2017. Puebla.

Rhoades, J. D. (2012). Diagnosis of salinity problems and selection of control practices: An overview. En: W. W. Wallender y K. K. Tanji (Eds.). *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 71. Agricultural Salinity Assessment and Management*: 27-55. Reston: American Society of Civil Engineers.

Salinas P., J. A., G. Colorado Ruiz y M. E. Maya Magaña (2015). Escenarios de cambio climático para México. En: *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Tanji, K. K., y W. W. Wallender (2012). Nature and extent of agricultural salinity and sodicity. En: W. W. Wallender y K. K. Tanji (Eds.). *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 71. Agricultural Salinity Assessment and Management*: 1-25. Reston: American Society of Civil Engineers.



Humedales artificiales

Tratamiento y reúso de agua en escuelas de nivel básico



MÓNICA LUCÍA RODRÍGUEZ ESTRADA

Especialista en proyectos de sustentabilidad y humedales artificiales.

Coautores: **VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO, ANGÉLICA DORANTES VERA, ALFREDO GONZÁLEZ MEDINA y ERNESTO CARLOS REYES ALVARADO.**

El uso indiscriminado del agua y su contaminación, la falta de tratamiento y el vertido de caudales residuales en ríos, lagos y mares son problemas de la vida cotidiana. Fortalecer la conciencia sobre estos temas y las alternativas de solución en el nivel de educación básica representa una oportunidad de cambio real para el cuidado del recurso.

La Ciudad de México genera aproximadamente 23 m³/s de aguas residuales, de las cuales se trata únicamente 41.2% (Conagua, 2016). Existen zonas con fuertes carencias de agua de primer uso, así como de sistemas de colecta y tratamiento de las aguas residuales. Esta realidad obliga a buscar y ejecutar alternativas de solución que permitan, por un lado, hacer un uso más eficiente del recurso, y por otro, prevenir focos de infección por la inadecuada eliminación de las aguas residuales. La problemática es amplia y su solución

ha de construirse parcialmente, ya que no hay un método o tecnología única.

En la capital del país existen 2,019 escuelas públicas de educación primaria, que atienden a 687,533 alumnos (DGPPEE, 2018). Muchas de ellas carecen del servicio regular de agua potable, así como de drenaje, especialmente las que se ubican en la alcaldía Tláhuac.

Se seleccionó la escuela primaria General Luis Peniche Vallado, localizada en Zapotitla, Tláhuac, para la instalación de sistemas de humedales artificiales con fines de educación ambiental, tratamiento y reúso de agua en escuelas de nivel básico. El plantel atiende a una población de 1,190 alumnos y tiene una plantilla de 56 personas entre profesores y trabajadores.

El tipo de sistema instalado depura en promedio 400 litros diarios mediante un arreglo basado en humedales artificiales con plantas vasculares terrestres y acuáticas, con un sistema preliminar de sedimentación y homogeneización del agua residual y posterior desinfección con cloro. La propuesta constituye una innovación tecnológica que conjunta los esfuerzos de una empresa privada y el apoyo económico de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México.

La investigación se realizó con un equipo multidisciplinario de casi 30 personas, incluyendo académicos, estudiantes de posgrado y licenciatura y colaboradores con diferentes espe-

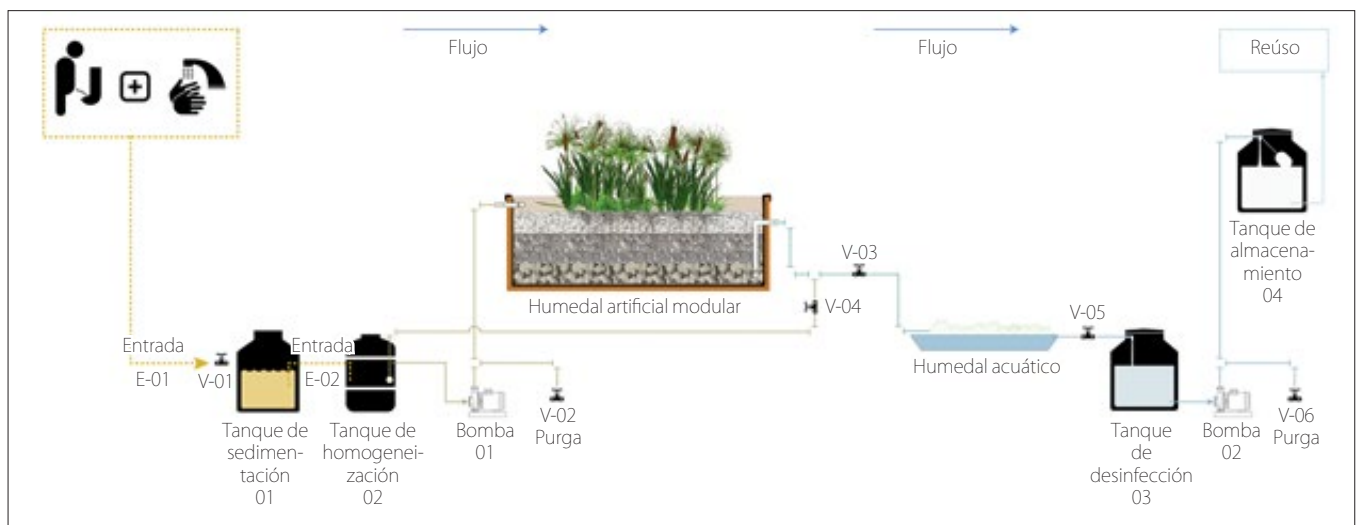


Figura 1. Diseño del sistema de tratamiento mediante un humedal artificial modular.

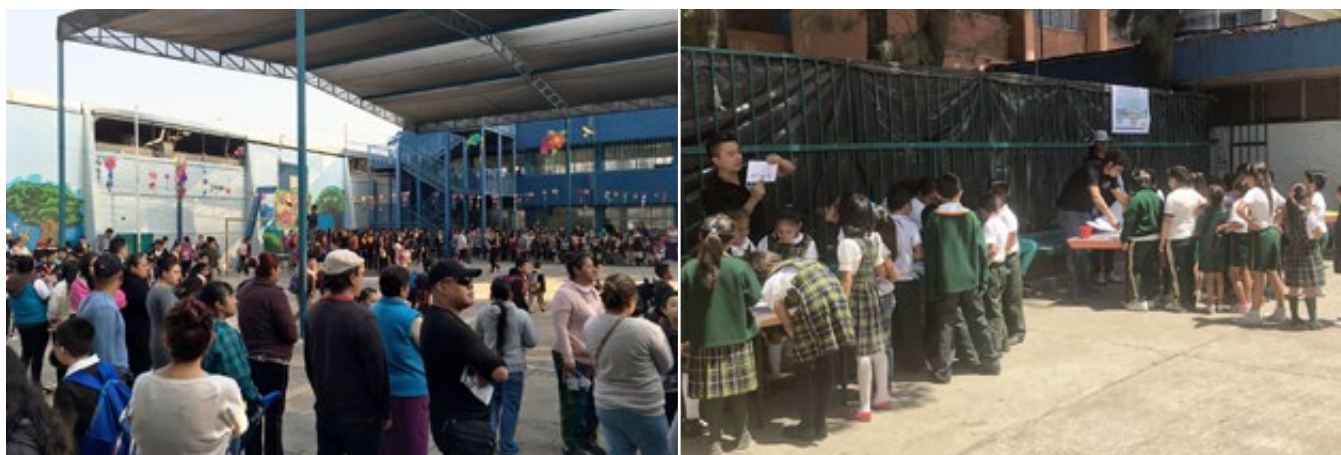


Figura 2. Junta con padres de familia y actividades durante los talleres.

cialidades, como ingeniería civil, topografía, biología, química, arquitectura y antropología. La alternativa de solución aplicada tiene un doble propósito: 1) educación ambiental para alumnos de nivel básico, donde destacan aspectos de generación, colecta, tratamiento y reúso del agua, y 2) tratamiento de las aguas amarillas y grises generadas en el plantel escolar, para la obtención de agua tratada con calidad apta para reúso en sanitarios y riego de áreas verdes.

El sistema propuesto se basa en humedales artificiales (HA); al interactuar con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, el agua residual es tratada mediante la combinación de procesos físico-químicos y biológicos.

Los HA son sistemas de tratamiento basados en los humedales naturales, con la característica de que están confinados mediante algún tipo de impermeabilización y en ellos se controlan variables como el flujo de agua, tamaño de partícula, sistema vegetal, concentración y tipo de agua residual; esto da lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración,

adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxidación y toma de nutrientes en la vegetación (Paredes-Cuervo, 2018). Estos sistemas requieren bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, con la ventaja adicional de que no necesitan personal altamente capacitado, como sucede con las plantas de tratamiento. Debido a los procesos naturales que intervienen, son pocos los requerimientos de energía proveniente de combustibles fósiles y de compuestos químicos, que normalmente son necesarios para alcanzar los objetivos de calidad de agua (Kadlec y Wallace, 2009).

Específicamente para este proyecto, se construyó un humedal artificial modular (HAM); el diseño modular permite, mediante tres piezas diferentes de conglomerado de madera, optimar el área útil para maximizar el volumen de tratamiento y mantener un armado sencillo de acuerdo con las necesidades de cada caso, que fácilmente puede ser escalado y mejorar el paisaje. El diseño hexagonal, que emula un panel de abejas, permite ocupar de manera eficiente el espacio en módulos que se engrapan unos a otros para formar una red compacta adaptable a diferentes entornos.

Selección de la escuela

El plantel fue elegido a través de un análisis con el apoyo de un sistema de información geográfica y *big data*, cuyos criterios fueron: vulnerabilidad social (marginación, índice de desarrollo humano o IDH, y rezago social), tipología de edificación y servicios básicos (cobertura de servicios en el ámbito de la vivienda: luz eléctrica, agua y drenaje), al igual que aspectos socioeconómicos, urbano-territoriales y técnicos, como espacio disponible, topografía e iluminación. El total de la comunidad escolar entre alumnos, profesores y trabajadores es de 1,246 personas.

La estrategia de participación social tiene como objetivos despertar el interés de la comunidad escolar en el tema ambiental, en especial en el agua; informar sobre el proyecto y el funcionamiento del humedal artificial modular, generar en los alumnos un sentido de apropiación y respeto del sistema instaurado y alcanzar el éxito del proyecto, es decir, su correcto ejercicio y mantenimiento.

Estrategia de participación y educación ambiental

La estrategia de participación social tiene como objetivos despertar el interés de la comunidad escolar en el tema ambiental, en especial en el agua; informar sobre el proyecto y el funcionamiento del HAM, generar en los alumnos un sentido de apropiación y respeto del sistema instaurado y alcanzar el éxito del proyecto, es decir, su correcto ejercicio y mantenimiento. Dicha estrategia consta de cinco fases.

Planeación

Una vez que se obtuvieron los permisos respectivos de las autoridades escolares federal y estatal, se realizó un acercamiento a los directivos y profesores de la escuela para presentarles el proyecto y la estrategia, con la finalidad de escuchar sugerencias, establecer acuerdos y plantear compromisos. A los padres de familia se les explicó en qué consistía el proyecto, su objetivo, importancia y beneficios para la escuela y para los alumnos; también se entregó un folleto informativo (véase figura 2).

Sensibilización

Se hizo reflexionar al público sobre la importancia del medio ambiente y del recurso agua, abundando en el contexto inmediato y la vida cotidiana para despertar su interés en el cuidado ambiental desde un ámbito urbano.

En el taller “¿Qué es el agua?”, las actividades consistieron en la elaboración de dibujos referentes a este recurso, así como

Los beneficios ambientales del sistema de humedal artificial son la disminución del consumo de agua potable que antes se utilizaba para los sanitarios y riego; bajo consumo de energía en la operación y mantenimiento; beneficios económicos para el gobierno por el pago de pipas y en el recibo de agua en zonas con escasez; mejora del paisaje; construcción con materiales de fácil acceso. Por otra parte, no requiere mano de obra especializada, y el número de módulos obedece al área disponible y al volumen de agua a tratar.

en contestar un cuestionario acerca de los usos del agua y las acciones que realizan para cuidarla.

Apropiación

En esta etapa se brindó información específica del proyecto con objeto de que la comunidad escolar lo cuide y respete. Esto ampliará la expectativa de vida útil de la obra.

En el segundo taller, “¿Qué son los humedales artificiales?”, se impartió una plática sobre humedales naturales y artificiales y sus componentes, y cómo funciona el HAM instalado en la escuela. El ejercicio consistió en hacer en equipo un dibujo de lo aprendido (véase figura 3).

Mantenimiento

La finalidad de esta fase es ahondar en el mantenimiento del HAM y su continuidad. Es importante que tanto los profesores como los trabajadores comprendan las ventajas del buen uso



Figura 3. Dibujos realizados por los alumnos durante el taller “¿Qué son los humedales artificiales?”

y aprovechamiento de la tecnología implementada y las consecuencias de malas prácticas u omisiones en su cuidado. Se pretende que así se comprometan y colaboren para el buen funcionamiento del HAM.

En esta etapa se da una plática de capacitación y se entrega un manual de operación y mantenimiento del sistema con las recomendaciones para corregir eventuales fallas.

Conclusiones

Se presentan las conclusiones de la estrategia de participación social al personal directivo de la escuela y profesores, lo cual permite identificar la evolución en la percepción y actitud de los alumnos hacia el tema de la importancia del agua, su involucramiento en el proyecto y su compromiso con él. Se espera que los estudiantes compartan la información y conocimientos adquiridos con su familia y con su comunidad, que promuevan el cuidado del agua y puedan comunicar en qué consiste un sistema de tratamiento de agua por medio de HA.

Tratamiento y reúso de agua por medio de HA

El sistema fue diseñado para tratar una mezcla proveniente de los baños del turno matutino, con aguas amarillas (orina de los mingitorios de baños de niños) y aguas grises (lavabos y limpieza). Esta mezcla ingresa a un sedimentador y pasa a un tanque

de homogeneización, el cual dirige el agua (ya sin sólidos) a un sistema de humedales artificiales. El primero es el HAM de flujo subsuperficial (filtro de grava a base de rocas calizas y de riolita de diferente diámetro de partícula) más plantas vasculares (*Phragmites australis*, *Arundo donax*, *Cyperus haspan* y *Equisetum arvense*) y microorganismos silvestres (bacterias, protozoos y micrometazoos). El HAM está compuesto de seis módulos, cada uno con medio de soporte o filtro de grava. Los primeros dos módulos son de piedra caliza, para mantener un pH alcalino y favorecer la precipitación de fosfatos; el resto están empacados con riolita. Después del HAM, el agua entra en un humedal de flujo superficial; las plantas acuáticas que se utilizan son *Lemna gibba*, *Ceratophyllum demersum*, *Sagittaria macrophylla* e *Hydrocotyle ranunculoides*, y los microorganismos, bacterias, protozoos y micrometazoos.

Posteriormente, el agua es enviada a un tanque de recepción donde ocurre el proceso de desinfección convencional con cloro (efecto residual) y es bombeada a un tanque de almacenamiento. El agua que se obtiene con este sistema tiene calidad apta para reúso en servicios al público (NOM-003-SEMARNAT-1997), y se surte a los WC de los baños del turno vespertino (véanse figuras 1 y 4). El sistema fue adaptado al espacio disponible, e incorporado al paisaje; se plantó vegetación que mejora sustancialmente la imagen de la jardinería escolar.



Figura 4. Construcción, instalación y arranque del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Figura 5. Humedal acuático y tanque de recepción.

El volumen inicial de tratamiento implica un ahorro diario de 400 litros por día, el cual podrá incrementarse en 30% más al cabo de un año. El agua recolectada alcanza hasta para 66 descargas al día en el turno vespertino y el riego de áreas verdes en época de estiaje. Conforme se estabilice el sistema, el volumen tratado podrá incrementarse y, de ser necesario, podrían conectarse los mingitorios y lavamanos del turno vespertino.

Los beneficios ambientales del sistema son la disminución del consumo de agua potable que antes se utilizaba para los sanitarios y riego; bajo consumo de energía en la operación y mantenimiento; beneficios económicos para el gobierno por el pago de pipas y en el recibo de agua en zonas con escasez; mejora del paisaje; construcción con materiales de fácil acceso. Por otra parte, no requiere mano de obra especializada (Ramprasad *et al.* 2017), y el número de módulos obedece al área disponible y al volumen de agua a tratar.

El HAM es desplantado por encima del nivel de terreno natural, lo cual implica ahorro en mano de obra y conciencia social; es útil para aguas residuales urbanas después de un pretratamiento; puede ser usado en centros deportivos, camellones, oficinas de gobierno, escuelas y zonas agrícolas.

Conclusiones

Se expuso un proyecto que conjunta esfuerzos y vincula a la iniciativa privada con los sectores público, educativo y ambiental, para contribuir a la solución de un problema presente en la Ciudad de México en una zona socialmente vulnerable.

La estrategia ha sido positiva y ha permitido que la instalación del sistema se dé en un ambiente de colaboración y educación ambiental; la comunidad escolar ha mostrado interés y participado en todas las actividades diseñadas, y ha habido gran aceptación con respecto a la construcción del sistema.

En los talleres se identificó que los alumnos tienen conciencia inculcada en casa sobre el uso racional del agua, y desde temprana edad están aprendiendo que en su escuela también es posible aprovecharla mediante su tratamiento para otros usos dentro del plantel. Se espera que la comunidad escolar sustente el HAM en el futuro y dé continuidad a la operación del sistema.

Se buscará implementar más sistemas de este tipo en otras escuelas y lugares, en conjunto con el gobierno y organizaciones de la sociedad civil, y así aportar a la sustentabilidad hídrica de la Ciudad de México ◀

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (Convenio SECITI/082/2017).
A las autoridades de la Secretaría de Educación Pública (federal y estatal) y personal docente de la primaria General Luis Peniche Vallado.
A Luciano Hernández Gómez del laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo técnico.
A Ulises Rojas Zamora, del Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, por los análisis de calidad del agua.
A Imelda Morales Ferrero por la elaboración de esquemas y figuras.
A los académicos, estudiantes de posdoctorado, doctorado, maestría y licenciatura; arquitectos, antropólogos, ingenieros y trabajadores que participaron en el proyecto.

Referencias

Comisión Nacional del Agua, Conagua (2016). Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento, edición 2016. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
Dirección General de Planeación, Programación y Estadística Educativa, DGPPEE (2018). Principales cifras del Sistema Educativo Nacional 2016–2017. Secretaría de Educación Pública. Disponible en: https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica_e_indicadores/principales_cifras/principales_cifras_2016_2017_bolsillo.pdf
Kadlec, R. H., y S. Wallace (2009). *Treatment wetlands*. 2a edición. Boca Ratón: CRC Press.
Paredes-Cuervo, Diego (2018). Aspectos claves de diseño. Curso de diseño, operación y mantenimiento de humedales construidos. Conferencia Panamericana de sistemas de humedales. Lima. 15-17 de mayo.
Ramprasad, C., C. S. Smith, F. A. Memon y L. Philip (2017). Removal of chemical and microbial contaminants from grey water using a novel constructed wetland: GROW. *Ecological Engineering* 106: 55–65.



Las “imprevisibles” inundaciones catastróficas en México

**FELIPE DE ALBA MURRIETA**

Investigador del Centro de Estudios Sociales
y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados.

**JUANA MARTÍN CERÓN**

Licenciada en Estudios socioterritoriales.

La tendencia con la que se han presentado los desastres por inundación muestra que, en promedio, en los últimos 15 años nueve de cada 10 desastres en México fueron a causa de fenómenos hidrometeorológicos.

El tema de las inundaciones, por su recurrencia, su impacto y sus consecuencias, requiere un análisis sistemático que pasa por la consideración de estructurar en la urgencia, trabajar a marchas forzadas y hacer frente a lo imprevisible, puesto que, como podrá verse a lo largo de este texto, cada año los fenómenos hidrometeorológicos –específicamente las inundaciones– alcanzan proporciones inusitadamente mayores.

Se han realizado numerosos trabajos sobre el tema. Véase por ejemplo De Alba (2016 y 2017). Aquí se presenta una “cronología de los desastres” en México, teniendo como referencia la serie “Impactos socioeconómicos de los desastres en México” elaborada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) (véase tabla 1).

Los fenómenos hidrometeorológicos abarcan lluvias, inundaciones, ciclones tropicales, granizadas, tormentas, huracanes, heladas, altas y bajas temperaturas y sequías. En particular son interesantes aquí los impactos socioeconómicos de las lluvias e inundaciones, específicamente en el periodo que va de 2000 a 2016 (véase tabla 2).

La interrogante que se intenta despejar es: ¿hasta qué punto la definición de riesgo por los desastres naturales considera otras variables sociales, culturales, económicas e incluso políticas, y no sólo los aspectos geofísicos?

El impacto progresivo de los fenómenos naturales es actualmente considerado un indicador de seguridad nacional que, por lo tanto, requiere políticas públicas cada vez más específicas, con una perspectiva integral. Esta es una de las grandes tareas que tendrá la LXIV Legislatura y en general el nuevo gobierno federal y los gobiernos locales. La construcción de

► Cambio climático

Las "imprevisibles" inundaciones catastróficas en México

Tabla 1. Efectos económicos de los fenómenos hidrometeorológicos 2000-2016

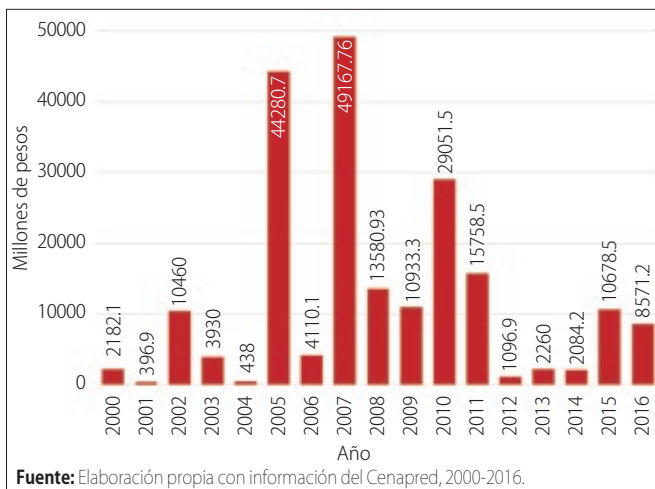
Año	Decesos	Población afectada ¹ (personas)	Viviendas dañadas	Escuelas	Hospitales	Área de cultivo o pastizales dañados (ha)	Caminos afectados (km)	Municipios declarados en desastre	Total de daños (millones de pesos)
2000	100	SD	924	SD	SD	SD	SD	SD	2,019.6
2001	163	154,755	33,859	293	0	123,691.0	47,306.0	SD	2,416.8
2002	120	5,849,781	139,296	3,467	SD	514,334.0	2,742.0	21*	10,544.0
2003	138	614,073	83,463	963	SD	199,998.0	3,616.7	SD	3,637.5
2004	104	132,293	20,013	87	SD	13,829.0	650.0	19*	714.7
2005	203	818,397	127,371	2,605	SD	1,091,881.0	21,324.0	52*	45,096.0
2006	220	537,881	53,500	395	SD	115,185.5	8,635.9	115	4,373.3
2007	187	2,997,258	225,835	5,463	529	723,899.7	18,474.4	634	49,417.5
2008	148	1,509,077	60,400	663	146	559,875.1	1,811.0	318	13,890.1
2009	100	554,368	48,473	872	89	420,292.1	1,028.3	96	14,041.8
2010	199	1,926,646	223,438	4,075	387	789,800.0	5,657.0	739	82,540.0
2011	164	1,717,533	49,410	3,882	90	1,540,861.6	19,359.5	597	39,543.8
2012	140	842,744	28,433	491	13	143,453.9	886.0	421	15,265.9
2013	300	3,419,628	60,499	2,328	108	567,026.8	1,482	517	56,479.5
2014	118	1,302,398	26,810	964	15	22,538.0	SD	246	27,962.3
2015	107	2,552,755	13,384	764	86	42,511.3	SD	1,086	17,110.4
2016	135	5,264,233	23,155	108	2	7,477.8	SD	1,185	11,947.8

1 Se consideran los heridos, evacuados, damnificados y desaparecidos.

SD: sin datos.

* No se tiene un registro claro.

Fuente: Elaboración propia con información del Cenapred, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia con información del Cenapred, 2000-2016.

Figura 1. Monto de daños y pérdidas por lluvias e inundaciones en el periodo 2000-2016.

indicadores sobre los desastres naturales en una dimensión integral, con una perspectiva multidisciplinaria, es uno de los desafíos de los próximos años.

De acuerdo con información recabada por el Cenapred, las lluvias e inundaciones son los fenómenos que se presentan con mayor frecuencia en la República mexicana. Las inundaciones suceden cuando el suelo y la vegetación (o de forma general el terreno) no pueden absorber toda el agua que llega al lugar y ésta escurre sobre el terreno de manera lenta.

El año 2010 fue en el que se registró mayor impacto socio-económico por fenómenos hidrometeorológicos en la historia del país. Entre los tipos de infraestructura que mayor vulnerabilidad muestran ante este tipo de fenómenos sobresale la infraestructura carretera, en particular los caminos rurales y alimentadores, que presentan anualmente la mayor proporción de daños.

Tabla 2. Efectos de las lluvias e inundaciones 2000-2016

Año	Decesos	Población afectada ¹ (personas)	Viviendas dañadas	Escuelas	Hospitales	Área de cultivo o pastizales dañados (ha)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)
2000	9	SD	924	SD	SD	SD	SD	2,182.1
2001	95	126,954	14,102	18	SD	10,000	800	396.9
2002	18	5,777,849	127,163	3,464	SD	503,257	2,742	10,460
2003	35	322,977	30,498	881	SD	596,109	3,617	3,930
2004	77	125,891	19,624	86	SD	3,829	650	438
2005*	149	645,231	126,375	2,522	SD	422,610.5	21,323.9	44,280.7
2006*	88	521,704	53,178	395	SD	84,713.0	8,635.9	4,110.1
2007*	53	2,906,940	224,035	5,439	529	591,220.35	18,474.44	49,167.76
2008*	59	778,277	57,625	661	146	455,791.60	1,811.00	13,580.93
2009*	42	372,518	46,844	869	89	35,751.50	1,028.30	10,933.30
2010	100	623,133	98,193	2,177	145	185,010	1,527	29,051.5
2011	85	658,801	29,753	3,777	61	354,535	8,965	15,758.50
2012	32	236,483	9,428	10	1	14,861	SD	1,096.90
2013	37	681,448	24,751	75	12	13,459.0	0	2,260.0
2014	56	359,068	9,616	18	0	4,926.5	SD	2,084.2
2015	16	625,175	7,257	353	35	14,545.0	SD	10,678.5
2016	70	2,869,802	23,090	106	2	7,477.8	SD	8,571.2

¹ Se consideran los heridos, evacuados, damnificados y desaparecidos.
SD: sin datos.

* Fueron incluidos los ciclones tropicales.

Fuente: Elaboración propia con información del Cenapred, 2000-2016.

Resultan notables los elevados costos de los desastres en el periodo que va de 2000 a 2016. Destacan los años en los cuales ocurrieron eventos de magnitudes considerables: en 2005 el huracán *Wilma*, en 2007 las inundaciones de Tabasco, en 2010 los huracanes *Alex*, *Karly Matthew*, y en 2013 *Ingridy Manuel*.

El monto de daños y pérdidas se había mantenido por debajo de 2,300 millones de pesos de 2012 a 2014. Sin embargo, en 2015 en Veracruz hubo un evento de lluvias y otro de inundaciones cuyos costos rebasaron los 10,000 millones de pesos. En 2016, los daños y pérdidas bajaron de este umbral, ya que se estimaron en 8,571 millones de pesos (véase figura 1).

En 2015 se pudo observar una importante disminución del número de defunciones asociadas a las lluvias e inundaciones, con el saldo más bajo de los últimos años.

En 2016 en cambio hubo un incremento importante en esa cifra, principalmente por los efectos de los deslizamientos, cuyo



► Cambio climático

Las "imprevisibles" inundaciones catastróficas en México

El impacto progresivo de los fenómenos naturales es actualmente considerado un indicador de seguridad nacional que, por lo tanto, requiere políticas públicas cada vez más específicas, con una perspectiva integral. Esta es una de las grandes tareas que tendrá la LXIV Legislatura y en general el nuevo gobierno federal y los gobiernos locales. La construcción de indicadores sobre los desastres naturales en una dimensión integral, con una perspectiva multidisciplinaria, es uno de los desafíos de los próximos años.



Figura 2. Número de defunciones por lluvias e inundaciones en el periodo 2000-2016.

detonante fueron las lluvias producto de la tormenta tropical *Earl* en Puebla, Veracruz e Hidalgo (véase figura 2).

Conclusiones

La presencia y los efectos, así como las consecuencias de estos fenómenos siconaturales, están lejos de ser debidamente medidos. Antes de ello, volvamos a una definición básica.

Estos fenómenos son naturales en tanto pueden ser, hasta cierta medida, imprevisibles. Pero son siconaturales por el impacto, y en algunos casos porque su origen está fundado en un estado (de una infraestructura, por ejemplo), una condición (de un asentamiento irregular, por ejemplo) o un estatus (vulnerabilidad social o geofísica).

Quizás la precisión de la frecuencia u ocurrencia es el elemento menos previsible de dichos fenómenos. Sin embargo, la dimensión de su impacto y las consecuencias específicas tanto en la infraestructura como en el mobiliario urbano o en las áreas habitacionales son factibles de ser medidas.

Cada vez más en distintos gobiernos y en la propia sociedad civil se percibe una necesidad impostergable de generar metodologías para la prevención, de crear estrategias de acción y atención a la población vulnerable, así como de elaborar programas minuciosos para el resarcimiento de los daños materiales y humanos que provocan dichos fenómenos siconaturales.

En este conjunto de fenómenos, sobresalen los daños a las grandes infraestructuras en ciudades, en las metrópolis y en la megalópolis de la región centro.

Destaca también que el análisis de los aspectos sociomateriales de dichos daños está poco presente en documentos especializados o en documentos gubernamentales, específicamente.

No existe una perspectiva integral, holística, de los fenómenos siconaturales, o no existe de manera equilibrada en los proyectos y en los diseños institucionales de atención a los riesgos, específicamente en materia de inundaciones ◀

Este artículo es un resumen del documento "Medir lo imprevisible: indicadores sobre inundaciones catastróficas en México" de Felipe de Alba, publicado por el Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública en octubre de 2018.

Referencias

- Cenapred. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México 2000-2016. Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex>
- De Alba, Felipe (2016). Los desastres, ¿cómo se miden sus costos sociales y económicos? Documento de trabajo núm. 220. CESOP, Cámara de Diputados. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311538558_Los_desastres_como_se_miden_sus_costos_sociales_y_economicos
- De Alba, Felipe (2017). Las "urgencias" de la megalópolis. Carpeta informativa núm. 73. CESOP, Cámara de Diputados. Disponible en: <https://issuu.com/felipedalba/docs/cesop-il-72-14-urgenciasmegalopolis>

Indar

An *Ingeteam* brand



Milwaukee
(E.E.U.U.)

México
(México D.F.)

Beasain
(España)

Unidades de fabricación
Agencias Comerciales
Centros de Servicio



INDAR AMÉRICA S.A. DE C.V.

ventas@indaramerica.com.mx

Yucatán No. 1 Sta. Clara, 55540

Ecatepec, Edo. de México

Tels.: (55) 57 90 58 64

57 90 58 74

57 90 58 05

Fax.: (55) 57 90 58 02

www.ingeteam.com/indar

Diagnóstico con base en bioindicadores

es.wikipedia.org - The LEAF Project

En este trabajo se presenta una evaluación estimativa de la calidad del agua en los ríos Amacuzac y Apatlaco en Morelos, México, utilizando macroinvertebrados bénticos de colecta en cinco estaciones de muestreo, los cuales funcionaron como bioindicadores. Para el diagnóstico se utilizaron el Índice de Macroinvertebrados Bénticos y el índice Secuencial de Comparación.



GABRIELA VÁZQUEZ SILVA

Profesora-investigadora. Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura. UAM Xochimilco.

Coautores: **FERNANDO ARANA MAGALLÓN, KAREN LÓPEZ DE LA ROSA** y **GERMÁN CASTRO MEJÍA.**

En México, los recursos hídricos se encuentran principalmente en ríos, lagunas y presas; estos elementos son fundamentales para el sustento de los ecosistemas acuáticos y el bienestar de las comunidades humanas. La disponibilidad natural del agua dulce en el país, que se consideraba alta, seguirá descendiendo en la medida en que aumenten la población y el deterioro de los cuerpos de agua (Carabias y Landa, 2005). La contaminación química y biológica altera en gran medida los ecosistemas acuáticos, con influencia

en su grado de biodiversidad de flora y fauna, principalmente del bentos (Raz-Guzmán, 2000).

Estos cambios determinan modificaciones en la composición de las comunidades y en su función dentro de los sistemas acuáticos y directamente en los ciclos de vida de los organismos, su crecimiento y reproducción (Bartram y Ballance, 1996). Algunas de estas variaciones ocurren sólo en el nivel químico, pero a largo plazo la estructura de las comunidades de las especies nativas en el ecosistema presenta alteraciones y es así como estas poblaciones pueden indicar su nivel de contaminación.

En su ciclo biológico, los organismos acuáticos tienen la capacidad de tolerar diferentes niveles de contaminación y persistir o declinar en el ambiente (Whiton, 1975; Chapman 1996); de esta forma, una especie puede ser bioindicador del ambiente.

La calidad del agua generalmente se determina a corto plazo por valores fisicoquímicos y análisis de contaminación; sin embargo, el uso de bioindicadores puede ser complementario al determinar los efectos de la contaminación en los ecosistemas a largo plazo (Chapman, 1996), mediante la aplicación de índices bióticos basados en el balance de la riqueza y abundancia de especies dentro de ellos (Thorne y Williams, 1997).

Entre los grupos utilizados como bioindicadores se encuentran bacterias, algas, invertebrados y peces (De la Lanza *et al.*, 2011), pero recientemente los macroinvertebrados han cobrado mayor importancia por indicar niveles severos de contaminación; además, responden con mayor rapidez a los cambios ambientales (González *et al.*, 2012).

A diferencia del diagnóstico con parámetros fisicoquímicos, el uso de bioindicadores presenta ventajas como el establecimiento permanente del monitoreo del agua a menor costo, la posible colecta y registro por personal no calificado y el reflejo de las condiciones del ecosistema en el nivel no sólo físico y químico sino también biológico (Cairns y Dickson, 1971).

En nuestro país ha aumentado el análisis de la calidad del agua con bioindicadores, pero aún se requiere una mayor caracterización de especies indicadoras para abordar el diagnóstico del potencial de los recursos hídricos más ampliamente, tanto en lo geográfico como desde el punto de vista biótico. Por ello, ante la importancia de la disponibilidad del agua y del uso de organismos bioindicadores, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua con base en las comunidades de macroinvertebrados bénticos utilizados como bioindicadores.

Metodología

El estudio se realizó en los ríos Apatlaco y Amacuzac en el estado de Morelos, ubicados dentro la cuenca del Amacuzac, la cual se conforma por los ríos Yautepec, Tetlama, Apatlaco, Cuautla y Amacuzac. Las colectas de organismos se realizaron en dos temporadas (verano y otoño) en cinco estaciones de muestreo: Tlatenchi, Xochitepec, Temixco y Tepeite, del río Apatlaco, y la estación Amacuzac, localizada en el río del mismo nombre (véase figura 1). Los puntos fueron seleccionados en virtud de características como actividad agrícola y ganadera o urbanización.

La colecta de macroinvertebrados bénticos y epibénticos se realizó con una red surber (luz de malla de 0.5 mm y marco de 30 cm²) con desprendimiento manual por eliminación del sedimento. Todo el material biológico se conservó en alcohol al 70% (Sandoval y Molina, 2000), con excepción de los hirudíneos (sanguijuelas), que se colocaron en bolsas de plástico con agua del lugar, a fin de mantenerlos vivos hasta su narcotización e identificación en laboratorio (Lamothe, 1987). El material biológico se limpió con pinceles y se recambió el alcohol. La identificación taxonómica se realizó con las claves de Needham y Needham (1962), Pennak (1978), Burch (1982), Sawyer (1986) y Burch y Cruz-Reyes (1987), mediante un microscopio estereoscópico de fluorescencia, y los organismos representativos fueron fotografiados con cámara digital integrada al microscopio.

Con los registros de la riqueza y abundancia de especies se calculó el índice de macroinvertebrados bénticos o IMB (Brooks *et al.*, 1998), basado en la composición del número de especies propias de aguas limpias entre el número total de las comprendidas en los sitios de estudio, y el índice secuencial de comparación o ISC (Cairns *et al.*, 1973), fundamentado en las diferencias relativas de la diversidad biológica como son

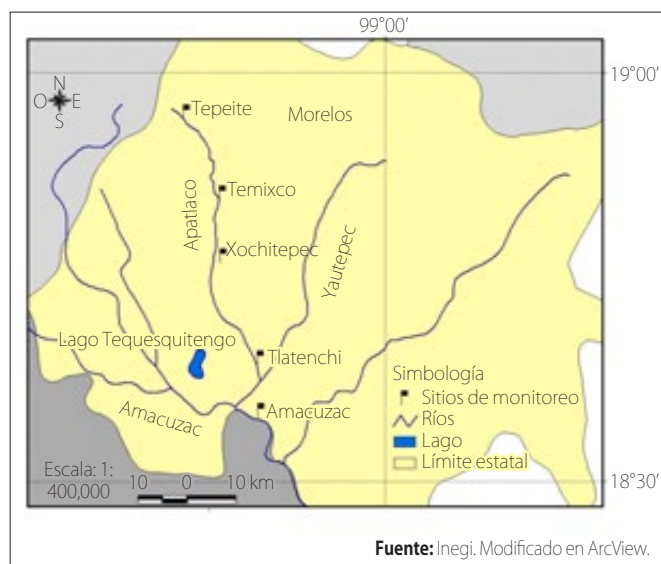


Figura 1. Mapa de las estaciones de monitoreo.

Tabla 1. Listado de presencia-ausencia de macroinvertebrados bénticos acuáticos en las cinco estaciones

CLASE	Orden	Familia	Especie	Tepeite	Temixco	Xochitepec	Tlatenchi	Amacuzac
HIRUDINEA								
<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Erpobdellidae</i>	<i>Mooreobdella microstoma</i>	+	-	-	-	-	-
		<i>Erpobdella triannulata</i>	-	+	+	-	-	
	<i>Haemopidae</i>	<i>Haemopsis caballeroi</i>	-	+	-	-	-	
<i>Rhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella stagnalis</i>	-	+	+	-	-	
OLIGOCHAETA		N. I.	+	+	-	+	+	
CRUSTACEA								
<i>Isopoda</i>	<i>Asellidae</i>	<i>Asellus</i> sp.	-	+	+	-	-	
	<i>Oniscidae</i>	<i>Porcellio</i> sp.	-	-	-	+	-	
		N. I.	+	+	-	-	-	
INSECTA								
<i>Coleoptera</i>	<i>Dryopidae</i>	<i>Helichus</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Elmidae</i>	<i>Stenelmis</i> sp.	-	-	-	-	+	
	<i>Gyrinidae</i>	<i>Dineutus</i> sp.	+	-	-	-	+	
	<i>Heterocidae</i>	N. I.	-	-	-	-	+	
	<i>Hydrophilidae</i>	<i>Paracymus</i> sp.	+	-	-	-	-	
		<i>Tropisternus mexicanus</i>	-	-	-	+	+	
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	<i>Ephydra</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Ephydrinae</i>	<i>Brachydeutera</i> sp.	-	-	-	-	+	
	<i>Chironomidae</i>	N. I.	+	+	+	+	-	
	<i>Tanypodinae</i>	N. I.	+	+	+	-	-	
	<i>Muscidae</i>	<i>Limnophora</i> sp.	-	-	+	-	-	
	<i>Simuliidae</i>	<i>Simulium</i> sp.	+	-	-	-	+	
	<i>Tipulidae</i>	<i>Limnophila</i> sp.	+	-	-	-	-	
		<i>Tipula</i> sp.	+	+	-	-	-	
		<i>Baetis</i> sp.	+	+	-	-	-	
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	<i>Baetodes</i> sp.	-	-	+	-	+	
		<i>Callibaetis</i> sp.	-	-	+	-	-	
		<i>Camelobaetidius</i> sp.	-	-	-	-	+	
		N. I.	-	+	-	-	-	
	<i>Heptageniidae</i>	<i>Rhithrogena</i> sp.	+	-	-	-	-	
		<i>Stenonema</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Leptoheptageniidae</i>	<i>Tricorythodes</i> sp.	-	-	+	-	-	

Tabla 1. Listado de presencia-ausencia de macroinvertebrados bénticos acuáticos en las cinco estaciones (continuación)

CLASE	Orden	Familia	Especie	Tepeite	Temixco	Xochitepec	Tlatenchi	Amacuzac
Hemiptera		<i>Belostomatidae</i>		+	-	-	+	+
		<i>Gerridae</i>		+	-	-	-	-
			<i>Aquarius</i> sp.	+	-	-	-	-
			<i>Limnogonus</i> sp.	-	-	-	-	+
			<i>Limnopus</i> sp.	+	-	-	-	-
		<i>Mesoveliidae</i>	N. I.	+	-	-	-	-
		<i>Naucoridae</i>	<i>Gelastocoris</i> sp.	-	-	-	-	+
			<i>Nerthra</i> sp.	-	-	-	-	+
		<i>Nepidae</i>	<i>Nepa</i> sp.	+	-	-	-	-
			<i>Ranatra</i> sp.	-	-	-	-	+
		<i>Saldidae</i>	N. I.	-	-	-	+	-
			N. I.	+	-	-	-	-
		<i>Veliidae</i>	<i>Rhagovelia</i> sp.	+	-	-	-	+
	Megaloptera	<i>Corydalidae</i>	<i>Corydalis</i> sp.	+	-	-	-	-
Odonata	<i>Calopterygidae</i>	<i>Hetaerina</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Coenagrionidae</i>	<i>Argia</i> sp.	+	-	-	-	-	
		N. I.	-	-	+	-	-	
Plecoptera	<i>Libellulidae</i>	<i>Libellula</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Perlidae</i>	<i>Peltoperla</i> sp.	+	-	-	-	-	
Trichoptera		N. I.	+	-	-	-	-	
	<i>Hydrophychidae</i>	<i>Leptonema</i> sp.	-	-	-	+	-	
		<i>Smicridea</i> sp.	-	-	+	-	-	
	<i>Philopotamidae</i>	<i>Chimarra</i> sp.	+	-	-	-	-	
	<i>Polycentropodidae</i>	<i>Polycentropus</i> sp.	+	-	-	-	-	
GASTEROPODA								
Pulmonata	<i>Ancylidae</i>	<i>Ferrisia</i> sp.	-	-	+	+	-	
	<i>Physidae</i>	<i>Physa</i> sp.	-	+	+	+	-	
	<i>Planorbidae</i>	<i>Planorbella trivolis</i>	-	-	+	+	-	
Prosobranchia	<i>Thiaridae</i>	<i>Thiara tuberculata</i>	-	-	-	+	+	
Stylomatophora	<i>Bulimulidae</i>	<i>Orthalicus</i> sp.	-	-	-	-	+	
	<i>Endodontidae</i>	<i>Helicodiscus</i> sp.	-	-	-	+	-	
	<i>Succinidae</i>	<i>Succinea</i> sp.	-	+	-	-	-	
TURBELLARIA		N. I.	+	-	-	-	-	

(+) especie presente; (-) especie ausente; (N.I.) macroinvertebrado no identificado hasta género.

forma, tamaño y color de los organismos, sin profundizar en la identificación taxonómica. El IMB considera tres grupos: 1) intolerantes, especies de aguas limpias (*Coleoptera*, *Ephemeroptera*, *Gastropoda*, *Megaloptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*); 2) facultativos, especies que habitan en aguas moderadamente contaminadas de tipo orgánico, pero no aportan información suficiente (*Decapoda*, *Diptera*: *Tipulidae*, *Isopoda*, *Odonata* y *Pelecypoda*), y 3) tolerantes, especies cuyo ciclo biológico persiste aun en condiciones poco óptimas y de baja calidad del agua (*Diptera*: *Chironomidae*, *Gastropoda*: *Physidae* y *Lymnaeidae*, *Hirudinea* y *Oligochaeta*). El ISC utiliza tres escalas de puntaje de calidad de agua según composición de especies: > 8, contaminada; > 8 y < 12, semicontaminada, y > 12, no contaminada (Saldaña *et al.*, 2001).

Análisis de bioindicadores

En el área de estudio se registraron cuatro *phyla* de invertebrados, 13 órdenes, 37 familias y 62 especies, con mayor presencia de la clase *Insecta* (véase tabla 1). Las estaciones Tepeite, al inicio del río Apatlaco, y Amacuzac mostraron la mayor dominancia, 56 y 60%, respectivamente, del grupo de organismos intolerantes (IMB), además del mayor puntaje del ISC (13 y 13.8), el cual estuvo representado por coleópteros (*Gyrinidae* *dineutus* sp. y *Elmidae* *stenelmis* sp.) y dípteros (*Simuliidae* *simulium* sp.) que se encuentran en aguas con buena oxigenación y desaparecen ante la contaminación orgánica (Thorne y Williams, 1997; Sandoval y Molina, 2000). Además, Tepeite contó con la presencia de especímenes de los órdenes *Megaloptera* y *Plecoptera* intolerantes a la contaminación (Brooks *et al.*, 1998), que fueron particularmente abundantes y, de acuerdo con Sandoval y Molina (2000), indican buena calidad del agua.

Las especies mostradas en la figura 2 son las siguientes. *Hirudíneo Helobdella stagnalis* (a), una especie tolerante a plaguicidas; (b) isópodo tolerante a la contaminación. Los coleópteros *Helichus* sp. (c), *Dineutus* sp. (d) y *Paracymus* sp. (e) son organismos intolerantes a la contaminación orgánica del agua. *Tropisternus* sp. (f), coleóptero facultativo.

Dípteros (g) *Ephydra* sp., organismo que puede tolerar contaminación orgánica; (h) organismo de la familia *Chironomidae* que tolera la contaminación de tipo orgánico e inorgánico así como metales pesados, y se encuentra ampliamente distribuido

en el país; (i) *Simulium* sp., organismo de hábitos filtradores intolerante a la contaminación orgánica; (j) *Limnophora* sp., tolerante a la contaminación; (k) *Tipula* sp., puede ser colectado en el detritus; efemeróptero (l) *Callibaetis* sp. es un organismo de hábitos recolectores; hemípteros facultativos (m), organismo juvenil perteneciente a la familia *Belostomatidae*, y (n) *Nepa* sp.

Megalóptero (ñ) *Corydalus* sp., organismo intolerante a la contaminación orgánica; tricópteros (o) *Leptonema* sp., organismo de hábitos filtradores y recolectores; (p) *Chimarra* sp. es una especie intolerante a la contaminación acuática; gasterópodos (q) *Ferrisia* sp., que tienen hábitos ramoneadores; (r) *Planorbella trivolvis*, una especie indicadora de aguas turbias domésticas; (s) *Thiara tuberculata*, molusco considerado como contaminante biológico porque desplaza de su hábitat a otras especies nativas.

Los tramos del río en las estaciones Temixco, Xochitepec y Tlatenchi del río Apatlaco mostraron un comportamiento similar en cuanto a la presencia de 60% del grupo de tolerantes a la contaminación, de acuerdo con el IMB. Asimismo, en el ISC alcanzaron puntajes menores, entre 6 y 7, lo que indica baja calidad del agua. Los órdenes *Diptera* (*Chironomidae*), *Hirudinea*, *Isopoda* y *Molusca* (*Physidae* y *Thiaridae*) fueron los grupos más representativos de estos sitios, y esto refiere tolerancia a la contaminación orgánica ocasionada por la entrada de aguas residuales o tratadas al afluente y de tipo inorgánico por los retornos agrícolas (plaguicidas) o desechos industriales (metales pesados).

Margalef (1980) explica claramente la presencia-ausencia de organismos que pueden utilizarse como indicadores de la salud de los ecosistemas, ya que la contaminación interviene en la disminución de la diversidad en la comunidad principalmente por dos factores: en primer lugar se establece la muerte de una gran cantidad de las especies, con excepción de las más resistentes o tolerantes, que son pocas, y en segundo lugar, los efectos de fertilizantes simultáneos o sucesivos favorecen a las especies con capacidad de una rápida multiplicación.

Conclusiones

Los índices bióticos ISC e IMB proporcionaron información cuantitativa para el diagnóstico de la calidad del agua. En su parte alta, el río Apatlaco presentó condiciones favorables para el sustento de comunidades de macroinvertebrados bénticos;



Figura 2. Catálogo de especies indicadoras de macroinvertebrados bénticos colectados en las estaciones de monitoreo.

en la parte media se encuentra afectado principalmente por la urbanización y actividades antropogénicas. Al inicio del río Amacuzac existe una depuración y la calidad del agua es buena; sin embargo, el aporte de agua contaminada que recibe de los ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla puede afectar su calidad en el largo plazo.

La abundancia de organismos como anélidos hirudíneos y oligoquetos, insectos quironómidos y crustáceos isópodos evidenció la presencia de contaminación en la parte media del río Apatlaco, mientras que el registro de coleópteros en la parte alta del mismo afluente y en el río Amacuzac indica buena calidad del agua. En ambos ríos, los dípteros (*Ephydra* sp., *Lim-*

nophora sp.), quironómidos, isópodos, hirudíneos (*Helobdella staganalis*) y moluscos (*Planorbella trivolvis* y *Thiara tuberculata*) se consideran bioindicadores de malas condiciones del agua, en tanto que los órdenes Megaloptera y Plecoptera y especies como *Dineutus* sp., *Helichus* sp., *Simulium* sp., *Corydalus* sp. y *Chimarra* sp. muestran un ecosistema saludable con buena calidad del agua ◀

Agradecimientos

A los especialistas que contribuyeron con sus conocimientos: Guadalupe de la Lanza Espino, Jorge Luis Hernández Aguilera, Juan Carlos Sandoval Manrique, Roberto Pérez Rodríguez y David Osorio Sarabia.

Si desea obtener las referencias bibliográficas de este artículo, solicítelas a h2o@heliosmx.org

agenciamanl.blogspot.com

Túnel Semiprofundo Miramontes

Solución para las
inundaciones del sur
de la CDMX



GUILLERMO LEAL BÁEZ
Director general de Inesproc, S. A. de C. V.



TANIA PAOLA ROBLES MONTERO
Directora de Tecnologías Hidráulicas en Inesproc,
S. A. de C. V.

La zona comúnmente conocida como Coapa, en el sur de la Ciudad de México, es una de las áreas más afectadas de la urbe por inundaciones y encharcamientos. Aunque esto se hace patente prácticamente cada temporada de lluvias, durante 2017 el sistema de drenaje de esta zona vio completamente rebasada su capacidad en dos ocasiones: en mayo y en septiembre. En esta última, el desbordamiento del río San Buenaventura cerca de la Glorieta de Vaqueritos ocasionó grandes daños a viviendas de las delegaciones Xochimilco, Tlalpan y Coyoacán.

El río San Buenaventura conduce los escurrimientos de la zona alta de Tlalpan hasta el vaso regulador, que se ubica aguas abajo, al oriente de la Glorieta de Vaqueritos; allí también descargan los escurrimientos provenientes de Xochimilco y Milpa Alta. Todos estos caudales son drenados a través del colector Miramontes, que los conduce hacia el río Churubusco; por lo tanto, ambos, el vaso y el colector, cumplen una función crucial en el control de inundaciones en el sur de la Ciudad de México.

En septiembre de 2017, las fuertes lluvias que se habían presentado a lo largo de la temporada disminuyeron de forma considerable la capacidad de regulación de la laguna. Por otra parte, las condiciones del colector Miramontes no permitieron el desalojo oportuno de las aguas, debido a que la capacidad de este conducto se halla sumamente reducida a causa de los hundimientos diferenciales.

Aunque desde hace años se ha estado planteando la necesidad de construir un túnel que contribuya a drenar con mayor eficiencia los caudales provenientes del sur de la Ciudad de México, estas situaciones han puesto en evidencia la urgencia de la construcción del Túnel Semiprofundo Miramontes (TSM). Por ello, El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) promovió la elaboración de su ingeniería básica, la cual comprende tanto el proyecto geométrico como el diseño de las captaciones y colectores de alivio necesarios para mejorar el sistema de drenaje primario, considerando la infraestructura hidráulica existente en la zona de estudio.

Diagnóstico de la infraestructura existente

El colector Miramontes es uno de los principales conductos de drenaje de la alcaldía Coyoacán. Inicia su trazo en la Glorieta de Vaqueritos y continúa por la avenida Canal de Miramontes hasta la planta de bombeo (PB) Miramontes, que está ubicada en la lateral de la avenida Río Churubusco. Tiene una longitud

de 8.7 km, de los cuales, 2.2 km se localizan dentro de la alcaldía Tlalpan y los 6.5 km restantes pertenecen a la alcaldía Coyoacán.

Las principales colonias a las que sirve directamente este colector son: Narciso Mendoza, Royale, Real del Sur, Acoxta, Residencial Miramontes, Fresnos, Girasoles II, Girasoles III, Cipreses, Alianza Popular Revolucionaria, Jardines de Coyoacán, Presidentes Ejidales 1ª Sección, San Francisco Culhuacán, Taxqueña y Paseos de Taxqueña; en ellas se centró el análisis del estado de la red primaria y secundaria, con el propósito de determinar qué proyectos de sustitución, rehabilitación o ampliación son necesarios para lograr un eficiente desalojo de las aguas residuales y pluviales generadas en el área de estudio.

En el colector Miramontes descargan 29 colectores de concreto reforzado, con diámetros que van desde los 61 hasta los 244 cm. Estos conductos fueron analizados empleando como base la información del catastro realizado por la extinta Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF), de la cual se obtuvieron las características geométricas necesarias: diámetro, longitud, profundidad de plantilla en los pozos de visita y elevaciones de terreno en los brocales.

Con base en los datos registrados por la CADF, se realizó un análisis a tubo lleno de cada uno de los 29 colectores, ya que esta condición es la más crítica. Así se determinaron los valores máximos del gasto y la velocidad para cada tramo de los distintos colectores. En este estudio preliminar se observó que, debido a los hundimientos diferenciales que ha sufrido la red, prácticamente todos los colectores presentan condiciones desfavorables que afectan el adecuado funcionamiento de ésta.

El caso más grave es el de los tubos que se encuentran en contrapendiente, o bien con pendiente nula, circunstancias que generan remansos hacia aguas arriba y la saturación de los pozos de visita, lo que a su vez ocasiona encharcamientos en la superficie.

Por otra parte, algunos tubos tienen una pendiente tan grande que en la tubería se alcanzan velocidades mayores de 3.5 m/s,

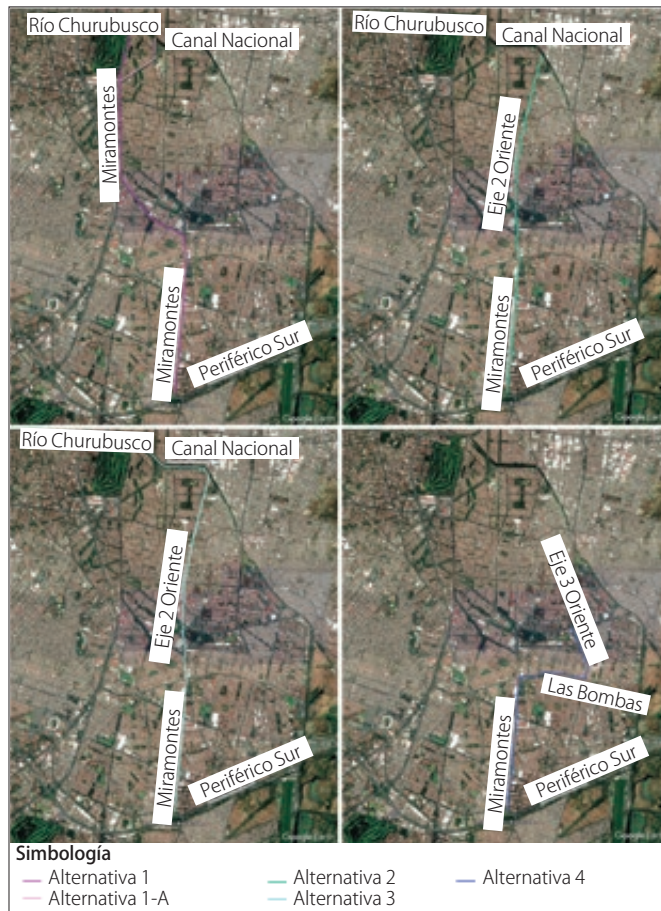


Figura 1. Alternativas de trazo del TSM.

que es el límite superior recomendado por los manuales de diseño para conservar este tipo de infraestructura en las mejores condiciones posibles.

En resumen, de los 29 colectores analizados sólo uno de ellos no presenta alguna de las condiciones anteriores en ninguno de sus tramos. La situación que se da con más frecuencia, en 28 colectores, es la existencia de tubos en contrapendiente; en segundo lugar, se encontraron 19 colectores cuya pendiente es excesiva en algunos tramos y, por último, en ocho colectores se hallaron tramos con pendiente nula. Por lo anterior, se considera que el sistema de drenaje que alimenta al colector Miramontes está en una situación crítica y sería necesario, además de la construcción del TSM, realizar acciones correctivas que permitan un mejor funcionamiento de la red primaria y secundaria de esta zona.

Alternativas de solución

Para la implementación del TSM, se plantearon cuatro alternativas que consideran las limitaciones derivadas del hecho

de que la zona de proyecto está densamente poblada. Por un lado, ya existe infraestructura a lo largo de las distintas vialidades por las que podría plantearse el trazo del túnel; por el otro, los predios disponibles para situar las lumbreras constructivas son escasos y su ubicación no es la más adecuada, de acuerdo con las distancias máximas y mínimas que los manuales de diseño recomiendan.

En la figura 1 se presentan las opciones planteadas: 1, 2, 3 y 4, además de la alternativa 1-A, que representa una variante de la primera. Cabe destacar que todas las opciones siguen el mismo trazo desde el punto en el que iniciaría el TSM, la Glorieta de Vaqueritos, hasta Calzada de las Bombas, que a su vez es el mismo trazo del colector Miramontes hasta dicho punto.

La alternativa 1 constituye la opción más natural, puesto que continúa con el trazo del colector Miramontes hasta la PB Miramontes, con una longitud de 8.45 km. Su variante, la alternativa 1-A, sigue el mismo trazo hasta poco después de la avenida Taxqueña, y se desvía en la calle Cerro Mezontepec hacia Canal Nacional, donde se ubicaría una lumbrera de conexión; esta opción recorrería una longitud de 8.37 kilómetros.

A diferencia de las anteriores, el trazo de la alternativa 2 se propuso de modo que fuera lo más recto posible; después de la Calzada de las Bombas, el trazo continúa por la avenida Canal de Miramontes hasta su intersección con el Eje 2 Oriente Heroica Escuela Naval Militar, por el cual prosigue hasta una lumbrera de conexión con el Canal Nacional, en 7.17 km de recorrido. La alternativa 3 contaría con el mismo trazo de esta última, hasta el Canal Nacional, pero en lugar de descargar en él, el túnel continúa de forma paralela al canal, hasta la estructura de rejillas de la PB Miramontes; esta alternativa tiene una longitud de 8.90 kilómetros.

Por último, la 4 es la alternativa más corta de todas; con una longitud de 5.39 km, propone que el túnel dé la vuelta en la Calzada de las Bombas, siguiendo su trazo hasta el Eje 3 Oriente Cafetales, por el que prosigue hasta la lumbrera 4 del Túnel Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco.

Con el fin de evaluar su funcionamiento hidráulico, se empleó el *software* de modelado de aguas urbanas MIKE URBAN para analizar las alternativas de trazo (véase figura 2), considerando dos condiciones: diámetro de 3.10 m y diámetro de 4.00 m, asociado cada uno de ellos a una pendiente con la cual el túnel tuviera la

Con 20 años de experiencia

en México, América Latina y El Caribe, O-tek impacta el desarrollo de la región mediante soluciones integrales en transporte de agua, con más de 2.000 proyectos y 6.000 kilómetros instalados con tubería de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, PRFV, de alto desempeño y durabilidad, para diferentes aplicaciones en diámetros desde 300 mm a 3.000 mm y presiones de 1 a 32 km/cm²

- Riego
- Acueducto
- Alcantarillado
- Plantas de tratamiento (PTAR)
- Desaladoras
- Centrales Hidroeléctricas
- Sistemas Industriales, Minería

Otros productos:

- Pipe Jacking (Hincado)
- Encamisado



NUESTROS LOGROS EN MÉXICO

Más de
350 proyectos
suministrados
y entregados

Más de
15 años
de experiencia
en México

Más de
620 km
de tubería
instalados

Más de
70 proyectos
de Acueducto

Más de
180 proyectos
de Alcantarillado

Más de
105.000 Ha
cubiertas
en Distritos
de Riego

Ciclos
combinados
con más de 15 km
de tubería que
generan más
de 2.750 MW

O-tek México
Carretera Aguascalientes
Zacatecas km 17.5, Int. 2
Parque Industrial San Francisco,
C.P. 20304
San Francisco de los Romo, Ags.



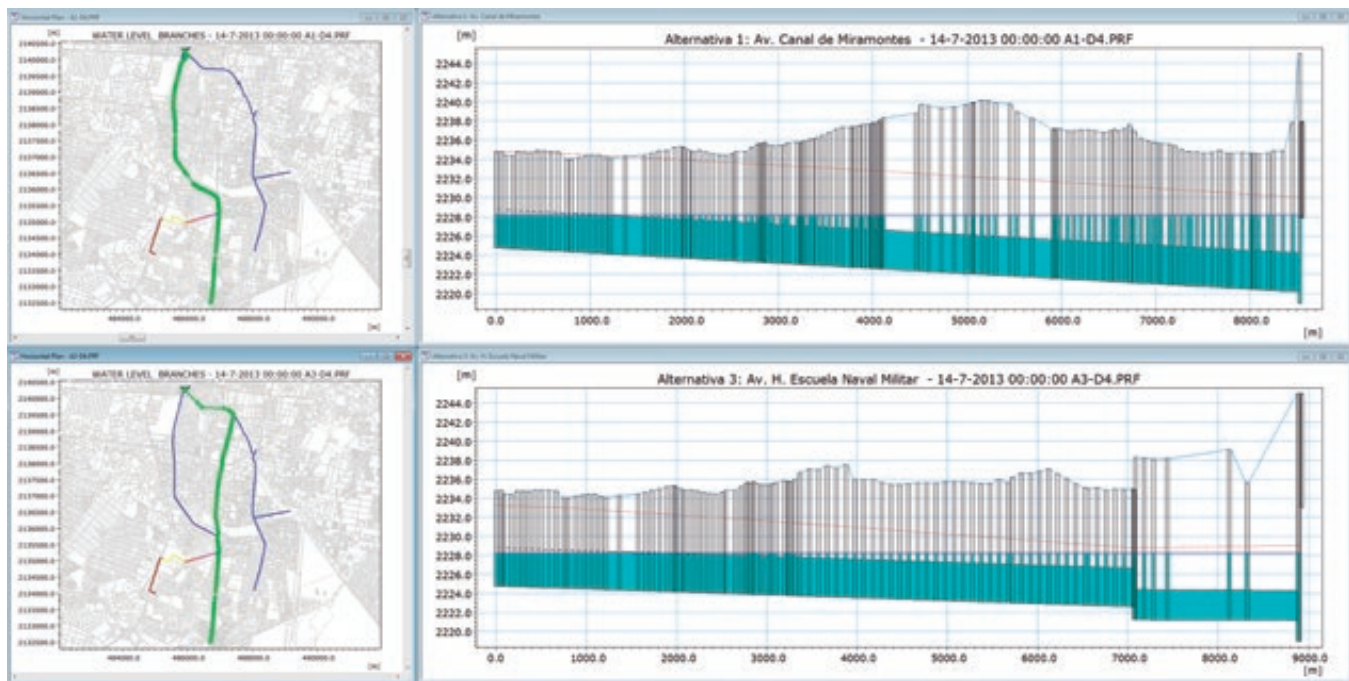


Figura 2. Análisis hidráulico de alternativas.

capacidad necesaria; como resultado de lo anterior, la condición de mayor diámetro cuenta con una mayor capacidad de desalojo asociada a una menor pendiente. De esta forma, se dio la posibilidad de analizar distintas opciones desde el punto de vista geotécnico y constructivo, con el propósito de considerar tanto las capacidades mecánicas del suelo como los recursos técnicos y económicos disponibles en la etapa constructiva.

Uno de los factores determinantes en la evaluación y selección de la alternativa final fue la composición del terreno, puesto que el colector Miramontes trabaja actualmente con carga desde la Glorieta de Vaqueritos hasta la avenida Heroica Escuela Naval Militar, como consecuencia de los hundimientos diferenciales. Al revisar los perfiles estratigráficos, se observó que, en el caso de las alternativas 1 y 1-A, el estrato de mayor dureza se presenta en la zona central del trazo, lo cual provocaría que en este tramo los asentamientos fueran menores a los del inicio y el final del túnel y, por lo tanto, que se presentara una problemática similar a la que afecta al colector Miramontes hoy en día.

Con este análisis, se determinó que la mejor opción sería aquella que presentara un hundimiento lo más uniforme posible, de manera tal que se disminuya el peligro de que el túnel sufra dislocamientos durante su vida útil. Por ello se consideró que la alternativa que resuelve mejor la problemática antes expuesta es la 2, ya que su perfil estratigráfico muestra la capa más dura y la de arcillas a una profundidad similar a lo largo de todo el trazo.

Proyecto geométrico

A partir de la información recopilada, los estudios realizados y los comentarios de las áreas operativa y técnica del Sacmex, se determinaron el trazo y la geometría del túnel, con un diámetro de 3.10 m y pendiente de 0.0004, así como las características que se enuncian a continuación.

En el cadenamamiento 0+000 se ubica la lumbrera L-1, a partir de la cual el túnel corre paralelo a la avenida Canal de Miramontes, hasta poco antes del cadenamamiento 2+760, en el que se localiza la lumbrera L-2. El trazo continúa por Canal de Miramontes hasta Heroica Escuela Naval Militar, por la que sigue hacia la L-3, en el cadenamamiento 3+935, a un costado del Monumento a la Marina. Posteriormente, el túnel prosigue por la misma vialidad, hasta su cruce con Taxqueña (L-4) y hasta que se conecta al Túnel Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco, mediante la lumbrera L-5, en la intersección del Eje 2 Oriente y el Canal Nacional.

Además del diseño geométrico del túnel, se diseñaron las cinco lumbreras antes mencionadas, las captaciones y las estructuras de control, así como 12 colectores de alivio.

Análisis hidráulico

Finalmente, para verificar el funcionamiento hidráulico del TSM con el diseño geométrico propuesto, considerando que formará parte de un sistema de drenaje complejo, se armó un modelo

en el *software* que, además del túnel, contempla la infraestructura conectada a él de forma directa o indirecta: los colectores Miramontes, Apatlaco, Río Churubusco y Prolongación División del Norte, el Canal Nacional y el Interceptor Oriente, así como las plantas de bombeo Miramontes y Apatlaco (véase figura 3).

Los hidrogramas y gastos de entrada al modelo se determinaron mediante un estudio hidrológico de la zona sur de la Ciudad de México. Para ello, primero se definieron las cuencas de aportación al colector Miramontes y al túnel; posteriormente, se calcularon los hidrogramas correspondientes a estas cuencas para tormentas de 30 minutos, de una, dos y cuatro horas de duración, asociadas a 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno.

Al observar los hidrogramas obtenidos, se determinó que las condiciones más críticas con alta probabilidad de ocurrencia son las asociadas a tormentas de una y cuatro horas de duración, con 10 años de periodo de retorno; en el primer caso, debido al gasto pico de la tormenta, y en el segundo, al volumen de escurrimientos generado. Por lo tanto, el análisis hidráulico se realizó considerando estas condiciones de lluvia en las cuencas que drenan directamente al colector y al Túnel Semiprofundo Miramontes, mientras que en los otros conductos considerados en el modelo únicamente se ingresaron los gastos base de sus cuencas de aportación. De este modo, las entradas al modelo constaron de 18 hidrogramas y 33 gastos constantes.

Al revisar los resultados de las simulaciones se confirmó que, en ambas condiciones de lluvia, el TSM tiene la capacidad de drenar los escurrimientos hasta el Túnel Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco, sin desbordarse y presentando velocidades máximas permisibles.

Por otra parte, el colector Miramontes presenta desbordamientos mínimos en un tramo de 300 m, ubicado aguas arriba de la L-2, en las inmediaciones de la Alameda del Sur, debido a que es el tramo con mayores irregularidades en la plantilla. Cabe destacar que estos desbordamientos son despreciables en comparación con los que se dan en las mismas condiciones de lluvia sin la presencia del TSM.

Conclusiones

La mitigación de inundaciones en el sur de la Ciudad de México debe ser un tema prioritario, puesto que no sólo es una zona que sufre año con año en la temporada de lluvias, sino que, además,

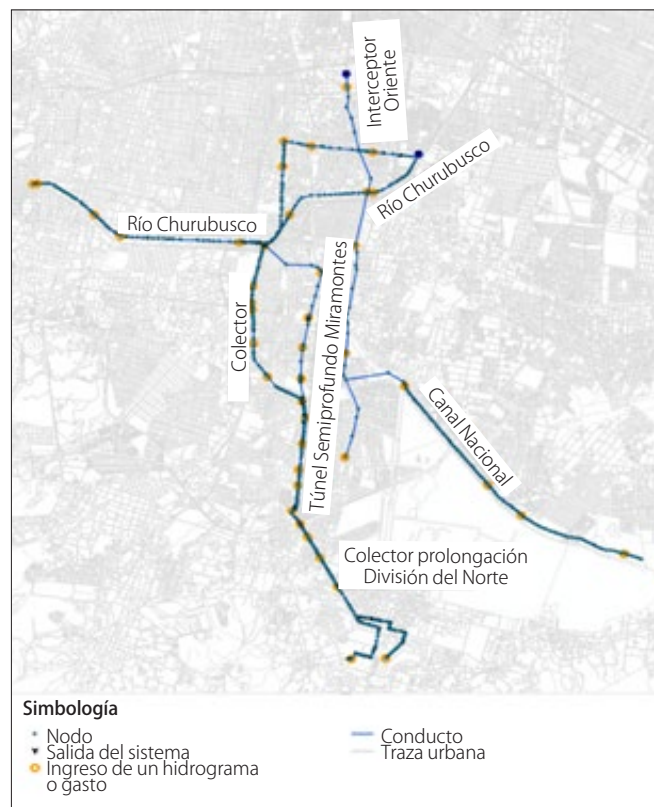


Figura 3. Armado del modelo de simulación hidráulica.

los daños y afectaciones derivados de encharcamientos e inundaciones son cada vez más graves.

Por lo anterior, la construcción del Túnel Semiprofundo Miramontes, al aliviar la situación crítica en la que se encuentra el colector Miramontes, sería una inversión en la calidad de vida de los habitantes de esta zona y de todos aquellos que cotidianamente circulan por ella. No obstante, es necesario resaltar que, para que esta inversión sea aprovechada al máximo, también es urgente atender y aplicar acciones correctivas en la red secundaria, cuyos colectores se han visto asimismo afectados por los hundimientos regionales.

Por tratarse de una zona densamente poblada, el diseño geométrico del túnel se vio limitado debido a la existencia de infraestructura de otros servicios y la falta de espacios libres para la construcción de lumbreras; por ello, se propusieron alternativas de trazo paralelas a las grandes vialidades de la zona. Aunado a lo anterior, fue necesario considerar la problemática que sufre actualmente el colector Miramontes y, con el fin de evitar que ésta se presente también en el túnel, el trazo propuesto corre por Canal de Miramontes únicamente de la Glorieta de Vaqueritos al Eje 2 Oriente, por el cual continúa hasta el Canal Nacional ◀



Historia y actualidad del **IMTA**



gob.mx/sagarpa



ALFONSO GUILLERMO BANDERAS TARABAY
Tecnólogo del agua, IMTA.



REBECA GONZÁLEZ VILLELA
Tecnóloga del agua, IMTA.

La problemática del agua en México se relaciona con su desigual distribución en el territorio, ante el incremento y concentración de la población y el aumento de sus necesidades vitales y productivas, el desarrollo económico y las nuevas condiciones extremas que ocasiona el cambio climático. Es deseable que las condiciones económicas mejoren y la demanda de servicios de la población se satisfaga, para lo cual es necesario mejorar el conocimiento científico y la tecnología que se aplica, el flujo de capitales, las prioridades en el financiamiento y mayor planificación en la forma en que se gestiona el agua.

La gestión integrada del agua es declarada de utilidad pública en la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 2014) y señalada como prioridad y asunto de seguridad nacional en el artículo 7, fracción I. El artículo 15 establece que la planificación hídrica debe ser obligatoria para la gestión integrada de los recursos hídricos y la conservación de los recursos naturales, de los ecosistemas vitales y del medio ambiente, lo que hace de la integralidad el instrumento más importante de la gestión hídrica.

En México, el capital que se destina a la investigación científica y tecnológica oscila entre 0.45 y 0.55% del producto interno bruto, muy reducido considerando la problemática hídrica y el deterioro ambiental. Este bajo presupuesto ha forzado a los centros de investigación a prestar servicios tecnológicos, lo que si bien fomenta la vinculación con los sectores sociales y productivos, también limita, devalúa, margina y hasta expulsa a personal altamente calificado egresado de instituciones nacionales e internacionales, con una reducción en la capacidad para desarrollar ciencia, tecnología y estrategias propias. En contraste, en corrupción se pierde del 9 al 10% del PIB, según la fuente (Casar, 2015).

Es deseable que las condiciones económicas mejoren y la demanda de servicios de la población se satisfaga, para lo cual

es necesario mejorar el conocimiento científico, la tecnología aplicada y el flujo de capitales, así como revisar las prioridades en el financiamiento y hacer mayor planificación en la forma en que se gestiona el agua. Todos estos factores están interrelacionados.

Según datos de la UNESCO, en México se utiliza el agua en las siguientes proporciones: 77% en la agricultura, 14% en abastecimiento público (de la cual 60.4% es subterránea), 5% en generación de energía y 4% en la industria (PNH 2014-2018). Es importante hacer notar que la ampliación o mejoramiento de la infraestructura es la punta de lanza de la agresión del ser humano contra el ambiente, por lo que los proyectos deben planificarse con cuidado para lograr la autosuficiencia hídrica, y el progreso alcanzado debe ser justamente distribuido.

Origen del IMTA

El 26 de marzo de 1976 se creó, por decreto presidencial, el organismo técnico administrativo denominado Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH), dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. En agosto de 1986, también por decreto, la CPNH se transforma en Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) como órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

A raíz de las reformas y adiciones que se realizaron a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal en 1994, el IMTA fue resectorizado como un órgano desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (hoy Semarnat).

El 30 de octubre de 2001, mediante decreto presidencial, se otorga al instituto personalidad jurídica y patrimonio propios, como un organismo público descentralizado de la administra-

ción pública federal coordinado por la Semarnat. Finalmente, mediante una resolución conjunta, esa secretaría y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología lo reconocieron como centro público de investigación en diciembre de 2009.

Organización

Al iniciar el año 2019, el IMTA sufrió un recorte de presupuesto y de personal que exigen su reestructuración; hasta diciembre de 2018 contaba con una Dirección General que lo dirigía administrativa y técnicamente, y seis coordinaciones:

- Hidrología
- Tratamiento y Calidad del Agua
- Riego y Drenaje
- Hidráulica
- Desarrollo Profesional e Institucional
- Comunicación, Participación e Información

Cada una de éstas tiene cuatro subcoordinaciones, unidades que habrán de fusionarse para ajustarse a los recortes. Mientras tanto, siguen realizando las tareas en sus respectivas materias de acuerdo con la misión institucional. Además, hay dos unidades de servicio interno: la Coordinación de Administración, con cuatro subdirecciones, y la Unidad Jurídica, con dos subgerencias.

Funciones

La LAN define al IMTA como un organismo público descentralizado que tiene por objeto, de acuerdo con su instrumento de creación y estatuto orgánico, realizar investigación, desarrollar, adaptar y transferir tecnología, prestar servicios tecnológicos y preparar recursos humanos calificados para el manejo, conservación y rehabilitación del agua y su entorno, a fin de contribuir al desarrollo sustentable.

Las unidades técnicas han desarrollado proyectos de servicios tecnológicos para dependencias como la Conagua, gobiernos estatales y municipales y entes particulares, como proyectos internos de investigación básica para el conocimiento y diagnóstico del entorno biofísico donde habrán de asentarse los desarrollos tecnológicos, de investigación aplicada al desarrollo, adaptación y transferencia de tecnología, de capacitación y formación de recursos humanos, y de difusión para el conocimiento del agua.



En el campo se pueden constatar las obras y acciones ejecutadas derivadas de los proyectos, y en la página de internet <https://www.gob.mx/imta/archivo/documentos> así como en el repositorio institucional se encuentran los libros y manuales producidos por los investigadores del instituto a lo largo de sus más de 30 años de existencia.

En el proyecto de iniciativa Ley General de Aguas (LGA) propuesto por la LXIII Legislatura, el objeto del instituto incluye prestar servicios de consultoría y emitir opiniones técnicas. La propuesta legislativa amplía las atribuciones del IMTA como asesor de los diferentes organismos de cuenca, con la posibilidad de participar en la fijación de las cuotas por servicios ambientales del agua y evaluar tanto los caudales ecológicos en las cuencas como la efectividad de las políticas públicas en materia de agua, para lo cual queda a cargo de las redes de monitoreo nacionales que miden la calidad y cantidad del agua; también se incluye la creación del Fondo Hídrico Nacional (FHN), en el cual participaría el IMTA para definir su propio presupuesto. Además, se actualiza el nombre de éste a Instituto Mexicano del Agua, más amplio e incluyente en concordancia con sus nuevas funciones, sin menoscabo de los derechos de sus trabajadores.

Esta propuesta de LGA parece adecuada, pero vertical en lo referente a la organización de los entes participantes en la gestión, lo cual puede remediarse parcialmente permitiendo que los miembros del Consejo Nacional Hídrico y del FHN asistan a las sesiones de trabajo acompañados de por lo menos 10 asesores sin voz ni voto. Otro detalle crítico es la duración de las concesiones, al parecer contrario a la tendencia en los países desarrollados hacia la remunicipalización. Sin embargo, este problema puede controlarse con una tarifa adecuada que elimine la especulación y controle el abuso (véase más adelante la propuesta 2).

Presupuesto

Para desarrollar su trabajo, en 2018 el IMTA recibió 256.9 millones de pesos del Presupuesto de Egresos de la Federación para gasto corriente, que solamente alcanzó para cubrir los salarios y el mantenimiento de las instalaciones. A pesar de que uno de los objetivos del PNH 2014-2018 era incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector, el presupuesto del IMTA se redujo a 224 millones de pesos en 2019.

En México, el capital que se destina a la investigación científica y tecnológica oscila entre 0.45 y 0.55% del producto interno bruto, muy reducido considerando la problemática hídrica y el deterioro ambiental. Este bajo presupuesto ha forzado a los centros de investigación a prestar servicios tecnológicos, lo que si bien fomenta la vinculación con los sectores sociales y productivos, también limita, devalúa, margina y hasta expulsa a personal altamente calificado egresado de instituciones nacionales e internacionales.

Para conseguir recursos con los cuales apoyar el desarrollo profesional de su personal y las actividades sucedáneas de la investigación científica, el instituto debe vender servicios tecnológicos por una cantidad similar, para lo cual su Estatuto Orgánico establece como responsabilidades adicionales del director general y los coordinadores promover los servicios que presta el instituto, así como establecer las alianzas y suscribir los convenios para tal efecto; promover la obtención de recursos en dinero o en especie para impulsar el desarrollo del instituto, conforme a su objeto y funciones; representar al instituto ante organismos, consejos, comisiones, comités, eventos y demás grupos de trabajo, tanto en el ámbito nacional como internacional, en los que el instituto tenga representatividad, en los términos que se establezcan en los compromisos, acuerdos y convenios, y participar en la promoción y comercialización de los servicios que preste el instituto conforme a su objeto y funciones.

Ante la perspectiva de ver degradarse al instituto con las propuestas alternas a la LGA que lo dejaban fuera de las dependencias vinculadas a la gestión del recurso, lo reducían a un centro de capacitación técnica o lo asimilaban en alguna otra dependencia, los trabajadores e investigadores del IMTA se organizaron en un sindicato para defender sus derechos laborales e intereses profesionales.

El Sindicato de Trabajadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua fue fundado el 14 de diciembre de 2012. El contrato colectivo de trabajo se firmó el 18 de noviembre de 2016, y en seguida se formaron las comisiones mixtas, con las cuales se han mejorado la pensión y las condiciones laborales (Sitimta, 2016a y 2016b).

Propuestas sindicales

Deben aplicarse teorías que permitan hacer realmente sustentable la gestión del agua y generar métodos para mejorar los servicios que se contratan, ya que la Ley de Ciencia y Tecnología asigna esta tarea al IMTA. Es en ese sentido que se hacen las siguientes propuestas.

1. Que la norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, sea elevada al nivel de norma oficial después de hacerle algunas modificaciones para integrar el concepto multifactorial de "sustentabilidad del ecosistema", basado en la información ecológica requerida en lo referente al factor agua, ya que en la actualidad el método propuesto por la norma mexicana está sustentado únicamente en el análisis del régimen hidrológico en el tiempo.
2. Una tarifa sustentable del agua establecida sobre bases físicas, que elimine la especulación en la fijación del precio del agua, regule los precios, frene la contaminación y asigne financiamientos para la investigación sobre el recurso y para realizar obras y acciones que protejan la calidad y cantidad del agua en las cuencas, de manera que constituya un control eficiente en caso de que llegara a privatizarse el servicio.
3. Definir un procedimiento interno para prestar servicios tecnológicos, con los siguientes requisitos:
 - Un reglamento de prestación de servicios del instituto que defina cargos y responsabilidades de los involucrados y el mecanismo para contratar servicios, incluyendo las entrevistas cliente-IMTA para definir necesidades y capacidades complementarias.
 - La capacidad instalada de cada unidad administrativa del IMTA, con objetivos y justificación, para empatarla con los requerimientos del cliente.
 - La meta de contratación de las unidades administrativas y subcoordinaciones, sus objetivos y justificación. Esto forma parte de un proceso más amplio diseñado con el fin de adaptar la experiencia y capacidad profesional de los trabajadores del IMTA, para asegurar que su trabajo será respetado y reconocido.
 - El personal autorizado para presentar el contenido temático de las propuestas de proyectos del IMTA ante el cliente y otras instituciones.
- Los servicios que está prestando actualmente el IMTA con el fin de involucrar al personal de base en la prestación de servicios y reducir la subcontratación.
- La cartera de clientes potenciales y actuales del IMTA, incluyendo los requerimientos del cliente y el tipo de servicio que cada equipo de trabajo del IMTA puede prestar.
- Un departamento de mercadotecnia encargado de promover nuestros servicios.

Todos los requisitos anteriores tienen el propósito de hacer transparente, congruente, eficiente, legal y justa la administración del instituto para beneficio de los trabajadores, de la institución y del país.

4. Jerarquizar las actividades que demandan agua con el fin de encauzar las inversiones de una manera administrativamente coherente y socialmente justa, en función de las prioridades socioeconómicas y ambientales, y atendiendo a las reformas a la Constitución realizadas en 2012. Se pueden distinguir varios grados de demanda del líquido en función de las necesidades que se tienen que atender, desde el simple mantenimiento del suministro básico y ampliación de la cobertura de agua potable hasta las actividades que apuntalan el crecimiento económico del país. De esta manera, se establecen los cuatro grupos siguientes.

- Agua para el sostenimiento de la población: ambiente, consumo humano, agricultura básica, ganadería básica, vestido (industria básica), seguridad, transporte (infraestructura básica), energía básica (electricidad, petróleo), territorio.
- Agua para las actividades legales prioritarias para el sostenimiento de la economía actual: recursos humanos, agricultura media, ganadería media, energía media (electricidad, petróleo), turismo local, transporte (infraestructura media), conservación del ambiente, comercio interno, industria (básica, extracción).
- Agua para sostener las actividades legales prioritarias para el crecimiento de la economía: recursos humanos calificados, investigación, agricultura intensiva, ganadería intensiva, protección del ambiente, minería (extracción), industria (transformación, manufacturas), comercio exterior, transporte (infraestructura alta), energía alta (electricidad, petróleo, alternas), turismo intensivo.



agua.potabi.edeloscabos.gob.mx

- Agua para las actividades legales sucedáneas: cultura, esparcimiento, comercio de vanidades.

En orden descendente, las actividades van requiriendo agua en mayor volumen, pero también producen aguas residuales en la misma proporción, por lo que se requieren obras, dispositivos y prácticas que permitan optimizar el uso del agua. Siendo la agricultura el principal consumidor del líquido en el país, la de tipo intensivo requiere sistemas de riego tecnificado y abandonar las prácticas ineficientes, si es que se pretende hacerla productiva y sustentable.

De la misma manera, la industria tiene que reciclar el agua, y el turismo, que usa intensivamente el territorio, amerita dispositivos que permitan reciclar el agua y disminuir sus drenajes al ambiente.

Cuando se pasa del nivel básico al medio y al intensivo, el ambiente va necesitando cada vez más obras y acciones, primero para conservarlo y después para protegerlo. Debe mencionarse que un objetivo del nuevo gobierno federal será dar continuidad al crecimiento industrial y turístico.

5. Fortalecer las líneas de investigación para cuando se dé el cambio generacional, acción vinculada al incremento presupuestal para ciencia y tecnología a fin de formar nuevos investigadores en la institución que reciban el conocimiento teórico y la experiencia acumulada de los investigadores actuales, de manera que desarrollen un potencial mayor de búsqueda y creatividad.

Conclusión

Los objetivos y métodos de las ciencias naturales, sociales y humanísticas son diferentes de los de las ingenierías, por lo que el sistema para evaluar la eficacia de sus respectivos profesionales también debe serlo. En el IMTA, en el primer grupo se evalúa el conocimiento generado y su presentación en forma de diagnóstico o pronóstico, y en las segundas se evalúa la habilidad para seleccionar el conocimiento y aplicarlo para desarrollar o mejorar un proceso o una herramienta. Además, las ciencias sociales y humanidades interactúan con las demás para cubrir las funciones institucionales en materia de capacitación, formación y desarrollo humano e institucional, economía, comunicación y participación social. De esta interacción se derivaría el área de promoción y venta de servicios mencionada en la propuesta 3.

Las tareas específicas que realizan los diversos profesionistas participantes en el instituto deben tener sistemas de evaluación del desempeño adecuados a sus perfiles profesionales y a sus productos de trabajo, para evitar una evaluación que desmerezca el desempeño (como esperar patentes de un antropólogo, o diagnósticos socioantropológicos de un físico), y así lograr una evaluación objetiva sobre una producción coherente, y una gratificación adecuada. De tal forma se generaría un clima laboral profesional, respetuoso, incluyente, legal, justo y propositivo, favorable para hacer del IMTA la institución de excelencia que se pretende ◀

Referencias

- Cámara de Diputados, 2018. Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2019. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/doc/PEF_2019_281218.doc
- Casar, A. (2015). Anatomía de la corrupción en México. Perseo 28. México: UNAM. Consultado el 1 de agosto de 2018. Disponible en: <http://www.pudh.unam.mx/perseo/category/la-corrupcion-en-mexico/>
- Comisión Nacional del Agua. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 12 de julio de 2018. Disponible en: <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/PNH2014-2018.pdf>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Estatuto Orgánico. Publicado en el DOF el 13 de abril de 2007.
- Ley de Aguas Nacionales. Nueva ley publicada en el DOF el 1º de diciembre de 1992. Texto vigente. Última reforma publicada en el DOF el 11 de agosto de 2014.
- Sindicato de Trabajadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Sitimta (2016a). El Sitimta a 1,263 días de su fundación. Disponible en: <http://sitimta.org.mx/wp-content/uploads/2018/08/A-tres-a%C3%B1os-del-SITIMTA-R.pdf>
- Sitimta (2016b). Contrato colectivo de trabajo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en: <http://sitimta.org.mx/wp-content/uploads/2018/01/Contrato-Colectivo-de-Trabaja-del-SITIMTA.pdf>

Desbordamiento de la Presa de la Olla

El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento del escurrimiento superficial durante el evento extraordinario de precipitación del 13 y 14 de junio de 2018 mediante una simulación hidrológica-hidráulica bidimensional. Una vez con el modelo, se analizarán algunas calles afectadas, sus tirantes y las velocidades de escurrimiento, con el fin de tener información que permita estimar los alcances de un evento posible en el futuro y prevenir a la población de una manera precisa y adecuada.



JÉSSICA NAVA PÉREZ

Estudiante de Ingeniería hidráulica en la Universidad de Guanajuato.

Coautores: **ÓSCAR JESÚS LLAGUNO GUILBERTO**, **JOSEFINA ORTIZ MEDEL** y **JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ VARELA**.

La ciudad de Guanajuato fue fundada en las orillas de un río por una razón particular: la explotación minera. En minería, el proceso de beneficio para obtener los minerales en su forma pura requiere grandes cantidades de agua, y por este motivo las haciendas de beneficio se asentaron en la ribera del río. Como

parte de este proceso, el agua residual se desechaba en el río, y con el azolve se reducía su capacidad y se generaban inundaciones. Además de esta situación, el municipio de Guanajuato tiene una topografía muy accidentada.

Estos factores han hecho que Guanajuato tenga una amplia historia de inundaciones. Se sabe de 20 inundaciones significativas desde su fundación hasta 2017. Una de las más importantes y conocidas fue la que se presentó en 1905; en ese año, Joaquín G. y González escribió *La inundación de Guanajuato*, un libro donde narra con gran detalle cuanto padecieron los habitantes: “La ciudad entera fue recorrida del uno al otro extremo por la funesta avalancha [...] hubo en los hogares huecos irreparables, lágrimas en los ojos, montones de escombros en las calles, cadáveres en el lecho del río y amargura en todos los corazones. Y lo que es

peor aún la sombra de nuevos peligros, suspendida amenazadora sobre su cabeza.” En el libro hay una lista de nombres y ocupaciones de 54 personas fallecidas y se aclara que, aunque esta es la cifra registrada, es seguro que el número real fue mucho mayor.

Se dice que el pueblo que olvida su historia está condenado a repetirla.

Caso de estudio

La ciudad de Guanajuato, objeto de este estudio, tiene como límites las coordenadas geográficas 101° 02' 00" y 101° 26' 30" de longitud Oeste; 20° 48' 42" y 21° 13' 03" de latitud Norte (Inafed, 2010). Cuenta con una población de 171,709 habitantes (Inegi, 2010; véase figura 1).

Declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, es una ciudad colonial que tiene 20 museos e importantes festivales culturales, como



noticias.guanajuato.gob.mx

el Internacional Cervantino. Además, es sede de la Universidad de Guanajuato, que es la máxima universidad pública del estado, la mayoría de cuyos alumnos proviene de otros municipios, estados e incluso países; así, la población flotante es numerosa y, además, la más vulnerable ante un evento extremo. Cada año Guanajuato recibe 28 millones de visitantes, lo que equivale a llenar 325 veces el Estadio Azteca.

La Presa de la Olla comenzó a construirse en 1741, con el objetivo de abastecer de agua potable a la población. La mitad de los gastos de construcción de la obra los costó Vicente Manuel Sardaneta y Legazpi, dueño de la mina de

San Juan de Rayas. Según el Inventario de Presas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la presa se ubica en la región hidrológica Lerma-Santiago, su cortina es de tipo contrafuerte y el material es calicanto con cimentación de roca. Fue de utilidad para abastecer agua a la población hasta el año 1894; actualmente se utiliza con fines recreativos.

El 13 y 14 de junio de 2018 se registró una lluvia extraordinaria: en 26 horas y 40 minutos se precipitaron 117 mm. Haciendo una comparación mensual y diaria, en un mes de junio normal llueven 122 mm, por lo que en el lapso mencionado llovió casi lo que se esperaba en todo el mes. Según datos del Servicio



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.



Figura 2. Presa de la Olla.



Figura 3. Calle Paseo de la Presa inundada y Presa de la Olla durante el desbordamiento.

Meteorológico Nacional (SMN), la lluvia máxima presentada entre 1981 y 2010, en un día de junio, fue de 72.3 mm, por lo que las previsiones se rebasaron en 44.7 milímetros.

Como resultado de este fenómeno, la ciudad se inundó y la Presa de la Olla se desbordó. No hubo víctimas humanas, únicamente daños a vehículos y viviendas, y no hay un informe que especifique los costos y alcances de tales daños.

Hay investigaciones que ofrecen evidencia de la mayor intensidad de las tormentas en todo el país, por lo que podría esperarse que fenómenos como el del pasado mes de junio no sólo se repitan, sino que además se intensifiquen.

El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento del escurrimiento superficial durante el evento del 13 y 14 de junio mediante una simulación hidrológica-hidráulica bidimensional. Una vez con el modelo, se analizarán algunas calles afectadas, sus tirantes y las velocidades de escurrimiento, con el fin de tener información que permita estimar los alcances de un evento posible en el futuro y prevenir a la población de una manera precisa y adecuada.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio es de 8.1 km², de los cuales 3.8 son de la cuenca de aportación y el resto (4.3 km²) es zona que será afectada por el escurrimiento superficial, llamada área de inundación.

Configuración del terreno

Los datos sobre la configuración del terreno se obtuvieron, en primera instancia, de



Hay instrumentos que son invaluableles.

cmic CÁMARA MEXICANA DE LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

REVISTA MEXICANA DE LA

CONSTRUCCIÓN



DISTRIBUCIÓN NACIONAL

La *Revista Mexicana de la Construcción* distribuye **ejemplares personalizados** a los socios de la CMIC en sus 44 delegaciones, y en general a **empresarios** de la industria de la construcción y a **funcionarios públicos** del área, **tomadores de decisiones**, académicos y autoridades de cámaras, asociaciones y colegios de profesionales de todas las áreas relacionadas con el sector.

TEMÁTICA

Economía, finanzas, asuntos legales y hacendarios, políticas públicas, **desarrollo**, prospectiva, **planificación estratégica**, gerencia de proyectos, desarrollo tecnológico, entre otros temas de interés para los **profesionales del sector**.

50% de descuento
sobre **tarifas de 2017**

al contratar seis ediciones:
638, 639, 640, 641, 642 y 643
para quienes contraten
antes del **23 de febrero de 2019**.

Además, un diseño de anuncio **sin costo**.

construccion@heliosmx.org

+ 52 (55) 29 76 12 22



Publicación oficial de la Cámara Mexicana
de la Industria de la Construcción



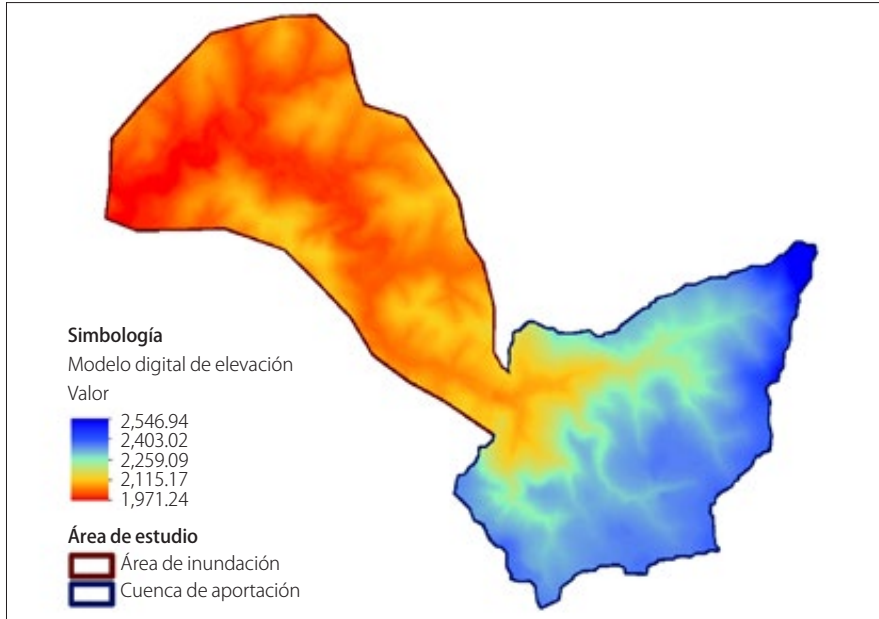


Figura 4. Mapa de áreas de estudio y MDE.

la página web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (<http://www.beta.inegi.org.mx>), de donde se descargaron datos de modelos digitales de elevación (MDE) LiDAR, con resolución de 5 m. Para la batimetría de la presa se reali-

zó una estimación para llegar al volumen que, según el Inventario de Presas de la Conagua, es de 70,000 m³; además se agregaron elevaciones de las manzanas del municipio para delimitar las calles en el MDE.

Información hidrometeorológica

En las Estaciones Sinópticas Meteorológicas del SMN está disponible la información hidrometeorológica, de donde se obtuvieron datos de la precipitación en las fechas de estudio (117 milímetros), en milímetros y con intervalos de 10 minutos.

Las pérdidas por infiltración se estimaron utilizando el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. Este método asigna números del 0 al 100 a cada tipo de suelo, según sus propiedades de permeabilidad o impermeabilidad. En este proceso se utilizó la información edafológica, de uso de suelo y vegetación del Inegi. Se definió un número de curva para la cuenca de aportación de 68.96, y de 84.82 para el área de inundación.

Rugosidad del terreno

El coeficiente de Manning sirve para estimar la resistencia al flujo. Para obtener el valor del coeficiente se establecieron 10 categorías según el tipo de suelo: áreas

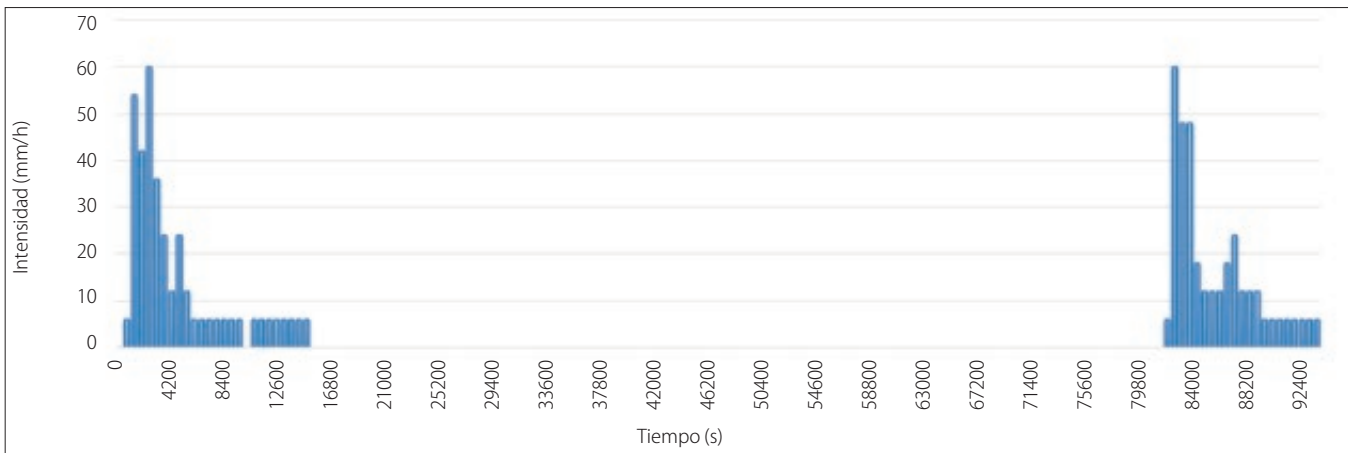


Figura 5. Hietograma de la lluvia del 13 y 14 de junio de 2018.

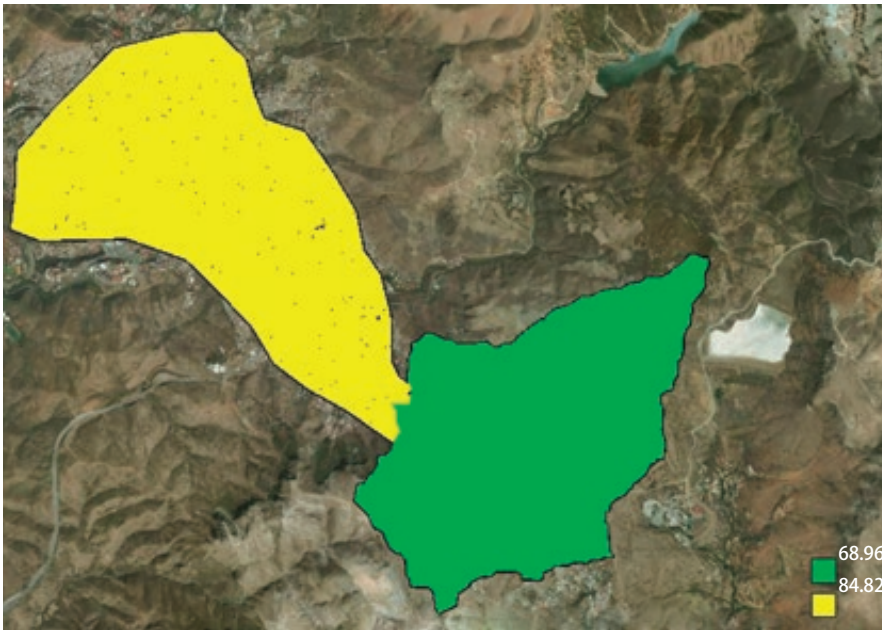


Figura 6. Mapa método del número de curva.

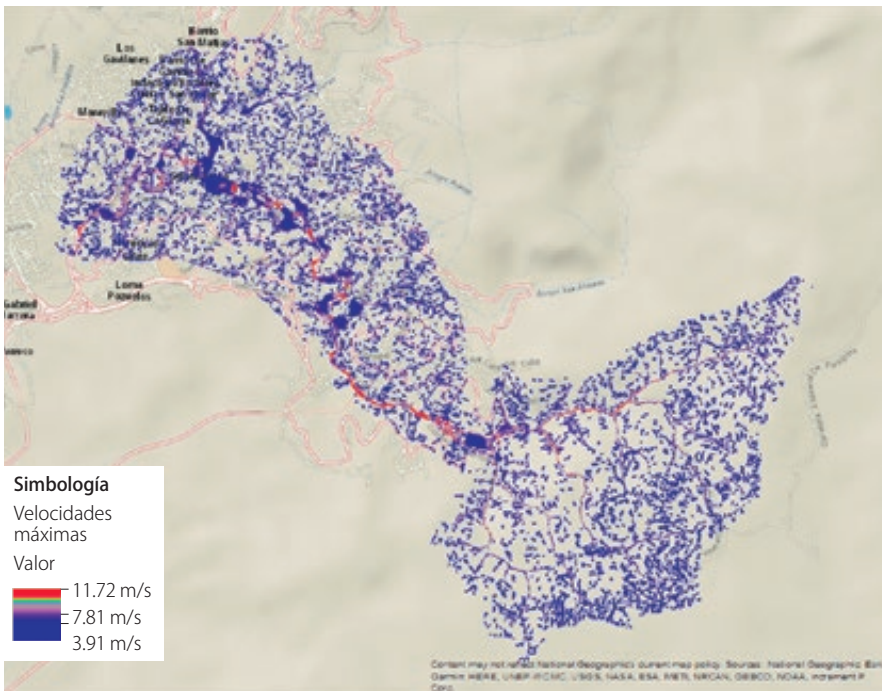


Figura 7. Mapa de velocidades máximas.

verdes, callejones, camino empedrado, camino pavimentado, camino de terracería, presa, zona urbana, bosque de encino, pastizal inducido y pastizal natural. Los valores para cada categoría se obtuvieron de las tablas de valores del coeficiente de rugosidad n proporcionadas por Chow (1994).

Modelo hidráulico

El modelo de simulación bidimensional utilizado lleva por nombre Iber. Es un *software* que simula el flujo libre en ríos o –en este caso– en calles; puede resolver hidrodinámica, turbulencia, transporte de sedimentos y procesos de calidad de agua, y es un programa de acceso libre que puede descargarse de internet.

Para el modelo de simulación se integró la geometría de la zona de estudio, se delimitaron sus superficies y cada una de éstas se caracterizó con su infiltración y rugosidad; se agregó un hietograma de 26 horas en un intervalo de 10 minutos. Para las condiciones iniciales se estableció un bordo libre de medio metro. Además, se generó una malla no estructurada

Tabla 1. Criterios involucrados en la construcción de mapas de riesgo por inundación

Parámetro hidráulico	Tirante	Velocidad
Criterio	m	m/s
España	1.00	1.00
Témez, 1992	1.00	1.00

Fuente: Alcocer Yamanaka, s/f.

La Presa de la Olla comenzó a construirse en 1741, con el objetivo de abastecer de agua potable a la población. Según el Inventario de Presas de la Conagua, la presa se ubica en la región hidrológica Lerma-Santiago, su cortina es de tipo contrafuerte y el material es calicanto con cimentación de roca. Fue de utilidad para abastecer agua a la población hasta el año 1894; actualmente se utiliza con fines recreativos.

de 20 × 20 m. Para el cálculo de resultados se estableció un tiempo máximo de simulación de dos días, con un intervalo de 1,000 segundos. El tiempo computacional aproximado que llevó el proceso fue de 7 horas.

Resultados

El modelo de simulación permite visualizar el cambio de las velocidades y de los tirantes conforme avanza el tiempo; señala velocidades de hasta 12 m/s y tirantes de más de un metro en algunas zonas.

Posteriormente se analizaron tres calles en ciertos puntos específicos, su velocidad y su tirante en determinado momento. Hay criterios que señalan los tirantes y velocidades máximas que pueden presentarse en una inundación sin provocar vulnerabilidad en la población. Se consideraron el criterio de España y el

de Témex, los cuales señalan como máximo 1 m de tirante y 1 m/s de velocidad (véase tabla 1).

En la tabla 2 puede observarse la comparación entre los criterios mencionados y los resultados obtenidos de la simulación. Dos de las tres calles no cumplen con los criterios de seguridad, sobre todo por las velocidades altas que se presentan en ellas.

Conclusiones

La topografía de la ciudad de Guanajuato es un factor muy importante que provoca velocidades altas del agua en las calles, lo que las vuelve poco seguras para el tránsito tanto de la población como de vehículos; por lo anterior, se requiere un programa de mitigación de daños ante eventos de lluvia que pudieran provocar inundaciones y el desbordamiento de la presa.

Respecto a los tirantes, el promedio de las tres calles analizadas es de 62 cm, que, aunque no excede el límite de seguridad sí podría provocar pérdidas económicas.

Actualmente se trabaja en un escenario hipotético donde se rompa la presa, para conocer la vulnerabilidad de la población de Guanajuato ◀

Agradecimientos

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por la oportunidad de participar en el programa de becas para mis prácticas profesionales y por los valiosos conocimientos brindados para el desarrollo de este proyecto.
A la Universidad de Guanajuato, que me ha apoyado desde el inicio de mi carrera, por las oportunidades brindadas, el apoyo en mis proyectos y por permitirme formar parte de la institución a la que estoy orgullosa de pertenecer.

Referencias

Alcocer Yamanaka, V. (s/f). Construcción de mapas de riesgo de inundación en ríos en la zona del Soconusco. Disponible en: https://imta.gob.mx/potamologia/images/stories/ponencias_tercer_seminario/seminario/victor_alcocer/mapasriesgosdeinundacion.pdf
Chow, Ven Te (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.
Comisión Nacional del Agua, Conagua. Inventario Nacional de Presas. Disponible en: <https://presas.conagua.gob.mx/inventario>
G. y González, Joaquín (1905). *La inundación de Guanajuato*. León: Imprenta de J. Rodríguez e Hijo.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/default.html>
Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Inafed (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/index.html>
Servicio Meteorológico Nacional, SMN. Estaciones Meteorológicas Automáticas. Disponibles en: <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>

Tabla 2. Análisis del cumplimiento de criterios

Parámetro hidráulico (calle)	Tiempo del evento (h:m)	Tirante (m)	Velocidad (m/s)
1. Paseo de la Presa	24:10	0.53	8.27
2. Avenida Juárez	33:37	0.77	4.7
3. Embajadoras	42:46	0.56	0.18

2,163,949

visitas en línea a las publicaciones que editamos.

heliosmx.org

 /HeliosComunica

 @HeliosComunica



HELIOS
COMUNICACIÓN

Más de 30 años de experiencia produciendo libros
y revistas para profesionales.

helios@heliosmx.org • 2976 1222

Acuíferos transfronterizos México-EUA

Condiciones, retos
y propuestas

Por su complejidad, la administración de las aguas subterráneas transfronterizas trasciende los límites hidrogeológicos; en su carácter multidimensional abarca las condiciones sociales, políticas, económicas y culturales. En vez de una simple dimensión física, una compleja mezcla de intereses y condiciones diferencian un acuífero de otro y le aportan un valor único y medible: su carácter de transfronterizo. Este enfoque proporciona opciones para el estudio y la evaluación que hasta el día de hoy habían estado limitados a condiciones físicas, y ofrece un esquema de priorización de las unidades hidrogeológicas para el desarrollo de alternativas de administración del recurso y evaluación de sistemas de gobernanza.

El estudio más reciente sobre acuíferos compartidos entre México y Estados Unidos apunta que hay, potencialmente, 36 acuíferos que cruzan la frontera entre ambos países (Sanchez *et al.*, 2016); sin embargo, solamente de algunos se tiene información suficiente para confirmar sus condiciones hidrogeológicas transfronterizas. Estudios aun más recientes ratifican la existencia de al menos 15 unidades hidrogeológicas que atraviesan la frontera entre México y Texas, y por lo menos la mitad de ellas tienen condiciones de buenas a moderadas en la calidad del acuífero y del agua (véase figura 1).

Los retos en materia de control, monitoreo y administración de los acuíferos compartidos en la frontera norte de México son tan amplios y complejos como la cantidad de información técnica que se desconoce: flujos locales y regionales, cantidad y calidad de agua, uso y manejo, nivel de dependencia, conectividad entre agua superficial y subterránea, y protección de ecosistemas dependientes de agua subterránea son sólo

**ROSARIO SÁNCHEZ FLORES**

Investigadora principal del Programa Evaluación de Acuíferos Transfronterizos entre México y Estados Unidos.



Figura 1. Unidades hidrogeológicas transfronterizas entre México y Texas.

algunas de las cuestiones por conocer, y esta realidad es válida para ambos lados de la frontera.

No existen esfuerzos binacionales para atender el rezago en investigación y atención de las condiciones transfronterizas, excepto el Programa de Evaluación de Acuíferos Transfronterizos (TAAP, por sus siglas en inglés), financiado por el gobierno federal de Estados Unidos en la última década y que incluye sólo cuatro acuíferos (Mesilla Bolson/Conejos-Medanos, Hueco-Bolson/Valle de Juárez, entre Chihuahua y Texas, y San Pedro/San Pedro y Santa Cruz/Santa Cruz entre Sonora y Arizona), y la Minuta 242 de 1976, que concierne al límite en las extracciones del acuífero de Yuma/San Luis Río Colorado.

Si bien la escasez de información sobre este tema existe en ambos lados de la frontera, no se trata de un problema exclusivo de México y Estados Unidos. En el mundo sólo existen cuatro casos de acuíferos que se han abordado en su carácter transfronterizo en distintos niveles: el nivel más avanzado de administración conjunta lo representa el acuífero genovés, compartido por Suiza

y Francia y que efectivamente cuenta con un sistema de administración, control y monitoreo desde una perspectiva binacional. Otro caso es el del acuífero Al-Sag/Al-Disi entre Jordania y Arabia Saudita, países que han establecido límites en la extracción y control de la contaminación; por último, los acuíferos Piedra Arenisca y Sahara Noroeste, que cuentan con regímenes comunes limitados a compartir información.

En cuanto al marco jurídico internacional existente relativo a aguas subterráneas compartidas, éste se circunscribe al Borrador de la Ley Internacional de Acuíferos Transfronterizos y a los principios aplicables a aguas subterráneas de la Convención de Aguas de Naciones Unidas de 1997, que entró en vigor hace un par de años. Aparte de estos instrumentos y los esfuerzos mencionados, no hay acuerdo internacional sobre criterios, metodologías, principios, prioridades o

esquemas de evaluación y cooperación entre países que comparten aguas subterráneas. De hecho, el TAAP y la Minuta 242 podrían considerarse de los pocos esfuerzos documentados con carácter internacional.

No obstante la carencia de marcos regulatorios tanto internacionales como binacionales, de información confiable y robusta y de investigación y atención que permita una evaluación seria de las condiciones de los acuíferos de la frontera norte de nuestro país, el agua en esa región se explota y se usa indiscriminadamente, sin consideración de las posibles afectaciones al otro lado de la frontera. Esta realidad se sustenta en límites jurisdiccionales y en diferencias abismales en los sistemas de gobernanza institucional entre los actores, que han convertido a dicha región y sus condiciones hidrogeológicas en una bomba de tiempo, a la vez que en una mina de oro y en objeto de una abierta complicidad donde la negligencia pareciera ser lo acordado por ambos países en favor y en detrimento de ellos mismos.

La transfronterización y la nueva condición ordinaria

El agua subterránea es el recurso natural más explotado en el mundo (Eckstein, 2017). Se estima que aproximadamente 40% de la población mundial depende del agua extraída de acuíferos transfronterizos. En el caso de los acuíferos entre México y Estados Unidos, el grado de dependencia del agua subterránea varía por región y acuífero; sin embargo, en ambas cuencas internacionales (las de los ríos Bravo y Colorado) los derechos de agua superficial (en el lado de Estados Unidos) o concesiones (como se les conoce en el lado mexicano) han llegado a su límite y, de hecho, la disminución en las proporciones asignadas tanto a países como a usuarios ha sido significativa en los últimos 10 años.

Los impactos del cambio climático, las sequías permanentes, el crecimiento de la población fronteriza por arriba de las medias nacionales, el detrimento de la calidad de agua y la falta de planeación hidrourbana, así como los deficientes sistemas de gestión y administración del agua (con sus marcadas excepciones) han puesto al descubierto los límites de la disponibilidad de agua superficial en la región y al mismo tiempo han aumentado la presión sobre el agua subterránea. Sin embargo, esta última no está contemplada en las especificaciones del Tratado de Límites y Aguas de 1944 entre México y Estados Unidos, a diferencia del agua superficial, que de conformidad con dicho documento es regulada y monitoreada binacionalmente por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). De igual forma, la administración del agua subterránea se aborda de forma limitada en la Ley de Aguas Nacionales mexicana, y en Estados Unidos, particularmente en Texas, es considerada propiedad privada.

Tal complejidad de regímenes institucionales a la que está sujeta el agua subterránea en todos los sentidos ponen en ries-

go a los mantos acuíferos compartidos, que son y serán las nuevas fuentes inmediatas de agua en la región, por lo que resulta urgente su atención.

Adicionalmente, el Tratado de 1944 considera la posibilidad de ajustar las proporciones de agua de los ríos internacionales asignadas a ambos países ante una "sequía extraordinaria", pero sin especificar el término. Tomando en cuenta las condiciones actuales de las cuencas compartidas, la tendencia a la reducción de la precipitación, el flujo histórico medio proveniente del deshielo aguas arriba en las montañas de Colorado y el aumento de la temperatura, las sequías se han vuelto una condición ordinaria en la cual cada año ambos países deben ajustar sus proporciones dependiendo de la disponibilidad de agua en las presas internacionales, no sin antes pasar por negociaciones y reclamos permanentes de ambos lados, a veces no muy amistosos, por no poder cumplir con las proporciones acordadas hace más de 70 años.

Estudios recientes muestran que la complejidad de la administración de aguas subterráneas transfronterizas trasciende los límites hidrogeológicos y expande las fronteras físicas de los acuíferos para abarcar las dimensiones social, política, económica y cultural; esta compleja mezcla de intereses y condiciones diferencia un acuífero de otro y le aporta un valor único y medible. A este valor se le conoce como el nivel de transfronterización de un acuífero (Sánchez y Eckstein, 2017). Este valor es una herramienta para medir tanto el nivel de transfronterización de un acuífero como su respectiva priorización de acuerdo con dicho nivel, considerando elementos de análisis que abordan los límites de los acuíferos de una forma más holística e integral, independientemente de los límites geológicos. En la figura 2 se muestran los resultados de la priorización realizada de los acuíferos compartidos entre México y Texas.

No existen esfuerzos binacionales para atender el rezago en investigación y atención de las condiciones transfronterizas, excepto el Programa de Evaluación de Acuíferos Transfronterizos, financiado por el gobierno federal de Estados Unidos en la última década y que incluye sólo cuatro acuíferos (Mesilla Bolson/Conejos-Medanos, Hueco-Bolson/Valle de Juárez, entre Chihuahua y Texas, y San Pedro/San Pedro y Santa Cruz/Santa Cruz entre Sonora y Arizona), y la Minuta 242 de 1976, que concierne al límite en las extracciones del acuífero de Yuma/San Luis Río Colorado.

El enfoque ofrece alternativas para el estudio y la evaluación de los acuíferos transfronterizos que hasta el día de hoy habían estado limitados a condiciones físicas, desconocidas en muchos casos. Los criterios propuestos por la transfronterización incluyen, además de consideraciones hidrogeológicas, condiciones económico-sociales, como población y grado de dependencia del recurso subterráneo, y políticas, como el grado de cooperación entre usuarios, además de los temas de la agenda binacional que se hacen presentes en el ámbito local o regional y el nivel de investigación e información relativa al acuífero compartido. Este análisis ofrece un nivel de priorización o atención de ambos países que ubica a los acuíferos en alto, medio o bajo grado de transfronterización para efectos de estudio y atención.

Hacia el futuro

De acuerdo con estudios recientes, urge atender el rezago en el estudio e investigación de las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos transfronterizos en la frontera entre México y Estados Unidos: su uso, gestión, gobernanza y expectativas de sostenibilidad hacia el futuro (Sánchez *et al.*, 2018), al igual que es necesaria la corresponsabilidad de ambos países. La falta de un marco legal aplicable convierte a estas urgencias en una laguna gris que pocos atienden o consideran prioritaria; no obstante, el simple reconocimiento de ese hueco físico y legal ha permitido



que poco a poco el interés en el tema haya ido creciendo y empiece a tomar un lugar importante en las opiniones de los actores involucrados.

Los acuerdos informales de alcance local (caso de Hueco Bolson/Valle de Juárez) también han tenido un papel importante en el reconocimiento de la necesidad de contar con un marco binacional, regional o local que aborde la complejidad y al mismo tiempo la especificidad de las condiciones de los acuíferos compartidos. De hecho, las experiencias documentadas en el plano binacional (Eckstein, 2012) demuestran que los acuerdos informales (caso del tratamiento de aguas entre Nogales en Arizona y Nogales en Sonora) de corte local, aunque enfocados en solucionar un problema de calidad de agua superficial, han resultado ser más exitosos y efectivos en

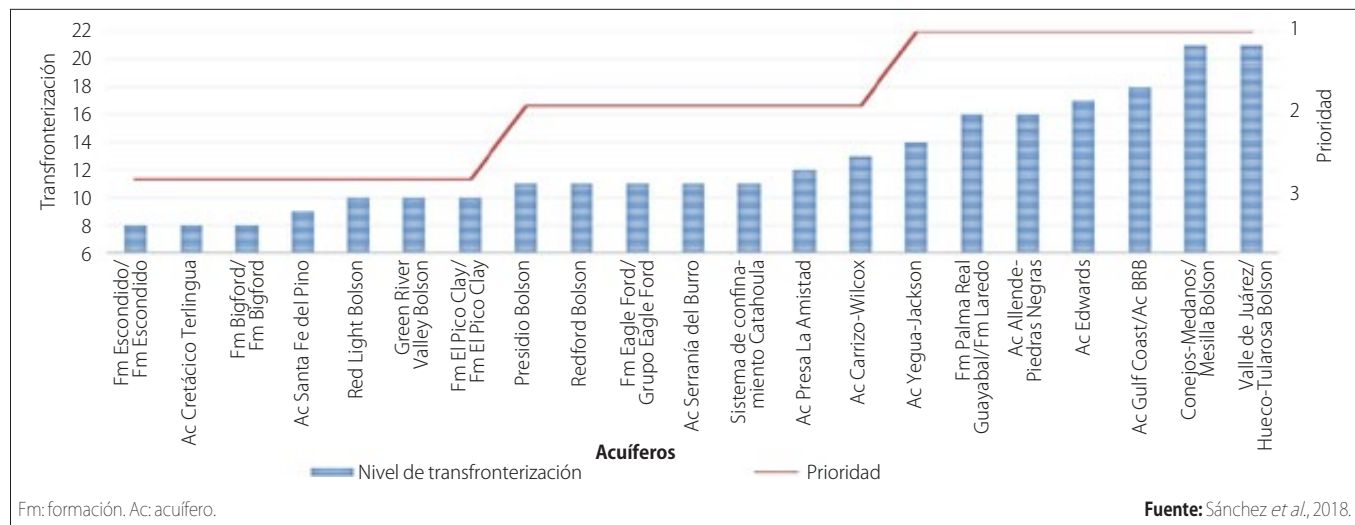


Figura 2. Priorización de unidades hidrogeológicas entre México y Texas de acuerdo con su nivel de transfronterización.

el corto plazo como estrategias de cooperación binacional que los acuerdos macro de carácter federal, los cuales, a pesar de que su impacto puede ser más sistémico, resultan menos factibles de alcanzar.

El interés manifiesto de la CILA en servir como facilitador y enlace entre los esfuerzos de cooperación hasta hoy esporádicos pero crecientes en importancia e impacto ponen en la mesa tanto la necesidad como la disponibilidad de ambos países de escuchar y proponer ideas con las que podría comenzar a delimitarse un camino factible para los usuarios de aguas subterráneas y para la sustentabilidad de los acuíferos. Es imprescindible la voluntad de las instituciones de ambos lados de la frontera para que lo anterior pueda funcionar.

La escala, el alcance y la forma de los esfuerzos futuros deberán ajustarse a las necesidades locales y generales de ambos

países, e indiscutiblemente requerirán ajustes en los marcos institucionales y legales de ambos lados de la frontera, elemento clave que hasta hoy ha limitado los esfuerzos a temas de calidad de agua relacionados de manera directa con el agua superficial ◀

Referencias

- Eckstein, G. (2012). Rethinking transboundary ground water resources management: A local approach along the Mexico-US border. *Georgetown International Environmental Law Review* 25(1): 95-128.
- Eckstein, G. (2017). *The international law of transboundary groundwater resources*. Routledge.
- Sánchez, R., y G. Eckstein (2017). Aquifers shared between Mexico and the United States: Management perspectives and their transboundary nature. *Ground Water* 55(4): 495-505.
- Sánchez, R., V. López y G. Eckstein (2016). Identifying and characterizing transboundary aquifers along the Mexico-US border: An initial assessment. *Journal of Hydrology* 535: 101-119.
- Sánchez, R., L. Rodríguez y C. Tortajada (2018). The transboundary approach and prioritization of transboundary aquifers between Mexico and Texas. *Ambio* 47(7): 760-770.

Modelación Hidráulica del Sistema de Drenaje del Valle de México



MULTIESTUDIOS GRUPO ASOCIADO, S.A. DE C.V. (MEGA)

MEGA surge en 1990 con el firme propósito de tener una participación activa dentro de la ingeniería hidráulica. Con el paso del tiempo se ha consolidado y ha ampliado sus servicios a otras áreas de la ingeniería.

Tenemos experiencia en:

- Diagnóstico integral y programas hídricos de diferentes regiones hidrológicas del país.
- Proyectos de abastecimiento de agua potable, sectorización y estudios de apoyo a organismos operadores.
- Proyectos ejecutivos para el equipamiento de pozos y plantas de bombeo en diversos puntos de México.
- Estudios y proyectos de alcantarillado sanitario y saneamiento, pluviales o hidrológicos.
- Estudios y proyectos de control de inundaciones y rectificación de ríos.
- Peritaje en ingeniería hidráulica.
- Supervisión técnica y financiera, control de obra.

Ing. Héctor Francisco Fernández Esparza,
Director General

hectorferes@yahoo.com

(55) 5536-3511, (55) 5687-4148, (55) 5536-2877, (55) 1107-6373
Insurgentes Sur 594-401, colonia Del Valle, CP 03100, Ciudad de México
megaproinfo@yahoo.com.mx



Sistemas de recirculación de agua

Existe un potencial significativo de desarrollo mediante la eficiencia de la pesca y la tecnificación de los sistemas de producción acuícola. En nuestro país ya se tienen experiencias de éxito y en curso sobre proyectos de acuíponía, como el ejecutado en el campus Hidalgo del Tecnológico de Monterrey.



RIGOBERTO ENGENG UGALDE

Profesor de cátedra del Departamento de Ciencias del campus Hidalgo, Tec de Monterrey.

Datos recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO *et al*, 2018) siguen indicando un aumento del hambre mundial en los últimos años. Se estima que el número absoluto de personas subalimentadas en el planeta ha pasado de alrededor de 804 millones en el año 2016 a casi 821 millones en 2017 –aproximadamente, una de cada nueve personas en todo el mundo–. Esta tendencia transmite una señal clara de advertencia, y si no se redoblan los esfuerzos, no se alcanzará el Objetivo de Desarrollo Sostenible de erradicar el hambre hacia 2030.

Uno de los esfuerzos globales que se están realizando para erradicar el hambre es hacer eficiente la pesca y desarrollar técnicamente los sistemas de producción acuícola. En 2016, la producción de la pesca de captura mundial fue de 90.9 millones de toneladas; la producción acuícola fue de 80 millones de toneladas de pescado comestible y 30.1 millones de toneladas de plantas acuáticas, de un total que ascendió a 110.2 millones de toneladas (FAO, 2018).

En el caso particular de México, la acuicultura tiene una tasa media anual de crecimiento de 15%, y una producción histórica, en 2016, de 337,018 t, que representan el 22% de la actividad pesquera del país (Conapesca, 2017). Por tal motivo, el Tecnológico de Monterrey está trabajando para que en la acuicultura en

► Investigación

Sistemas de recirculación de agua

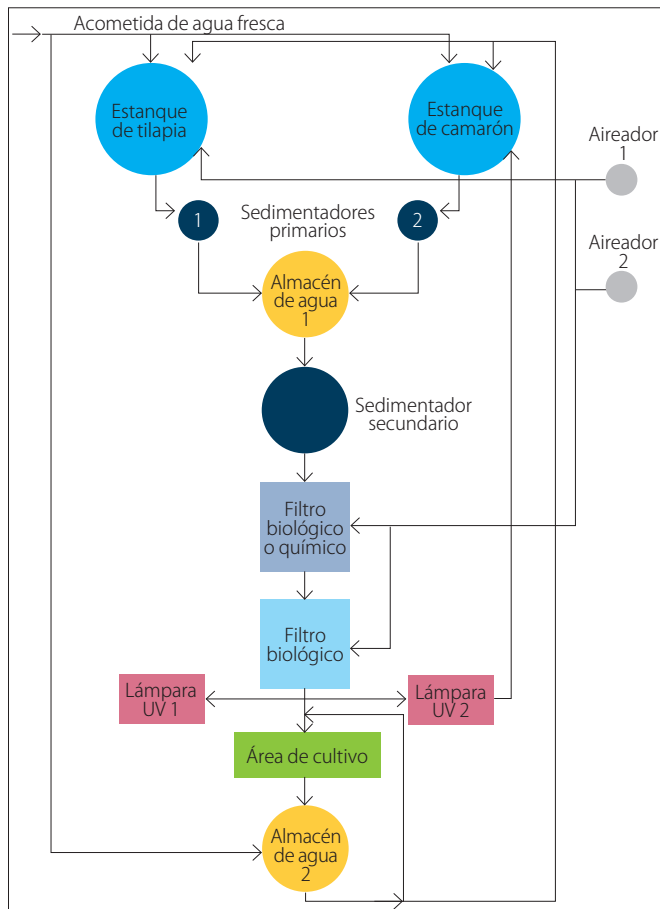


Figura 1. Sistema de acuaponía desarrollado.

nuestro país se integren modelos sustentables de producción que influyan en las siguientes acciones:

- Programas de administración y recirculación de agua
- Uso de fuentes alternas de energía
- Implementación de tecnologías de información y sensores remotos
- Manejo integral de especies acuícolas
- Producción de alimentos balanceados de calidad

Proceso de desarrollo de los sistemas

El desarrollo de los sistemas de recirculación de agua (SRA) en el campus Hidalgo comenzó en 2005, al colaborar con la Secretaría de Agricultura del estado en el proyecto de cultivo de camarón blanco del Pacífico en agua dulce. Este trabajo estableció las bases para el cultivo de dicha especie en el estado de Hidalgo. El campus participó con los estudios de calidad de agua del cultivo durante el proyecto. Debido a los resultados obtenidos, se ganó el premio Rómulo Garza a la Investigación y Desarrollo

2006 que otorga el Tec de Monterrey cada año en su congreso de investigación.

Luego de ese reconocimiento, se desarrollaron los procedimientos para ofrecer a los productores acuícolas del estado la posibilidad de evaluar y dimensionar SRA. Esta iniciativa se logró con el apoyo del Programa de Servicio Social Comunitario de la institución educativa. De tal manera, se involucró a alumnos de las carreras profesionales del campus en la investigación y presentación de propuestas tecnológicas a los productores que se inscribieron en este programa de 2009 a 2011.

En 2013 se entabló relación con dos empresas mexicanas y con la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco para el desarrollo, fabricación, instalación y operación de sistemas de acuaponía o acuíponía (véase figura 1). Estos equipos operan en las comunidades de Villa de Carbón, Polotitlán, Tecámac y Lerma de Villada, en el Estado de México.

La acuíponía es una integración simbiótica de dos disciplinas maduras de la producción de alimentos: 1) la acuicultura, práctica de la cría de peces, y 2) los sistemas hidropónicos, el cultivo de plantas en el agua sin suelo. La acuíponía las combina dentro de un sistema cerrado de recirculación. Este sistema filtra el efluente rico en elementos nutritivos a través de un sustrato inerte que contiene plantas; en él, las bacterias metabolizan los desechos de los peces, las plantas asimilan los nutrientes resultantes y el agua purificada vuelve a los acuarios. De esta manera se obtienen productos de valor añadido, como pescado y hortalizas, y una menor contaminación de nutrientes en las cuencas hidrográficas (FAO, 2016).



Figura 2. Vista general de la EA cvi.

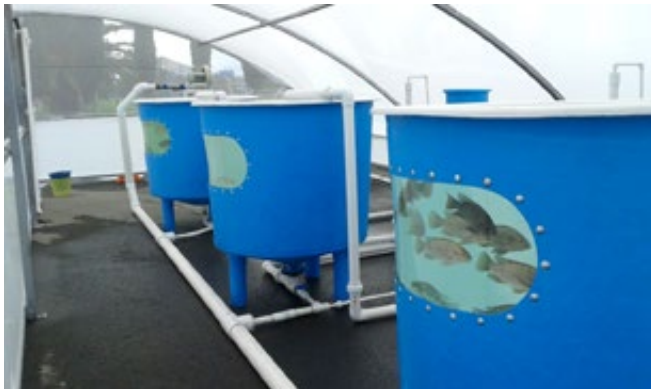


Figura 3. Vista interior de la EA cvi.



Figura 4. Alumnas trabajando en la EA cvi.

En 2014 surgió un modelo de SRA pensado para ser usado en el campus Hidalgo como herramienta de aprendizaje vivencial en un espacio innovador. Esta propuesta se presentó en el Programa Novus del Tec de Monterrey, que financia propuestas innovadoras de procesos de enseñanza-aprendizaje. Así, en 2015 se obtuvieron los recursos económicos para la construcción y operación del proyecto titulado “Estación de aprendizaje de la ciencia y la vida (EA cvi)”. Desde entonces este sistema innovador es usado por los alumnos del campus Hidalgo (véanse figuras 2, 3 y 4).

Con la operación de los proyectos en el Estado de México y de la estación de aprendizaje en el campus Hidalgo, se participó en la convocatoria del 47° Congreso de Investigación y Desarrollo del Tec de Monterrey. “Recirculación de agua para la producción de alimentos” fue seleccionado en 2016, con otras

seis propuestas, como uno de los proyectos de esa institución que están transformando a México. Puede verse un video sobre la iniciativa en la dirección <https://www.youtube.com/watch?v=UhqU5gwXCo8>

Gracias a este reconocimiento de talla nacional, a finales de 2017 se recibió la invitación de maestros del Departamento de Ciencia Ambiental y Tecnología de la Universidad de Maryland, Estados Unidos, para presentar un proyecto conjunto y participar en la convocatoria UMD-Tec Award Seed Grants for International Research Collaborations, que tiene como objetivo apoyar económicamente propuestas de investigación entre ambas universidades. Se presentó el proyecto “Comparison of using sensors for real-time monitoring of aquaponics systems in developing and developed countries”, que fue seleccionado –con otras cuatro propuestas– para recibir financiamiento durante el periodo 2018-2019 (UMD, 2018).

Proyectos futuros

Para el año 2019 se tiene programado continuar con el proyecto de uso de sensores en acuaponía con Maryland. Por otra invitación de la UMD, se está preparando una propuesta para participar en la convocatoria Innovations at the Nexus of Food, Energy and Water Systems de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos, y también se participará junto con la UMD en la convocatoria US Aid & Development Innovation Ventures Annual Program Statement. Por tal motivo, estas propuestas de desarrollo tecnológico para reducir la brecha de falta de alimentos en nuestro país seguirán adelante durante el presente año ◀

Referencias

- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Conapesca (2017). Anuario estadístico de acuicultura y pesca. Mazatlán.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma.
- FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS (2018). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma.
- University of Maryland (2018). UMD and Tecnológico de Monterrey award seed grants for international research collaborations. Division of Research. Disponible en: https://research.umd.edu/news/news_story.php?id=11108

La economía circular en las ciudades

La economía circular es un nuevo paradigma socioeconómico que propone un giro hacia una economía restauradora y regenerativa. Aunque no exista una definición comúnmente aceptada de ella, su supuesto básico es el reconocimiento de los residuos como recurso.



ORIANA ROMANO

Coordinadora del Programa de Ciudades y Economía Circular de la OCDE.



NATALIA ALTMAN

Consultora en la División de Ciudades, Políticas Urbanas y Desarrollo Sostenible de la OCDE.

El interés creciente por la economía circular se debe a tres factores. En primer lugar, las restricciones de acceso a los recursos, ya que la economía actual es derrochadora y no deja suficientes recursos para la población actual y futura. En segundo lugar, el desarrollo tecnológico, porque la innovación digital hace que la economía circular sea más atractiva y viable para las empresas. Por último, las oportunidades socioeconómicas que emergen de transitar desde un enfoque lineal de “tomar, fabricar y desechar” a un sistema circular (Lacy y Rutqvist, 2015). En concreto, se estima un potencial de hasta

4.5 billones de dólares para el crecimiento económico hacia 2030 (Accenture, 2015). Sin embargo, este potencial aún debe ser desbloqueado, ya que hoy en día menos del 10% de la economía mundial es circular (Circle Economy, 2018).

La economía circular ha ganado popularidad como una manera de abordar muchos de los problemas a los que se enfrenta el mundo hoy en día y que afectan de manera considerable a las ciudades, incluyendo el crecimiento de la población, el agotamiento de los recursos y el aumento de la contaminación. De hecho, se estima que para 2050, la población global alcanzará los 9 mil millones de personas y el 60% de éstas vivirá en ciuda-



greentec.com

des (ONU, 2016). Por tanto, es necesario repensar el papel que podrían desempeñar las ciudades en el tránsito hacia modelos de producción y consumo más sostenibles para hacer frente a la demanda y garantizar la disponibilidad y calidad de los recursos naturales, incluyendo el agua.

Además, la economía circular está cobrando impulso como medio para apoyar e impulsar la agenda mundial. Como tal, ha estado recibiendo cada vez más atención por parte de los gobiernos de distintos niveles administrativos y de los sectores público, privado y sin fines de lucro. Además, al promover un replanteamiento de los modelos empresariales consistente en fomentar un consumo más responsable de recursos naturales, el enfoque de la economía circular es un vehículo interesante de aplicación del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12, el cual propugna unas pautas de consumo y producción más sostenibles y responsables, junto con el ODS 6 (agua), así como el 7 (energía), 11 (ciudades y comunidades sostenibles), 13 (acción por el clima) y 15 (vida de ecosistemas terrestres).

En este marco, las ciudades pueden ser promotoras, facilitadoras y habilitadoras de estrategias de economía circular; pueden identificar prioridades, promover proyectos concretos e involucrar a varias partes interesadas en la implementación de la economía circular. Las ciudades también pueden facilitar el intercambio de información entre las empresas, los ciudadanos y distintos niveles de gobierno. Finalmente, pueden ser habilitadoras al proporcionar las condiciones marco para que se produzca la economía circular, incluyendo la creación de

incentivos fiscales, brindar infraestructura de calidad, catalizar fondos y promover la comunicación y la educación.

El potencial de la economía circular puede destaparse si se dan las condiciones económicas y de gobernanza. Las soluciones técnicas actuales no son suficientes, ya que es necesario prestar atención al contexto político para poner en práctica estas soluciones, y para ello hay que definir quién hace qué, por qué, cómo y en qué nivel. En otras palabras, hay que pensar en la gobernanza de la economía circular. El enfoque de la economía circular requiere un replanteamiento del conjunto de los modelos de gobernanza, incluyendo las normas y leyes, los incentivos financieros, y los nuevos conocimientos y capacidades que hay que fomentar, así como de los modelos económicos y empresariales, con el fin de lograr un cambio de comportamiento en las pautas de producción y consumo.

De hecho, la gobernanza de la economía circular es un medio para lograr un fin: crear incentivos legales y financieros, estimular la innovación técnica, social e institucional, y generar información en forma de datos, conocimientos y capacidades para proyectos, programas y estrategias circulares basados en enfoques multisectoriales y de múltiples partes interesadas.

Oportunidades para la economía circular en América Latina

La economía circular puede constituir una respuesta para algunos desafíos característicos de la región de América Latina y el Caribe (ALC), donde la tasa de urbanización supera el 75%, una de las más altas del mundo comparada con un promedio mundial de 50%; en más de 60% de los países de esta región la cantidad de residuos generados por habitante en las zonas urbanas está en aumento (Nicolai *et al.*, 2016).

La región es conocida por la abundancia de sus recursos naturales –por ejemplo, reúne el 33% de las reservas de agua dulce globales–, pero también por la distribución desigual y la falta de gestión integral de recursos y desechos (Arroyo, 2017; Sáez *et al.*, 2014; Banco Mundial, 2012). Utilizar enfoques sistémicos en la elaboración de políticas y la prestación de servicios es clave para una gestión sostenible de los recursos naturales, así como para lograr tener un impacto social y en la economía. La variedad de actores, sectores y objetivos hace que la economía circular sea sistémica por naturaleza y por

El potencial de la economía circular puede destaparse si se dan las condiciones económicas y de gobernanza. Las soluciones técnicas actuales no son suficientes, ya que es necesario prestar atención al contexto político para poner en práctica estas soluciones, y para ello hay que definir quién hace qué, por qué, cómo y en qué nivel. En otras palabras, hay que pensar en la gobernanza de la economía circular.



tanto puede ser un impulso para implementar los ODS de manera coordinada.

La economía circular es un tema todavía incipiente en los países de ALC. Promover una economía circular, inclusiva y baja en carbono es uno de los objetivos de la Estrategia de Resiliencia de la ciudad de Río de Janeiro lanzada en 2016.

Por otro lado, en Chile el Ministerio de Medio Ambiente ha desarrollado la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento del Reciclaje, enfocada en la gestión de los residuos por parte de los productores. Además, este mismo ministerio, en colaboración con el de Economía y Fomento y con la Corporación de Fomento de la Producción, también está propiciando un ambiente de innovación a través del Programa Prototipos de Innovación en Economía Circular, conjuntando este programa con el desarrollo de instrumentos regulatorios que permitan aprovechar los residuos orgánicos, los de la construcción y los

industriales. Por último, existe también una iniciativa nacional para la puesta en marcha del Pacto de los Plásticos, que permitirá empezar la transición hacia la economía circular aplicada a estos materiales (Benson Wallen, 2018).

En Argentina, una de las primeras iniciativas de economía circular surgió en el ámbito local a través del programa Buenos Aires Produce más Limpio. Por otra parte, las provincias y municipios han empezado a desarrollar Planes Estratégicos de Gestión Integral de Residuos, lo que permitirá alcanzar los objetivos fijados en la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

En Colombia, además del establecimiento de la responsabilidad extendida del productor, orientada a gestionar los impactos ambientales de los productos hasta el final de su vida útil, existe un Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos que promueve la recuperación y reducción de residuos. Además,

la Resolución 1407 de 2018 fomenta el aprovechamiento, la innovación y el ecodiseño de los envases que se ponen en el mercado.

En 2017, Uruguay acogió el primer foro de economía circular de ALC, que desembocó en varios proyectos como el lanzamiento del componente de Economía Circular del programa PAGE Uruguay (Alianza para la Acción hacia una Economía Verde), cuyo objetivo es propiciar el uso eficiente de los recursos y la creación de empleos verdes.

En el sector del agua, conseguir cerrar el círculo del consumo y promover prácticas de economía circular puede ayudar a mejorar el medio ambiente y al mismo tiempo aumentar las áreas de negocio. A excepción de Panamá, Costa Rica, Ecuador, Surinam y Uruguay, la región se enfrentará a situaciones de escasez económica de agua en 2025 (Saltiel *et al.*, 2016). Gestionar el agua de manera circular implica un uso más sostenible y una mayor interrelación con otros sectores como energía, industria y agricultura. Por ejemplo, la gestión de lodos puede permitir la generación de energía y la recuperación de una amplia variedad de sustancias, y reducir tanto los residuos generados como los costos.

¿Cómo puede contribuir la OCDE?

La OCDE lanzó recientemente un Programa sobre la Economía y la Gobernanza de la Economía Circular en las Ciudades. El programa surge al reconocer ampliamente en la práctica el papel clave de las ciudades como promotoras, facilitadoras y habilitadoras de las estrategias de la economía circular, aunque la investigación y los marcos de políticas se encuentran en su mayoría en escala nacional. Existe poca evidencia y pocos incentivos para involucrar dinámicas similares en el plano subnacional, o para ampliar o reproducir experimentos y proyectos piloto



desde la escala local hacia la nacional. Este programa tiene por objeto contribuir a cerrar esta brecha y apoyar a las ciudades en la identificación de los retos económicos y de gobernanza, así como en la búsqueda de soluciones políticas que contribuyan a la transición hacia la economía circular, de manera eficiente, eficaz e inclusiva.

El sector del agua tiene un papel clave en la economía circular. Por ejemplo, promoviendo proyectos de ecoinnovación para reutilizar el agua, la energía y reciclar materiales, o llevando a cabo prácticas para reducir el uso de agua en la producción de energía, alimentos y productos industriales. Sin embargo, la transición a la economía circular no es sólo una cuestión técnica, sino de gobernanza: la existencia de capacidades, incentivos financieros y marcos regulatorios adecuados permiten el desarrollo y la puesta en marcha de iniciativas de economía circular.

El análisis de los retos y oportunidades para fomentar la economía circular contaría con la utilización de los Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE (2018) como marco de evaluación. Los principios se basan en tres dimensiones de la gobernanza del agua:

El sector del agua tiene un papel clave en la economía circular. Por ejemplo, promoviendo proyectos de ecoinnovación para reutilizar el agua, la energía y reciclar materiales, o llevando a cabo prácticas para reducir el uso de agua en la producción de energía, alimentos y productos industriales. Sin embargo, la transición a la economía circular no es sólo una cuestión técnica, sino de gobernanza: la existencia de capacidades, incentivos financieros y marcos regulatorios adecuados permiten el desarrollo y la puesta en marcha de iniciativas de economía circular.

Basándose en el principio de que “lo que no se mide no se puede mejorar”, los técnicos de la administración pública y responsables políticos necesitan disponer de una base sólida de datos e información para tomar decisiones. Este programa tiene como objetivo desarrollar un marco de indicadores para identificar el grado de “circularidad” de una ciudad. También prestará apoyo a los responsables de la toma de decisiones con un marco de herramientas de monitoreo, evaluación y análisis para implementar la economía circular en escala urbana.

1. Efectividad. Definición e implementación de las metas y objetivos sostenibles de las políticas del agua en todos los niveles de gobierno.
2. Eficiencia. Maximizar los beneficios de la gestión, al menor costo.
3. Confianza y participación. Contribución de la gobernanza en la creación de confianza y en garantizar la inclusión de los actores.

En este contexto, el principio 3 de la OCDE tiene especial relevancia, ya que enfatiza la necesidad de una coordinación transversal: “Fomentar la coherencia de políticas a través de la coordinación transversal eficaz, especialmente entre políticas de agua y medio ambiente, salud, energía, agricultura, industria, y planeamiento y ordenación del territorio.”

De hecho, el programa podría prestar apoyo a las ciudades para incorporar el concepto de economía circular en sus políticas de tres maneras, a través de la medición, el aprendizaje y el compartir experiencias.

Basándose en el principio de que “lo que no se mide no se puede mejorar”, los técnicos de la administración pública y responsables políticos necesitan disponer de una base sólida de datos e información para tomar decisiones. Este programa tiene como objetivo desarrollar un marco de indicadores para identificar el grado de “circularidad” de una ciudad. También prestará apoyo a los responsables de la toma de decisiones con un marco de herramientas de monitoreo, evaluación y análisis con el fin de asegurar la coherencia de las políticas, incentivos y marcos regulatorios para implementar la economía circular en escala urbana.

No existe una solución única para todas las ciudades, pero tampoco se trata de “reinventar la rueda” una y otra vez. Por

esta razón, el aprendizaje es la clave para buscar soluciones adaptadas al contexto local. La OCDE implementará en cada ciudad que decida participar en el programa un proceso de consulta iterativo e inclusivo con múltiples partes interesadas de diferentes niveles, con objeto de crear consenso sobre el diagnóstico, las recomendaciones y el plan de acción para la aplicación de las estrategias de economía circular.

Finalmente, la tercera acción clave consiste en compartir experiencias e información. Las ciudades se beneficiarán de una orientación neutral sobre sus políticas para hacer avanzar su programa de economía circular, y de un aprendizaje entre pares de ciudades que se enfrentan a retos semejantes, así como con autoridades en el ámbito nacional ◀

Referencias

- Accenture (2015). Waste to wealth: Creating advantage in a circular economy. Arroyo, V. (31 de julio de 2017). La paradoja de la escasez de agua en América Latina/ CAF. Consultado en: <https://www.caf.com/es/conocimiento/blog/2017/07/la-paradoja-de-la-escasez-de-agua-en-america-latina/>
- Banco Mundial (2012). Gestión integral de aguas urbanas. Washington.
- Benson Wallen, C. (20 de enero de 2018). WEF launches partnerships on circular economy, oceans, skills development. Consultado en: <http://sdg.iisd.org/news/wef-launches-partnerships-on-circular-economy-oceans-skills-development/>
- Circle Economy (2018). The circularity gap report. Disponible en: https://docs.wixstatic.com/ugd/ad6e59_733a71635ad946bc9902dbdc52217018.pdf
- Lacy, P., y P. Rutqvist (2015). *Waste to wealth: The circular economy advantage*. Palgrave MacMillan.
- Nicolai, S., T. Bhatkal, C. Hoy y T. Aedy (2016). Proyecciones sobre el progreso: los ODS en América Latina y el Caribe. Londres: Overseas Development Institute.
- Organización de las Naciones Unidas, ONU (2016). The world's cities in 2016. Data Booklet. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (2018). Implementing the OECD principles on water governance. París. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264292659-en>
- Sáez, A., G. Urdaneta y A. Johení (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia* 20(3): 121-135. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- Saltiel, G., V. Arroyo y G. Sturzenegger (29 de agosto de 2016). ¿Qué significa una economía circular en el sector del agua para América Latina? Únase al debate en Estocolmo. Voces. Perspectivas del desarrollo. Banco Mundial. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/voices/es/que-significa-una-economia-circular-en-el-sector-del-agua-para-america-latina-unase-al-debate>

Migraciones por inseguridad hídrica

Es difícil hablar de migración provocada exclusivamente por la falta de agua. Este factor, tan determinante como pueda ser, se presenta a menudo en conjunto con otros. En países poco desarrollados, la decisión de migrar en un contexto de escasez hídrica a menudo es resultado de circunstancias ambientales (variabilidad de las lluvias, sequía, desertificación, salinización) combinadas con factores humanos (insostenibilidad en el manejo de la tierra y el agua); incluso en ocasiones el motivo para migrar es la mera necesidad de sobrevivir.

La Organización Internacional para la Migración (IOM, por sus siglas en inglés) estimó el número de migrantes internacionales en todo el mundo en 258 millones para el año 2015, lo que equivalía a 3.3% de la población mundial, sin mencionar siquiera a los migrantes intranacionales.

Los flujos migratorios a menudo están ligados a la escasez de recursos naturales; en consecuencia, la importancia de administrar dichos recursos es cada vez más reconocida en los debates sobre migración. Con ello, la gobernanza del agua está siendo considerada de peso en muchas políticas regionales, nacionales e internacionales sobre este fenómeno demográfico. Al mismo tiempo, desde 2012 el Informe Global de Riesgos del Foro Económico Mundial clasifica las crisis hídricas entre los riesgos globales de mayor seriedad.

Históricamente, muchas comunidades en el mundo se han ajustado a las fuentes estacionales de agua, migrando cuando era necesario. Más cerca en el tiempo, numerosos pueblos pastoriles nómadas, que siempre se han movido en virtud de las temporadas y los recursos hídricos asociados a éstas, se han

visto forzados a cambiar sus rutas, viajar más lejos y durante más tiempo ante los cambios climáticos y las sequías; esto a su vez ha llegado a propiciar conflictos por el agua.

La OIM identifica el estrés hídrico como uno de los factores clave de la migración en las partes oriental y occidental de Asia, con base en investigaciones sobre Irak, Bangladesh, las Maldivas y Nepal. Otra fuente, la Matriz de Rastreo de Desplazamientos (DTM, por sus siglas en inglés), está demostrando los impactos migratorios de las sequías severas en algunas zonas de África. La DTM indica que más de 475 mil personas tuvieron que migrar dentro de Etiopía en diciembre de 2017; más de 1.2 millones en Somalia migraron de noviembre de 2016 a noviembre de 2017, y más de 14 mil en Madagascar en noviembre de 2017; todos estos movimientos tuvieron como influencia, en diferentes grados, la necesidad de dejar sitios con baja seguridad hídrica.

Según el Instituto Mundial del Agua, hacia 2017 alrededor de 700 millones de personas en 43 países padecían escasez hídrica. Al mismo tiempo, dos terceras partes de la población global vivían en áreas en las que la escasez de agua se presentaba por lo menos durante un mes cada año. En el contexto



internacional, las poblaciones más grandes sin acceso al agua se encuentran en el norte de África y en la porción subsahariana, el Oriente medio, el centro y sureste de Asia, Centroamérica y en regiones occidentales de América del Sur.

La mayoría de las personas que se desplazan debido a la inseguridad hídrica buscan las fuentes más cercanas a su lugar de origen, y las migraciones relacionadas con el agua tienden a ser nacionales o regionales, puesto que quienes no tienen los medios para acceder localmente al recurso rara vez los tendrán para ir más allá de su región. Sin embargo, como se verá, ya que es en los países en desarrollo donde suele concentrarse esta problemática, los movimientos migratorios internos están comenzando a rebasar –o ya lo hicieron– la capacidad de resiliencia de sus respectivos gobiernos, y con ello los flujos alcanzan cada vez mayores distancias y sobrepasan las fronteras nacionales.

El factor hídrico

Es difícil hablar de migración provocada exclusivamente por la falta de agua. Este factor, tan determinante como pueda ser, se presenta a menudo en conjunto con otros. En países poco

desarrollados, la decisión de migrar en un contexto de escasez hídrica a menudo es resultado de circunstancias ambientales (variabilidad de las lluvias, sequía, desertificación, salinización) combinadas con factores humanos (insostenibilidad en el manejo de la tierra y el agua); incluso en ocasiones el motivo para migrar es la mera necesidad de sobrevivir.

En islas del Pacífico tales como Fiji, Samoa y Tonga, el cambio y la degradación ambientales se cuentan entre las circunstancias que llevan a muchos habitantes a emigrar. El aumento en el nivel del mar, la intrusión salina y la sequía son algunos factores importantes que influyen en la decisión de las personas de migrar en dicha región, tanto nacional como internacionalmente. En este contexto, también han surgido discusiones sobre la necesidad de reubicación planificada de grupos y comunidades.

Algunas fuentes mencionan que el cambio climático, en la medida en que reformule la disponibilidad de agua dulce, tendrá un efecto de cascada sobre el bienestar y la producción alimentaria, y afectará principalmente a las comunidades cuyo ingreso está altamente determinado por los patrones locales de lluvia. Mediante un estudio de 2016, la NASA encontró que la

► El agua en el mundo

*Migraciones por
inseguridad hídrica*

actual sequía que comenzó en 1998 en la región mediterránea oriental del Levante, y que comprende a Chipre, Israel, Jordania, Líbano, Palestina, Siria y Turquía, es al parecer la más acentuada de los últimos nueve siglos.

Se sabe que ante la escasez en Irán, muchos habitantes de comunidades rurales las dejan para ir a trabajar y vivir en zonas con más agua. En Irak, aunado a este tipo de estrés hídrico, hay personas que se han unido a las filas militares del Estado Islámico para poder comprar agua con los ingresos que eso les representa.

Como se dijo, aunque gran parte de la migración como respuesta a la baja disponibilidad de agua es intranacional, la sequía también contribuye a la migración transfronteriza. Por ejemplo, Yemen, a pesar de una situación interna de guerra y sufrir al mismo tiempo el flujo de poblaciones por la sequía, también se ha convertido en un país de tránsito para personas provenientes del Cuerno de África que buscan llegar a países más ricos del golfo o de otras latitudes, y esto a su vez ha impuesto mayor estrés sobre sus propios recursos.

En un estudio reciente (noviembre de 2018) sobre Libia se menciona que unas 798 mil personas requieren asistencia humanitaria, de las cuales 412 mil son refugiados y migrantes; esta última cifra incluye personas que llegaron al país africano a trabajar y otras que buscan llegar hasta Europa desde costas africanas. En las poblaciones costeras de Zwara, Misrata, Ejdabia y Tobruk, así como en el centro geográfico del país en Sebha, un tercio de los refugiados y migrantes entrevistados declararon llevar un mes sin acceso a agua potable suficiente; asimismo, una mayoría de ellos informó que no había recibido ayuda humanitaria en Libia en los seis meses previos. Los entrevistados provenían principalmente de África oriental, pero también de África occidental, Oriente medio y otras partes del norte de África.

Quizá el caso más ilustrativo sea el de Siria. Diversos estudios han enfatizado el papel que tuvo la severa sequía en disparar una marcada migración interna de las zonas rurales a las urbanas, lo cual a su vez generó tensiones sociales y políticas que derivaron en la guerra civil. Ésta, por su parte, creó una crisis masiva de refugiados por la que más de 5 millones de sirios huyeron a países vecinos y a Europa. En suma, aunque es difícil desligar el factor sequía de otros causantes de conflictos semejantes, algunos análisis realizados en años recientes postulan

que sin duda contribuye a exacerbar otras causas de conflicto por los recursos y, al mismo tiempo, a incrementar los flujos de refugiados.

Anantapur, un distrito agrícola en India, ha sido víctima durante años consecutivos de sequía con consecuencias devastadoras. Los granjeros, después de años sin alcanzar la producción necesaria y endeudándose con las instituciones financieras, finalmente están dándose por vencidos y emigrando a otras zonas de la nación asiática para emplearse como obreros o en cualquier ocupación posible. La situación ha provocado numerosos suicidios de agricultores. En esa y otras zonas rurales, donde ya no es sostenible dedicarse al campo y los jóvenes son enviados a las ciudades a estudiar otras profesiones, la población está lentamente volviéndose muy vieja para trabajar y muy joven para ir a la escuela. Se generan ya manifestaciones sociales con el fin de que las autoridades intervengan con acciones específicas para mitigar las migraciones del campo a la ciudad.

En Libia, en general, el acceso al agua potable y su suministro se ha vuelto más complicado en tiempos recientes. Esto se atribuye a las menores precipitaciones, a la falta de regulación en la perforación de pozos y a la destrucción de infraestructura. En este caso, al igual que en el de Irán, queda claro que aunque los flujos migratorios suelen responder en buena medida a la búsqueda de seguridad hídrica, dichos movimientos no siempre se dirigen a un destino con la mayor de las disponibilidades de agua. Mazandaran, en Irán, una de las zonas con mayor llegada de migrantes nacionales, ahora ya experimenta problemas con el suministro del líquido. Lo mismo sucede en Jordania ante la llegada de migrantes sirios. En Irak, cada vez es más claro que con la migración interna, la disponibilidad se está dificultando y pronto quienes llegan buscando asegurarse el recurso tendrán que rebasar las fronteras nacionales.

Todo lo anterior se relaciona con otro problema que cada vez es más atribuido a la migración. Junto con la búsqueda de mayor seguridad hídrica, el fenómeno inverso –los efectos adversos de la migración en las fuentes de agua– es cada vez más discutido. La OIM comenta un estudio sobre cómo se referían los medios de comunicación a los refugiados sirios, según se tratara de medios de países huéspedes (Líbano, Jordania, Egipto, Turquía) o no (Estados Unidos, Reino Unido, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos). El primer grupo utilizaba un

lenguaje que tendía a enfatizar la carga de los refugiados sobre las sociedades huéspedes y la presión que ponían sobre los servicios y los recursos.

Sin embargo, aunque no de manera generalizada, sí se reconoce también que las causas de la migración desde países pobres puede ser provocada por acciones adoptadas en otras naciones. En Oriente medio, por ejemplo, la construcción de infraestructuras aguas arriba de los principales afluentes lleva con el tiempo a la menor disponibilidad en regiones o países aguas abajo.

Un caso muy actual en América Latina es el de Raxruhá, una zona agrícola de Guatemala, donde se presentan problemas por la expansión industrializada de los cultivos de palma de aceite y caña de azúcar a partir de 2005. Esto ha intensificado conflictos por la tierra (cuya área es cada vez menor para los granjeros tradicionales), escasez de agua y disputas laborales. La población se ha visto en la necesidad de emigrar hacia México y Estados Unidos ante la pérdida de oportunidades en una actividad con salarios de por sí muy bajos.

Dónde comienza la solución

Aunque la relación casi siempre se percibe en términos negativos, la OIM menciona que también puede haber impactos positivos de poblaciones de refugiados en las comunidades. Un ejemplo es el desarrollo de programas de agua potable para refugiados, que han beneficiado también a comunidades cercanas que no tenían acceso a ese servicio. Otro caso es cuando las remesas de los migrantes son invertidas en financiar infraestructura y servicios de agua, drenaje, pequeñas presas y plantas de tratamiento en sus países de origen.

De acuerdo con la OIM, la diplomacia del agua puede ser una herramienta efectiva contra las raíces de la migración relacionada con la inseguridad hídrica. Por una parte, dicen, el respeto a los derechos de los migrantes contribuye a mantener la paz y la seguridad entre naciones en lo relativo al recurso agua; por otra, la adopción de leyes internas que gobiernen el manejo y la protección de recursos hídricos puede contribuir a eliminar o por lo menos a menguar las causas de migración relacionadas con el líquido.

Suele considerarse como el primer paso el que los gobiernos acepten la realidad de la migración por motivo de seguridad



hídrica y hallen métodos positivos y estratégicos de manejar los cambios demográficos, incluyendo el apoyo para la integración de los migrantes con la población local y con la gestión de los recursos. Asimismo, los gobiernos pueden adoptar medidas de tecnificación en el campo, mejorar su infraestructura hidráulica para evitar los desperdicios de agua y, en general, perseguir el desarrollo económico sostenible.

El agua como motivo de migración puede no ser del todo un factor colectivamente consciente. El migrante busca un lugar de residencia donde existan mejores condiciones de trabajo, económicas y de servicios en general, gracias a las cuales pueda asegurarse un mejor nivel de vida que en su lugar de origen. Por su parte, quizá la principal preocupación de las regiones a las que suelen llegar gran cantidad de migrantes en busca de dichos objetivos sea el desbalance que un aumento repentino de la población puede ocasionar en sus actuales circunstancias y en su planeación en diversos frentes: económico, político, ambiental.

Sin una previsión adecuada, en particular con respecto a los recursos hídricos, el aseguramiento de éstos, de por sí complicado, se dificulta aun más con la dimensión demográfica y migratoria; por lo contrario, con dicha planeación, los flujos de población en busca de una mejor calidad de vida –que representan una mayor fuerza de trabajo, por ejemplo– podrían emplearse en beneficio de la sustentabilidad ◀

Elaborado por Helios Comunicación con información de las siguientes fuentes:
https://publications.iom.int/system/files/pdf/wmr_2018_en.pdf
https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/impact_lby_so_refugees_and_migrants_access_to_food_wash_shelter_november_2018.pdf
<http://www.arabnews.com/node/1443881>
<https://www.thenewsminute.com/article/watch-how-years-drought-has-forced-people-anantapur-migrate-96012>
<http://www.fciv.org/downloads/WP8-Book-2017-08-31.pdf>
<https://www.aljazeera.com/news/2019/01/palm-oil-industry-expansion-spurs-guatemala-indigenous-migration-190122160154738.html>

Actualización profesional

Clean water using solar and wind:

Outside the power grid

Gustaf Olsson, IWA Publishing, 2019

En el mundo, una de cada siete personas carece del servicio de energía eléctrica en su hogar, y con ello, a menudo carece también de agua por bombeo eléctrico y de tecnología para purificar este recurso.



La generación solar fotovoltaica y la eólica prometen dos grandes beneficios en regiones remotas y áreas periurbanas del mundo: agua limpia y energía sostenible fuera de las redes eléctricas convencionales. Los sistemas de purificación de agua que no pertenecen a las redes eléctricas oficiales pueden diseñarse en cualquier escala, desde la doméstica hasta la comunitaria. El costo de la energía renovable es muy bajo y por lo tanto accesible incluso para la población más pobre.

La tesis de este libro es que las energías renovables prometen terminar con una era en la que la seguridad energética está fuertemente relacionada con la geopolítica. En ellas sólo se requiere un capital inicial, y su alimentación es gratuita. Con este tipo de energías no hay presión geopolítica, como sucede con los combustibles fósiles. En resumen, se pretende mostrar cómo la energía y el agua limpias son accesibles para todos y contribuyen a un mejor clima y una mejor calidad de vida ◀

Water resource management in five mexican states

Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Área de Innovación y Desarrollo, 2017

Los recursos hídricos son vitales para una industria agrícola robusta en cualquier nación. Para un país como México, una significativa parte de cuya economía doméstica está entrelazada con la agricultura, los volúmenes de agua y la logística adecuados son de particular importancia.

En este volumen, el autor repasa una amplia bibliografía con el fin de exponer el estado de las reservas hídricas de nuestro país. Con este propósito se hace las siguientes preguntas: ¿cuán efectivo es el manejo del agua en México? ¿Qué se necesita hacer para mejorarlo? ¿Qué papel desempeña la administración pública en esta evolución? ¿Cómo debe cambiar la gestión del agua para que puedan ocurrir las mejoras necesarias? Se recaba así evidencia de buenas prácticas y otras que necesitan ser modernizadas.

Los hallazgos de esta investigación apuntan a que en el ámbito nacional se han dado pasos benéficos en los años recientes, pero aún hay una gran inequidad entre regiones, y debe afrontarse este problema para que México pueda posicionarse entre las naciones agrícolas de vanguardia. Asimismo, se denota un país que todavía no encuentra la forma de coordinar e integrar internamente las mejores prácticas en la gestión del agua, lo cual debe modificarse o, de lo contrario, los problemas hídricos continuarán indefinidamente ◀



Alternative water supply systems

Fayyaz Ali Memon y Sarah Ward (Eds.), IWA Publishing, 2014

Ante las incertidumbres que generan el cambio climático y el crecimiento demográfico que se anticipa, en diferentes zonas del mundo y en



particular en las áreas urbanas se experimenta escasez de agua o bien inundaciones, y la seguridad en el suministro del vital líquido se convierte en un problema importante. De

ello se deriva una atención creciente a sistemas alternativos descentralizados de suministro de agua; sin embargo, mucha de la información sobre tales sistemas suele estar dispersa o se enfoca en el reúso de gran escala, con poca atención a las opciones de pequeña y mediana escala.

En este libro se reúnen diversas investigaciones sobre alternativas disponibles e innovadoras, y se comparten experiencias de una amplia gama de contextos de países en diferentes etapas de desarrollo.

Se cubren aspectos técnicos, sociales, financieros e institucionales asociados con los sistemas descentralizados de suministro de agua. Lo anterior incluye sistemas de reciclaje de aguas grises, cosecha de agua de lluvia y recuperación de agua mediante condensación, entre otros posibles modelos.

La información se organiza con el fin de facilitar una fácil comprensión de los temas, los cuales surgen de contextos reales de proyectos en áreas principalmente urbanas ◀

¿Pretende usted llegar y convencer con sus productos y servicios a quienes influyen y a quienes son tomadores de decisiones, tanto en el sector público como en el privado y el académico?

REVISTA



50%
de descuento

al contratar plan de 5 ediciones (22, 23, 24, 25 y 26). Sobre tarifas de 2013.

Además, pago en tres cuotas y diseño de un anuncio **sin costo** para quienes contraten antes del **15 de marzo de 2019**.

h2o@heliosmx.org • 01(55) 2976 1222

Termoeléctrica de Huexca, a consulta

Se realizará una consulta ciudadana en el estado de Morelos para determinar la puesta en operación de la termoeléctrica Huexca, en el municipio de Yecapixtla en esa entidad federativa. La consulta se aplicará de manera especial en los municipios por donde pasa un gasoducto para la operación de la terminal.

De acuerdo con la Presidencia de la República, de no construirse esa central, se perderían alrededor de 3 mil

millones de pesos al año, pero también reconoció que existe una inconformidad legítima y es por ello que el destino del proyecto se pondrá a consideración popular. Asimismo, señaló que la planta fortalecería a la Comisión Federal de Electricidad e incluiría obras de tratamiento de agua; además, se buscaría que el organismo dedicado al agua de la UNESCO certifique tal proceso de tratamiento ◀

Protegiendo al salmón del Ártico

En Maine, Estados Unidos, se realiza un proyecto científico para preservar algunas especies endémicas de peces que se encuentran en peligro, y que sólo habitan en lagos y estanques de dicho estado, en particular el salmón del Ártico.

El proceso, en el que se maneja el concepto de “ADN ambiental”, consiste en recolectar muestras de agua de los embalses donde se conoce que dichas especies habitan, y estudiar el ADN de las mudas de piel de esos y otros organismos.

Esa información es útil para que los estudiosos mantengan estables las poblaciones de salmón del Ártico, pues pueden conocerse las tendencias de las especies tanto animales como vegetales estudiadas así como de sus posibles predadores. Además, se trata de un método menos invasivo y más rápido que, por ejemplo, atrapar especímenes con redes, lo cual además llega a ser contraproducente al tratarse de peces con una población mermada y en peligro ◀

Ciudades que se enfrentan al “día cero”

Un estudio de gran escala sobre el abastecimiento de agua en diversas naciones reveló cuáles podrían ser las próximas ciudades del mundo en quedarse sin agua, es decir, llegar al llamado “día cero”. Algunos de los factores que se analizaron fueron el crecimiento demográfico, la urbanización, la tecnología implementada en el cuidado del agua, el uso que se le da a ésta, condiciones geográficas, políticas, ecológicas, entre otras.

Las urbes señaladas son: Tokio, Londres, Ciudad de México, Estambul, Moscú, Yakarta, El Cairo, Pekín, Bangalore y São Paulo. Esta última por una baja de 15% en sus reservas de agua para suministro urbano y hace alrededor de cuatro años estuvo en la misma situación que Ciudad del Cabo, Sudáfrica, donde tuvieron que adoptarse medidas drásticas para evitar el agotamiento de toda fuente hídrica ◀

Planta de tratamiento compacta

Un ingeniero australiano construyó una planta de tratamiento de agua dentro de cinco contenedores de productos y sólo una estructura portátil de concreto. Esto sucedió en Borroloola, un pequeño poblado con apenas mil habitantes donde dicha infraestructura era muy necesaria. Allí, la principal fuente del recurso es el agua subterránea, pero su explotación generó en los últimos tiempos daños al sistema de distribución y la contaminación cada vez mayor del volumen extraído con metales.

La planta incluye tren de procesamiento donde se reduce el nivel de corrosividad del agua mediante la corrección de pH, eliminación de CO₂, remineralización e inserción de gas de cloro. La fase de diseño de la planta se llevó a cabo en su totalidad utilizando modelado 3D, gracias a lo cual fue posible revisar y examinar cada fase del proyecto. El prototipo de planta compacta fue construido primero en la ciudad de Darwin y luego transportado a Borroloola en tren, donde fue armada y puesta en operación ◀

Marzo de 2019
20-23

II Foro Juvenil Hídrico Latinoamericano "Infraestructura en México y el mundo: visión con futuro"

Villahermosa, México
Capítulos estudiantiles de la Asociación Mexicana de Hidráulica
amh.org.mx/ii-foro-juvenil-hidrico-latinoamericano-infraestructura-en-mexico-y-el-mundo-vision-con-futuro

Marzo de 2019
28 y 29

4° Congreso Instituciones, Gobierno y Sociedad

Hermosillo, México
El Colegio de Sonora y otros
www.congresoigs.net

Abril de 2019
1-3

V Conferencia Latinoamericana de Saneamiento (Latinosan)

San José, Costa Rica
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
www.latinosan2019cr.com

Abril de 2019
3-5

Expo Internacional de Riego Sustentable

Querétaro, México
Irrigation Association
expointernacionalderiegosustentable.com

Mayo de 2019
7-10

WEF/IWA Residuals and Biosolids Conference 2019

Fort Lauderdale, EUA
The International Water Association y otros
www.wef.org/ResidualsBiosolids

Mayo de 2019
8-10

River Basin Management 2019

Alicante, España
Wessex Institute
www.wessex.ac.uk/conferences/2019/river-basin-management-2019

Mayo de 2019
15-17

**7° Congreso Internacional en Gestión del Agua en Minería y Procesos Industriales
3er Congreso Internacional de Agua en Procesos Industriales**

Santiago, Chile
Centre for Water in the Minerals Industry y Gecamin
gecamin.com/watercongress

Mayo de 2019
20-24

International Symposium on Managed Aquifer Recharge (ISMAR 10)

Madrid, España
Asociación Internacional de Hidrogeólogos y otros
www.ismar10.net

Septiembre de 2019
1-6

38th IAHR World Congress

Ciudad de Panamá
Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación Hidroambiental
iahrworldcongress.org

Septiembre de 2019
3-5

The Green Expo. Global Resources Environmental & Energy Network

Ciudad de México
Tarsus México
www.thegreenexpo.com.mx/2019/es

II Foro Juvenil Hídrico Latinoamericano "Infraestructura en México y el mundo: visión con futuro"

En 2015 se inició la conformación de los capítulos estudiantiles de la Asociación Mexicana de Hidráulica, los cuales representan a 64 instituciones de educación superior e integran a más de 4,680 miembros.

El II Foro Hídrico Juvenil, organizado por dichos capítulos estudiantiles, será un diálogo abierto y de alto nivel entre asistentes y ponentes nacionales e internacionales para contribuir a la formación y el desempeño de los jóvenes profesionistas en México, quienes enfrentarán grandes desafíos en hidráulica, entre ellos la construcción de infraestructura y el manejo de los recursos hídricos para lograr un aprovechamiento eficiente y sustentable del agua. El reto es encontrar una posición de liderazgo frente a los problemas hídricos de hoy y mañana.

El encuentro brindará la posibilidad de que autoridades en materia hídrica intercambien experiencias en torno al presente y futuro de la infraestructura, políticas y control del agua para garantizar el preciado líquido en cantidad y calidad para la población.



20-23 de marzo
Villahermosa, México
amh.org.mx/ii-foro-juvenil-hidrico-latinoamericano-infraestructura-en-mexico-y-el-mundo-vision-con-futuro
Contacto: codinaceamh@gmail.com

Arte/Cultura

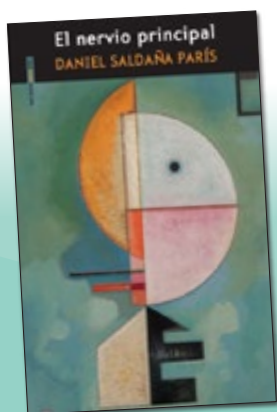
De la biblioteca

El nervio principal

Daniel Saldaña París, Sexto Piso, 2018

Un hombre de 33 años lleva un largo tiempo postrado en cama, sin salir de su departamento. Desde allí intenta recomponer su vida al escribirla, atando los recuerdos en torno al nudo que marcaría para siempre su existencia: la partida de su madre en el verano de 1994, cuando él era apenas un niño, para unirse al levantamiento zapatista que convulsionó a México.

La entonces misteriosa huida se ve agravada por el hermetismo de un padre torpe, que no sabe cómo lidiar con la responsabilidad de quedarse a cargo del protagonista y su hermana adolescente, y por las erráticas pesquisas que el niño emprende para desvelar los motivos de la madre. El abandono sume a éste en un angustiante mundo paralelo: buscará, sin mucho éxito, refugiarse en la realización compulsiva de figuras de origami y en una cápsula de luminosidad cero en la que se encierra durante largos ratos con la intención de borrar su existencia. Finalmente, con la ayuda de *el Rata* –delincuente juvenil en ciernes–, emprenderá un viaje iniciático más allá de

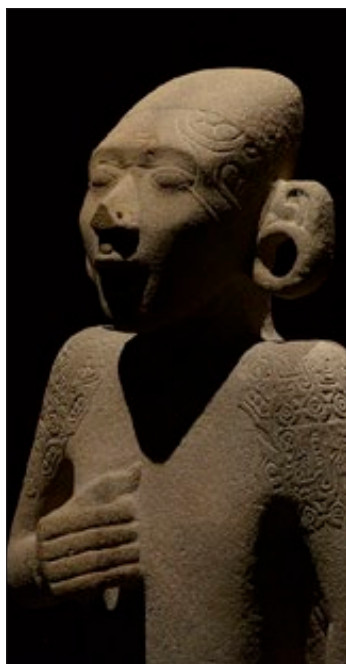


los confines de la colonia Educación para conocer el rostro de la crueldad gratuita, aunque también de la desinteresada amabilidad de los extraños.

Con *El nervio principal*, Daniel Saldaña París ha recreado con escalofriante exactitud la fantasmagoría de una infancia hipersensible, marcada por un evento que habrá de repetirse, distorsionado, en las volubles capas de la memoria del protagonista. Para ello se vale de una prosa elegante que construye, con delicadeza, la mirada compasiva que el narrador le dirige a ese niño con el que ya no guarda ningún vínculo más allá de una inquietante pulsión de simetría y el temor a descubrir la verdad de su pasado ◀

Daniel Saldaña París (Ciudad de México, 1984)

Poeta, ensayista, novelista y editor. Estudió filosofía en la Universidad Complutense de Madrid y fue secretario de la versión española de la revista *Letras Libres*. Su primer libro fue *Esa pura materia* (2008), poemario con el cual ganó el Premio Nacional de Poetas Jóvenes Jaime Reyes, otorgado por la UACM. La revista *Sada* y el *Bombón* lo consideró en 2014 como uno de los autores más importantes de la literatura mexicana contemporánea junto a Valeria Luiselli, Fernanda Melchor, Carlos Velázquez, Inti García Santamaría y Paula Abramo.



Exposiciones Golfo. Mosaico ancestral

En el marco del 80 aniversario del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y a 500 años del desembarco de los españoles en la costa de lo que hoy es Veracruz, se exhibe la riqueza de las culturas prehispánicas asentadas en la región del Golfo de México.

Integrada por más de mil piezas, la exposición *Golfo. Mosaico ancestral* es la primera gran muestra que ese recinto dedica a las culturas prehispánicas de esa línea costera. Lo olmeca, lo huasteco, lo totonaco, lo zoque y lo nahua se funden para mostrar la

riqueza de una región cultural, a través de distintas manifestaciones que incluyen la lengua y formas arquitectónicas, escultóricas y cerámicas.

El discurso lo articulan siete temas, a través de los que se revelan los aspectos que en mayor grado definen los alcances de los grupos humanos que poblaron el horizonte Preclásico. Los olmecas adquieren una dimensión distinta en esta exposición para ampliar la comprensión hacia una rica geografía ocupada no por una sino por diversas etnias ◀

Museo Nacional de Antropología
Paseo de la Reforma s/n, esq. Gandhi,
col. Polanco V sección, Ciudad de México
Martes a domingo, 9:00 a 19:00 h
Hasta el 28 de abril de 2019

Servicio más eficiente y sustentable



Reformas legales

- Programa de largo plazo de cumplimiento obligatorio por ley
- Indicadores sociales e institucionales con informes públicos anuales certificados por un ente externo
- Descentralización del Sacmex para fortalecer su capacidad técnica, administrativa y financiera



Eficiencia comercial

- Instalación de medidores
- Nuevo sistema informático



Tratamiento y reúso

- Dos plantas de tratamiento nuevas
- Cinco plantas de tratamiento por rehabilitar



Agua potable

- Telemetría y control
 - Pozos
 - Tanques
 - Redes primarias
 - Válvulas primarias
 - Compuertas de trifurcaciones
- Rescate del agua y eliminación de fugas
 - Sectorización
 - Renovación de tuberías y tomas
 - Control de presiones
- Potabilización
 - 22 plantas potabilizadoras nuevas
 - Siete plantas potabilizadoras por rehabilitar
- Nueva fuente (trabajo con Conagua)
 - Fuentes externas
 - Acuífero profundo



Drenaje

- Reposición de colectores dañados
 - Reparaciones con manga
 - Reparaciones convencionales
- Reposición de redes de atarjeas

Con una inversión estimada de **10 mil millones de pesos**, en 2018 el gobierno de la Ciudad de México se propone suministrar el **100%** de agua potable a todos los habitantes del Distrito Federal. Se construirán **22** plantas potabilizadoras, se rehabilitarán **7** y se instalarán **3,115 km** de tuberías para eliminar fugas, entre otras obras.

LA MEJOR OPCIÓN EN REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS

Con más de 70 años de experiencia en rehabilitación de tuberías y estructuras de drenaje, Contech provee soluciones estructurales permanentes, basadas en diseños probados sin tener que hacer excavaciones. En muchas aplicaciones las soluciones no comprometen la capacidad hidráulica existente. Nos especializamos en la evaluación y solución de rehabilitación de drenajes desde 30 cm de diámetro hasta estructuras de grandes dimensiones. ¿Los resultados? La solución correcta, que cumple con las necesidades de su proyecto - hecha con calidad, a tiempo y de bajo presupuesto.



Si, podemos hacer tubería desde dentro de la alcantarilla o pozo!