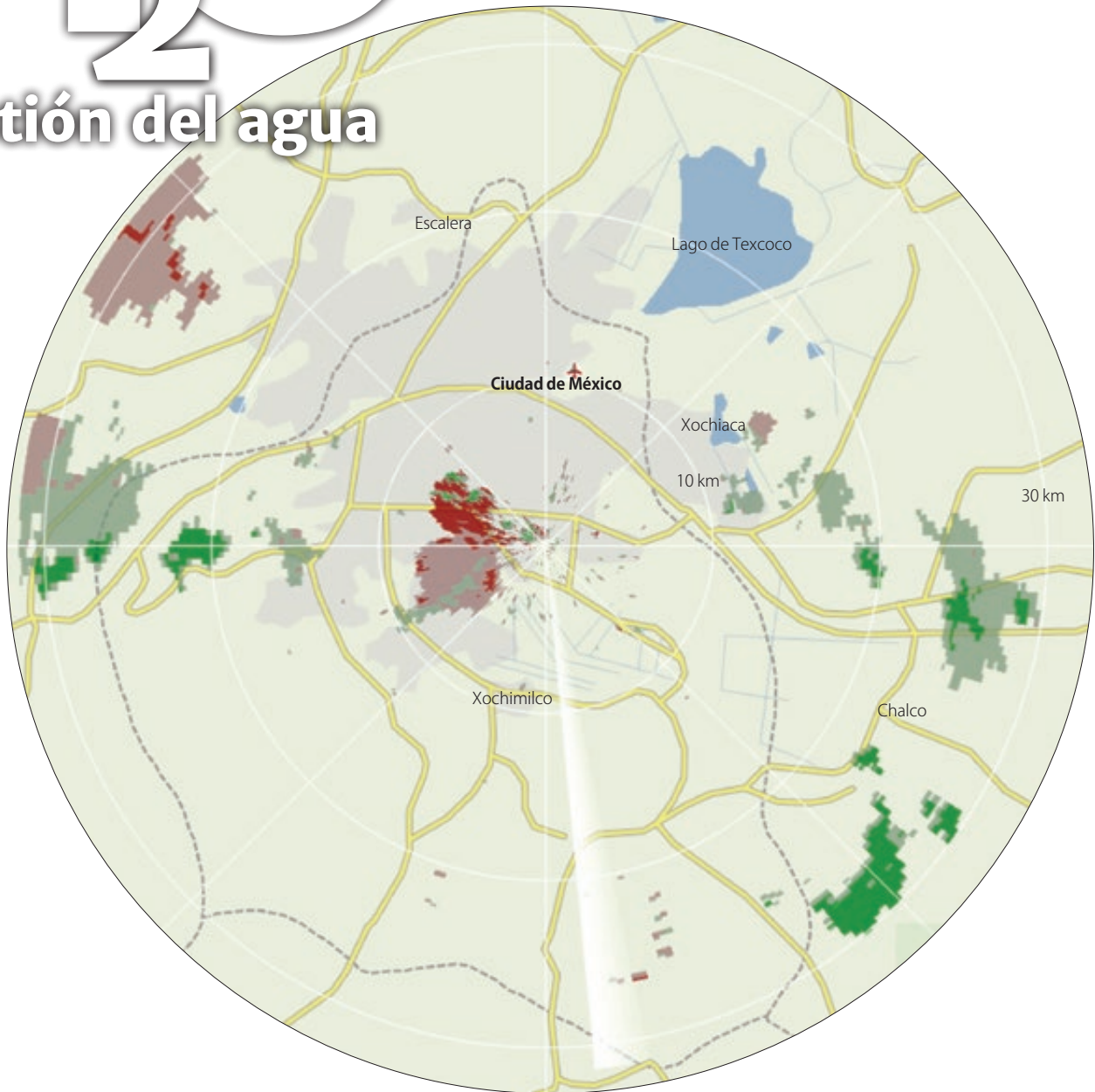


# H<sub>2</sub>O

## Gestión del agua



## El nuevo radar meteorológico de la CDMX

Invertir donde haya un retorno social más alto. Entrevista a **Jesús Reyes Heróles González Garza** | Proyecto de recarga artificial en San Luis Río Colorado. **Martín Humberto Hernández Aguilar** | El agua: régimen jurídico y derecho humano. **Anaid Velasco Ramírez** | Sistemas urbanos de drenaje sostenible. **Jomaelah Morales Rayo** | ¿Cómo funcionan las soluciones basadas en la naturaleza? **Helios**



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





CONSTRUCCIONES  
**Fypasa**



## PTAR de La Paz, Baja California

El 12 de junio de 2018, el presidente Enrique Peña Nieto inauguró la planta de tratamiento de aguas residuales y obras conexas de La Paz, Baja California, con una inversión de 470 millones de pesos, para tratar el 100% del caudal de aguas residuales que se producen en la ciudad. Con ello se eleva la cobertura de saneamiento de 66 a 98%, en beneficio de más de 300 mil habitantes y del medio ambiente.

La planta, diseñada para un caudal medio de 700 litros por segundo, cumple la norma NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga a embalses naturales o artificiales con uso públi-







co urbano, en tanto que los lodos residuales satisfarán la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos clase "C".

## Tratamiento del agua

### • Pretratamiento

Fosa de gruesos para retener basura de tamaño mayor y evitar interferencia en las unidades subsecuentes

Cribado de predesbaste

Tres cribas mecánicas de barras de desbaste grueso

Tres cribas para desbaste fino

Tres desarenadores mecánicos de flujo helicoidal tipo Vortex, con equipamiento auxiliar para desaguado de la arena removida

### • Tratamiento primario

Dos sedimentadores equipados con mecanismos de rastras de tracción central, para remoción de la fracción sedimentable de los sólidos suspendidos

### • Tratamiento secundario

Dos módulos de tratamiento biológico por lodos activados en dos fases para remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, en una seriación de reactores anaeróbicos, anóxicos y aeróbicos en primera fase, y anóxicos y aeróbicos en la segunda, complementados con dos

sedimentadores secundarios equipados con mecanismos de rastras de tracción central  
Desinfección con luz ultravioleta para eliminación de patógenos

## Tratamiento del lodo

- Espesamiento mecánico de lodos secundarios en tres mesas de banda
- Homogeneización en un tanque de mezcla de los lodos primarios concentrados en los sedimentadores respectivos y de los secundarios espesados
- Estabilización de lodos homogeneizados con dos digestores biológicos anaeróbicos con mezcla mecánica que operan a 37° Celsius
- El biogás que se produce alimenta las calderas que calientan el lodo de los digestores, y se regula en un tanque de almacenamiento de doble membrana

Para la disposición final del lodo estabilizado como desecho sólido, se integraron tres decantadoras centrífugas para el desaguado de los lodos, los cuales en principio se dispondrán en un predio anexo a la planta, pero podrán también reusarse en la agricultura y en el mejoramiento de suelos.





**Director General**  
Ramón Aguirre Díaz

**Director de  
Fortalecimiento Institucional**  
Miguel Ricaño Escobar

**Director Ejecutivo  
de Programación y Proyectos**  
Antonio Ramírez Baca

**Director de Sectorización  
y Automatización**  
José Ángel Ruiz Aparicio

**Director Ejecutivo  
de Construcción**  
Fernando Alonzo  
Ávila Luna

**Director Técnico**  
Mauricio Jaime  
Hernández García

**Director de Construcción**  
Carlos Jesús  
García Fernández Galicia

**Directora de Licitaciones  
de Obra Pública**  
Martha Patricia Mora Torres

**Director Ejecutivo de Operación**  
Alejandro Martínez Pérez

**Director de Agua Potable  
y Potabilización**  
Héctor Manuel Reyes Martínez

**Director de Drenaje,  
Tratamiento y Reúso**  
Miguel Carmona Suárez

**Director de Mantenimiento**  
Francisco J. Patiño Peña

**Director Ejecutivo  
de Servicios a Usuarios**  
Ernesto Blanco Sandoval

**Director de Tecnologías  
de la Información  
del Sistema Comercial**  
Gerardo Ortega Rodríguez

**Director de Verificación  
Delegacional y Conexiones**  
Gerardo Enrique  
González Rivero

**Directora Jurídica**  
María de Lourdes  
Gilbert Hidalgo

**Director General  
Administrativo**  
Leonardo Estrada García

**Director de Recursos Humanos**  
José Manuel Martínez Rosales

**Director de Recursos Materiales  
y Servicios Generales**  
Miguel Ángel  
Gutiérrez Acevedo

**Directora de Finanzas  
y Contabilidad**  
Fabiola Córdova Almaraz

# Contenido

- 4 TEMA DE PORTADA**  
El nuevo radar meteorológico  
de la CDMX  
*Michel Rosengaus Moshinsky*



- 12 ENTREVISTA**  
Invertir donde haya  
un retorno social más alto  
*Jesús Reyes Heróles  
González Garza*

- 18 PLANEACIÓN**  
Discusión necesaria para  
un futuro sostenible  
*Roberto Olivares*



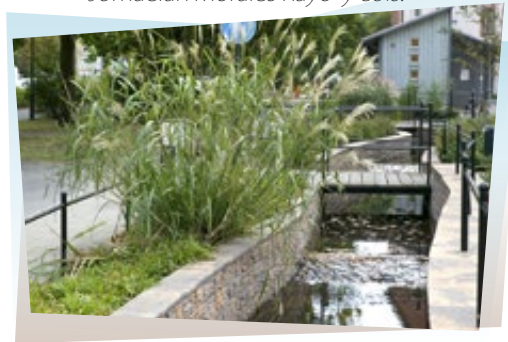
- 22 SUSTENTABILIDAD**  
Proyecto de recarga artificial  
en San Luis Río Colorado  
*Martín Humberto Hernández  
Aguilar y cols.*

- 28 CAMBIO CLIMÁTICO**  
Zonas periurbanas  
con riesgo de sequía  
*Gloria Soto Montes de Oca  
y Miriam Alfie Cohen*

- 34 TRATAMIENTO**  
Depuración con humedales  
artificiales en ciudades  
*Víctor Manuel Luna Pabello  
e Imelda M. Morales Ferrero*

- 42 LEGISLACIÓN**  
El agua: régimen jurídico  
y derecho humano  
*Anaid Velasco Ramírez*

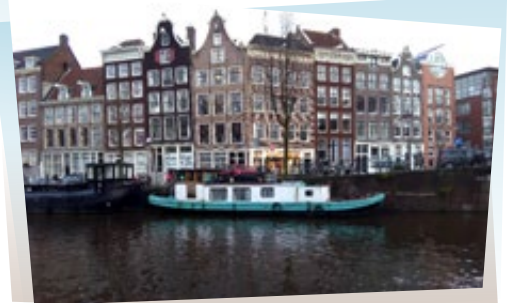
- 46 OPERACIÓN**  
Sistemas urbanos de drenaje  
sostenible  
*Jomaelah Morales Rayo y cols.*



- 52 GESTIÓN**  
La respuesta está en la naturaleza  
*Helios*

- 60**  
¿Cómo funcionan las SBN?  
*Helios*

- 68 EL AGUA EN EL MUNDO**  
La adaptación espacial de los Países Bajos  
*Raquel Vargas Lara*



- 74 ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL  
BREVES  
76 CALENDARIO  
78 ARTE/CULTURA  
80**





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

Julio-Septiembre 2018  
Portada: **Sacmex**

**Director General**  
Ramón Aguirre Díaz

**Consejo Editorial**  
Luis Eduardo de Ávila Rueda  
Alfonso Camarena Larriva  
Fernando González Villarreal  
Luis Manuel Guerra Garduño  
César Herrera Toledo  
Humberto Marengo Mogollón  
Alejandro Martínez Pérez  
Adalberto Noyola Robles  
Roberto Olivares  
César Octavio Ramos Valdés  
Luis Robledo Cabello  
Emiliano Rodríguez Briceño

**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**  
Diego Meza Segura  
Marco Antonio Cárdenas Méndez

**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 *H<sub>2</sub>O Gestión del agua* como fuente. Para todo asunto relacionado con *H<sub>2</sub>O Gestión del agua*, dirigirse a [h2o@heliosmx.org](mailto:h2o@heliosmx.org)

*H<sub>2</sub>O Gestión del agua*, publicación trimestral. Julio-septiembre de 2018. Editor responsable Ramón Aguirre Díaz. 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 Tlalcoligía, delegación Tlalpan, C.P. 14430, México, Distrito Federal.

*H<sub>2</sub>O 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. D.F. Costo de recuperación \$60, números atrasados \$65. Suscripción anual \$625.

# Prioridades de una transición ordenada y transparente

Terminamos nuestro mensaje de la edición anterior señalando que “el del agua es un servicio esencial para la salud y calidad de vida de la población, y, al no ser atendido como se requiere, los más afectados son los pobres. Tenemos la ineludible responsabilidad y obligación de recalcar la importancia y lo imprescindible de priorizar la atención al sector agua. Lamentable sería que una crisis de enormes proporciones sea la que obligue a los actores políticos a dar respuestas”.

Las elecciones del 1º de julio dejaron un claro y contundente mensaje: la enorme mayoría de los mexicanos votó por un cambio de régimen. Las expectativas son enormes y la responsabilidad que asumen las nuevas autoridades son de igual magnitud. Pero no sólo las nuevas autoridades deben atender los desafíos que México enfrenta, porque el país no cambió ni cambiará de la noche a la mañana; los mexicanos todos debemos participar activamente en el proceso de transformación que se plantea. De manera crítica y propositiva, cada uno de nosotros debe hacer la mayor contribución desde el espacio en que se desempeña.

En el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) predicamos con el ejemplo. Estamos ya en contacto con el equipo de trabajo de la electa jefa de gobierno, Dra. Claudia Sheinbaum, y hemos garantizado, en lo que a nuestra responsabilidad y competencia concierne, una transición ordenada y transparente.

Entregaremos un organismo operando y dando servicios a los millones de personas que habitan y transitan en la CDMX. La nueva administración no se encontrará con sorpresas: no habrá ningún contrato que comprometa recursos, ni tampoco un conflicto grave que resolver; se les informará sobre la situación de los servicios y cuáles son las prioridades y las posibles soluciones que a nuestro juicio deberían implementarse, para que, con esas bases, las nuevas autoridades tomen las decisiones que consideren apropiadas.

Se sabe que el sector agua es prioritario y crítico por esencial para la vida en general, y no sólo en las zonas urbanas sino también en el campo. La seguridad y soberanía alimentaria, y –por ejemplo– el proyecto de generar condiciones para impedir y revertir la emigración por necesidad, tendrán en el uso eficiente del agua un factor clave.

En todo el territorio nacional, el sector hídrico requiere multimillonarias inversiones en infraestructura, tanto para las áreas urbanas como para el campo, a fin de lograr los más altos índices de eficiencia y eficacia operativa. No se trata de un asunto menor, ya que, al igual que la energía, el agua es un recurso básico para el desarrollo económico y social con equidad.

En las últimas décadas no se han realizado las inversiones necesarias en el sector, y se ha llegado al extremo de una reducción presupuestal federal del 70% para 2018. Durante once años de gestión en el Sacmex hemos realizado innumerables planes de trabajo con proyectos, diseños, opciones de financiamiento para el mantenimiento y construcción de la infraestructura y la prestación de servicios, cubriendo cada aspecto que requiere toda planificación profesional; sin embargo, el mejor de los planes es una ilusión si no se cuenta con los recursos necesarios para hacerlo realidad.

Lo anterior vale para un proyecto de país. Está la expectativa, con base en planteamientos explícitos del gobierno entrante, de que se reorientarán los recursos económicos para favorecer el desarrollo de los sectores estratégicos; de cumplirse, no sólo podrán garantizarse mejores servicios a la población, sino innumerables oportunidades de trabajo que generen un círculo virtuoso y se haga realidad la voluntad que se manifestó en las urnas.

Ramón Aguirre Díaz





# El nuevo radar meteorológico de la CDMX



**MICHEL ROSENGAUS MOSHINSKY**

Asesor en la construcción e instalación del radar en la Ciudad de México.

RME radar 250618



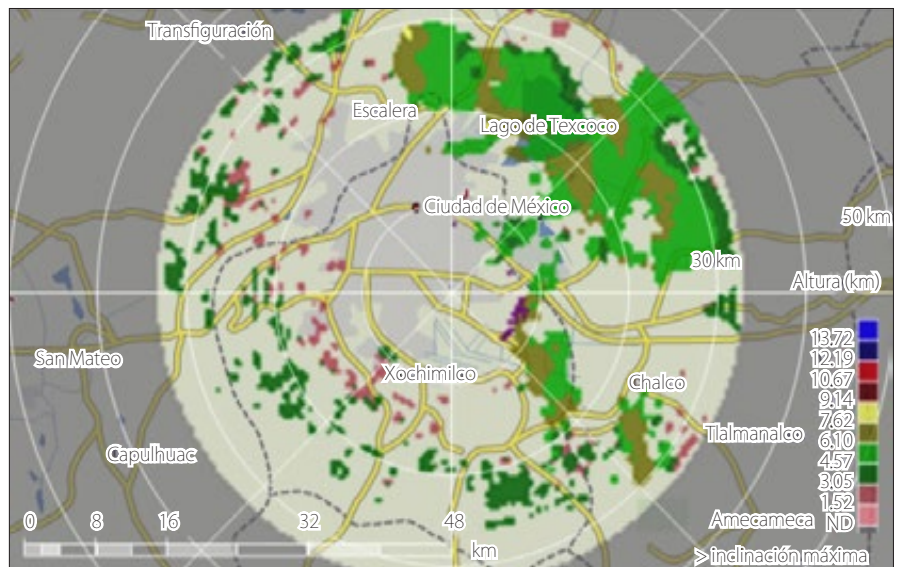
Operar la infraestructura hidráulica de la Ciudad de México durante las intensas y concentradas tormentas convectivas características de la temporada de verano, o en las extensas y duraderas lluvias de la temporada invernal, requiere idealmente un sistema de monitoreo en tiempo real no solamente en la superficie misma de la ciudad, sino también sobre las zonas externas a ella que le aportan escurrimiento.

Tradicionalmente se ha enfrentado el problema de operar la infraestructura hidráulica mediante redes de pluviógrafos digitales telemétricos, como la que el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) ha operado durante décadas en el Valle de México. Este tipo de redes de medidores puntuales para tener un mapa continuo de la precipitación pluvial sobre el área de interés amerita una interpolación geométrica (no física) entre las mediciones puntuales disponibles. Debido a las pequeñas escalas en las que varía la lluvia instantánea sobre la superficie terrestre, estas interpolaciones se consideran fiables solamente para espaciamientos entre puntos de medición mucho menores que la escala de las celdas convectivas, que son del orden de 10 km. Para el caso específico de la zona de interés de la Ciudad de México, esto implica la instalación y operación de extensas redes de pluviógrafos más allá de su propia delimitación geográfica. Por ejemplo, lograr una red con separaciones de 2 km entre instrumentos implicaría instalar 371 pluviógrafos sólo dentro de la delimitación geográfica de la CDMX.

Recurrir a estimaciones satelitales es una opción, pero, aun con las nuevas capacidades de los satélites geostacionarios GOES 16, las resoluciones sólo definen el campo de lluvias como promedios

en celdas de  $2 \text{ km} \times 2 \text{ km} = 4 \text{ km}^2$ , y una vez cada 15 minutos. Estos satélites no miden directamente la precipitación pluvial, sino que la estiman con base en los parámetros de los sensores pasivos que dichos satélites sí reciben. Nuevamente, para zonas reducidas como la CDMX e intervalos cortos, la definición del campo de lluvias utilizando estos estimadores es, en todo caso, burda.

La cobertura de diversos radares de gran potencia y alcance, como la que parcialmente han brindado a lo largo del tiempo los del Cerro de la Catedral (SMN/Conagua), el Cerro de la Roca (CEA Querétaro) y el radar meteorológico del Aeropuerto



**Figura 1.** Tope de ecos (20 dBZ), 21 de junio de 2018, 14:40 h, alcance de 33 km. Desarrollo vertical de las tormentas.

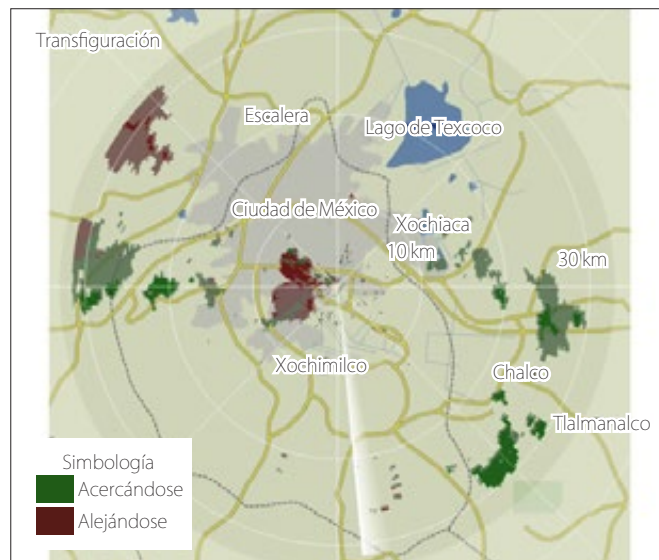


Internacional de la Ciudad de México (Seneam/DGAC/SCT), no han resultado una solución satisfactoria; esto principalmente por falta de resolución (del orden de tan sólo 1 km) o por no tener visibilidad de niveles atmosféricos cercanos a la superficie de la ciudad por razones orográficas.

### Funciones de un radar meteorológico

La principal función de un radar meteorológico es la detección de zonas de la atmósfera con precipitación pluvial captando los ecos que se producen al paso de pulsos de energía electromagnética emitidos por el propio radar (véase figura 1). Estos pulsos electromagnéticos se orientan en un haz muy angosto a través de una antena parabólica, la cual también sirve para integrar los ecos recibidos. La magnitud del eco recibido determina la intensidad de lluvia medida; el tiempo de tránsito del pulso electromagnético de ida a la tormenta y de regreso determina su distancia al radar, y la orientación de la antena, la dirección en la que se encuentra.

En operación rutinaria, la antena gira en acimut 360° apuntando casi horizontalmente, tras lo cual incrementa su ángulo de elevación y repite una revolución. Esto se repite hasta que todo el volumen atmosférico de interés ha sido muestreado.



**Figura 2.** Despliegue en tiempo real del barrido de la antena, 21 de junio de 2018; velocidad radial, alcance 33 kilómetros.

### Principales características del radar

Diseño especial para la CDMX

Ubicación privilegiada con inmejorable visibilidad de la metrópoli  
Mayor elevación que los edificios más altos; se evitan obstáculos  
Su muy baja potencia no produce interferencias; no envía ondas electromagnéticas hacia la superficie de la ciudad

La banda de operación X con longitud de onda de 3 cm lo hace sensible a la presencia de gotas de preprecipitación

Se descartaron potenciales problemas de atenuación con un análisis de 150 tormentas significativas históricas reales

Su capacidad de doble polarización permite minimizar efectos de atenuación

Alta tecnología: estado sólido, Doppler (mide velocidad) y doble polarización (identifica el tipo de lluvia: agua, granizo o nieve)

Antena que produce un haz muy angosto (1 grado; permite alta resolución)

Puesto que las mediciones alrededor del radar ocurren relativamente rápido, se obtienen posiciones consecutivas bastante frecuentes de las tormentas, es decir, el radar permite también el rastreo o seguimiento de tormentas.

Los radares modernos con capacidad Doppler pueden también detectar pequeños cambios en la frecuencia de los pulsos recibidos, con lo que cuantifican la velocidad a la que dichos ecos se están acercando o alejando (véase figura 2). En general, esta velocidad (radial) se asocia con la componente del viento que arrastra a las tormentas hacia o desde el radar.

Un paso más adelante están los radares meteorológicos con doble polarización. Puesto que las partículas que se precipitan no siempre son esféricas, ellas responden de manera diferenciada a pulsos electromagnéticos orientados horizontalmente y a pulsos electromagnéticos orientados verticalmente. Procesando ambas polarizaciones se obtiene información adicional sobre las partículas precipitantes, con lo que se pueden clasificar en lloviznas (gran cantidad de muy pequeñas gotas prácticamente esféricas), aguaceros (menor cantidad de gotas líquidas mucho mayores que están marcadamente aplanadas en su cara inferior), granizo (partículas sólidas grandes estadísticamente esféricas), nieve (cristales de hielo) y hasta blancos ajenos a la precipitación (parvadas de pájaros, nubes de insectos, polvo, etcétera).

### La nueva tecnología en la capital

El Sacmex optó por adquirir un radar meteorológico específico para aplicaciones urbanas, uno que no necesariamente maneja grandes alcances (de cientos de kilómetros) pero que transmitiera con potencia suficientemente baja para poder ubicarse



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



## ► Tema de portada

El nuevo radar meteorológico de la CDMX

sin problemas en el interior de la zona urbana. El propósito era cubrir con una muy alta resolución y a un nivel atmosférico muy cercano a la superficie la totalidad de la CDMX, de su zona metropolitana y de preferencia también toda la cuenca del Valle de México. Ubicar un radar que satisfaga estas condiciones no resulta tan sencillo como parece, ya que cualquier localización cercana al nivel del suelo urbano se vería bloqueada en múltiples direcciones por las edificaciones altas de la propia ciudad. Evitar estos bloqueos colocando el radar en un sitio muy alto produciría problemas similares al del radar del Cerro de la Catedral, que ubicado a una altitud de 3,720 m barre la atmósfera sobre la ciudad en el orden de 1,500 m sobre el nivel del terreno y esto resulta en sistemáticas subestimaciones de la intensidad de lluvia en la superficie.

La solución resultó ser la ubicación de un radar meteorológico banda X (longitud de onda de 3 cm) cerca de la cima del Cerro de la Estrella, muy cerca del centro geográfico de la CDMX, a unos 225 m sobre la superficie nominal de la ciudad (por convención, la altitud de las pistas del aeropuerto, a 2,240 msnm). Una torre de 18 m de altura fue necesaria para obtener la visibilidad deseada sobre los obstáculos locales en la cima. Esto permite pasar al haz más bajo por sobre los edificios más altos de la ciudad, al mismo tiempo que obtiene cortes tan cercanos a la superficie que las mediciones de intensidad de lluvia son representativas de la lluvia efectivamente precipitada sobre la superficie.

Mantener la alta resolución requirió una antena de 1.82 m de diámetro que genera un haz con apertura de 1 grado. En la dirección radial, la resolución cuando se exploran los 33 km alrededor del radar (100% de la CDMX) es de 150 m; cuando

*Una torre de 18 m de altura fue necesaria para obtener la visibilidad deseada sobre los obstáculos locales en la cima. Esto permite pasar al haz más bajo por sobre los edificios más altos de la ciudad, al mismo tiempo que obtiene cortes tan cercanos a la superficie que las mediciones de intensidad de lluvia son representativas de la lluvia efectivamente precipitada sobre la superficie.*



**Figura 3.** Vista de una tormenta moderada desde lo alto de la torre del radar meteorológico de la CDMX.

se exploran los 60 km alrededor del radar (100% de la zona metropolitana) es de 300 m, y cuando se exploran los 120 km alrededor del radar (100% de la cuenca del Valle de México) es de 750 m. En dirección acimutal, el haz de un grado de apertura mantiene la resolución mejor o igual a 600 m sobre la CDMX, mejor o igual a 1,100 m sobre la zona metropolitana y mejor o igual a 2,100 m sobre el Valle de México. Más allá de 120 km, el parteaguas de la cuenca del Valle de México evita que un radar en esta ubicación observe a niveles atmosféricos bajos, por lo que la potencia pico de 1,000 watts resulta suficiente (los radares banda C actuales típicamente transmiten potencias pico de 250,000 a 400,000 watts).

Uno de los atributos de los radares banda X es su relativamente alta sensibilidad a problemas de atenuación (pérdida de potencia de la señal a lo largo de longitudes significativas bajo lluvia intensa). Debido a esto, se procedió a revisar una muestra de 150 tormentas significativas históricas diarias (Rosengaus *et al.*, 2017; Rosengaus, 2017) en términos de sus posibles problemas de atenuación desde un radar banda X ubicado en el Cerro de la Estrella, y se concluyó que el problema sería marginal. Por esta razón, se optó por un radar con capacidad de doble polarización que permite minimizar estos posibles efectos de atenuación con algoritmos de estimación cuantitativa de lluvia que no dependen únicamente de la amplitud de la señal. Desde el Cerro de la Estrella (con cima a 2,465 msnm), el Cerro de los Tres Padres hacia el norte –dentro de la cuenca del Valle de



México pero fuera de la CDMX— con cima a 3,000 msnm representa un obstáculo importante al paso de haces con bajo ángulo de elevación (menores a 1.5°), por lo que la zona conurbada detrás de su *sombra* puede ser observada solamente a mayores niveles atmosféricos (por ejemplo sobre Melchor Ocampo por arriba de unos 750 m por encima del nivel del terreno). Salvo esta excepción, los obstáculos orográficos se manifiestan significativamente sólo sobre zonas fuera de la cuenca del Valle de México. Este tipo de cobertura no se habría logrado en ninguna otra ubicación distinta dentro del Valle de México (se evaluaron muchas otras alternativas).

#### **Características del radar EWR-750**

La unidad de radar adquirido es un EWR Radar Systems modelo EWR-750 fabricado en San Luis Missouri, Estados Unidos. Tiene todas las características mencionadas: opera en banda X, tiene capacidad Doppler y de doble polarización, potencia pico de 1,000 watts, una antena parabólica de 1.82 m de diámetro electrónica 100% de estado sólido, lo que implica mayor confiabilidad y menor costo de mantenimiento que las tecnologías previas. Resalta que su procesador de señales es el que se considera más avanzado en el mundo, el RVP901, y que es utilizado en muchos de los mejores radares en el ámbito internacional (por ejemplo en la red NEXRAD con 180 unidades en EUA), por lo que su *software* de control y despliegue de bajo nivel es IRIS,



**Figura 4.** El radar meteorológico de la CDMX visto desde la base de su torre.

*Para la operación inicial se preprogramaron tres políticas de barrido: la usual, con alcance de 60 km en barrido volumétrico y resolución radial de 300 m; la de detalle sobre la CDMX, con alcance de 33 km en barrido volumétrico y resolución de 150 m, y una vigilancia de largo alcance con barrido a ángulo de elevación fijo (1.0°) con alcance de 120 km y resolución de 750 m. En el futuro éstas pueden cambiar para satisfacer nuevas necesidades del Sacmex.*

como varios de los otros radares operacionales en México, pero con la ventaja adicional de contar con una interfaz más simple de operar a través del *software* Weather Scout en ambiente Windows a alto nivel.

El sistema provisto incluye todos los periféricos usuales, como radomo, fuente ininterrumpible de poder, planta de emergencia, clima controlado en el radomo y en la caseta, sistema de pararrayos y tierras, luces de ubicación reglamentarias, etc. Está montado sobre una torre de estructura metálica de 18 m de altura y planta de 4 m × 4 m especialmente diseñada para las condiciones locales y para este radar. Cuenta además con un sistema de cámaras de vigilancia y un sistema de transmisión por microondas desde el sitio hasta las oficinas centrales del Sacmex, con un sistema redundante hacia el Centro de Comando, Control, Cómputo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano de la Ciudad de México (coloquialmente conocido como C5). Esto implica que todo monitoreo operacional, configuración, cambio en la política de barrido, visualización y análisis puede ser realizado de forma remota, sin necesidad de acudir a su ubicación. En casos de emergencia, podrá realizarse también desde el C5. Múltiples estaciones de trabajo de visualización son accesibles para todas las autoridades pertinentes, incluso más allá de la CDMX. Los productos pueden ser provistos al público vía páginas web, como lo hace actualmente el Sacmex, de forma fácil de comprender.

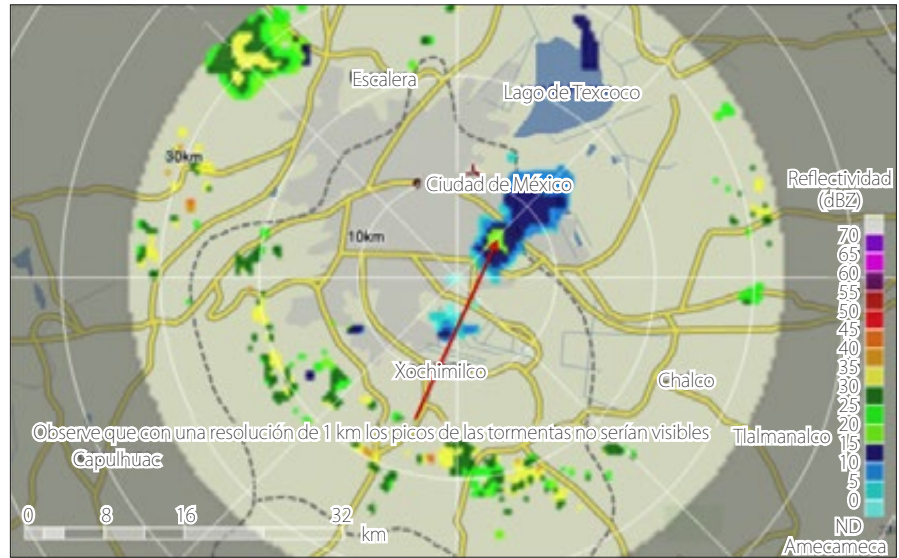
Una de las características más atractivas de este sistema es su alto grado de integración en el interior del pedestal

## ► Tema de portada

El nuevo radar meteorológico de la CDMX

de la antena, lo que simplifica su diseño y elimina las fallas características de sistemas con grandes longitudes de *guías de onda*. Otra es que el procesamiento tradicional (reflectividad horizontal; véase figura 5), procesamiento Doppler y procesamiento de doble polarización ocurren simultáneamente sobre el mismo barrido volumétrico, lo que permite proveer datos de alta calidad (barridos volumétricos con 15 ángulos de elevación discretos) renovados con una alta frecuencia, cada cinco minutos. Hoy en día este es el único radar en México que cuenta con tal capacidad. Precisamente esta característica es la que lo hace ideal para ambientes urbanos como el de la Ciudad de México, donde la vida de una tormenta puede ser tan corta como 45 minutos. No obstante, en condiciones especiales los operadores pueden hacer barridos de vigilancia (no volumétricos) con frecuencia de 20 segundos e incluso enriquecerlos con cortes verticales radiales (RHI) de las tormentas. En condiciones normales, luego del barrido volumétrico en cinco minutos los operadores pueden explorar todos los productos sin necesidad de interrumpir la operación del nuevo barrido. El barrido en tiempo real es observable desde los centros de control con prácticamente nula latencia.

Para la operación inicial se preprogramaron tres políticas de barrido: la usual, con alcance de 60 km en barrido volumétrico y resolución radial de 300 m; la de detalle sobre la CDMX, con alcance de 33 km en barrido volumétrico y resolución de 150 m, y una vigilancia de largo alcance con barrido a ángulo de ele-



**Figura 5.** Reflectividad sobre un corte horizontal (CAPPI) a 5,240 msnm, 21 de junio de 2018, 16:03 h, alcance 33 kilómetros.

vación fijo (1.0°) con alcance de 120 km y resolución de 750 m. En el futuro éstas pueden cambiar para satisfacer nuevas necesidades del Sacmex.

### Conclusión

Con este nuevo tipo de información en tiempo real sobre las lluvias en la CDMX, el personal destacado en los 120 campamentos podrá ser movilizad para operar la infraestructura con mayor agilidad y oportunidad. En condiciones de tormentas que provengan de la periferia, se contará con tiempos de antelación que fácilmente pueden alcanzar los 60 minutos. Para aquellas tormentas que nacen dentro del perímetro de la CDMX, la detección temprana de sus primeras manifestaciones podría permitir antelaciones del orden de 30 minutos con respecto al instante de saturación de la capacidad de drenaje. La identificación remota de granizo también representa una ventaja significativa con respecto a las condiciones previas.

El nuevo radar meteorológico de la CDMX entró en operación el 25 de junio de 2018 ◀

#### Principales características del radar

En la Ciudad de México, el ancho del haz va de 5.25 m a 575 m

Resolución radial tan buena como 150 m

Barrido sobre la ciudad 160 m por arriba de su superficie

Renueva todos sus productos cada 5 minutos

Controlado directamente por autoridades de la CDMX

sin otros usos que impidan las maniobras pertinentes para el problema local en cuestión

Barridos simultáneos para reflectividad y para velocidad radial Doppler

#### Referencias

- Rosengaus, M. (2017). Distribuciones de probabilidad de precipitación semanal para 60 presas y distribución geográfica de tormentas en el Valle de México. Informe OMM/PREMIA No. 263, OMM-Conagua. Junio.
- Rosengaus, M., F. Ríos, H. Rubio y V. Alcocer (2017). 50 años de tormentas significativas en el Valle de México. XXIV Congreso Nacional de Hidráulica.



# 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.



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

# Invertir donde haya un retorno social más alto

El punto de partida es que haya una verdadera reorganización de la arquitectura institucional del agua. Estamos mal organizados para poder lograr que ésta llegue adonde tiene que llegar y a quienes tiene que llegar de forma eficiente, con una cobertura y calidad adecuada y que luego regrese a la naturaleza en buenas condiciones.

Entrevista a **JESÚS REYES HEROLEZ GONZÁLEZ GARZA**, presidente del Consejo Consultivo del Agua, A. C. en el momento de la entrevista.

*Un asunto que está relacionado no sólo con el agua: el vínculo entre la gestión pública y la participación de la iniciativa privada. ¿Cuáles son los mitos y cuáles las realidades respecto al papel del Estado y de la iniciativa privada en la gestión de los servicios públicos? ¿Son intrínsecamente el Estado ineficiente y el sector privado eficiente?*

**E**l Estado tiene la obligación de intervenir en la economía por varios motivos: en primer lugar, para corregir las fallas de mercado; es evidente que el Estado debe emitir la regulación que permita favorecer la competencia. En segundo lugar, la intervención del Estado es evidentemente para la provisión de bienes públicos; un ejemplo es la defensa nacional o la seguridad pública.

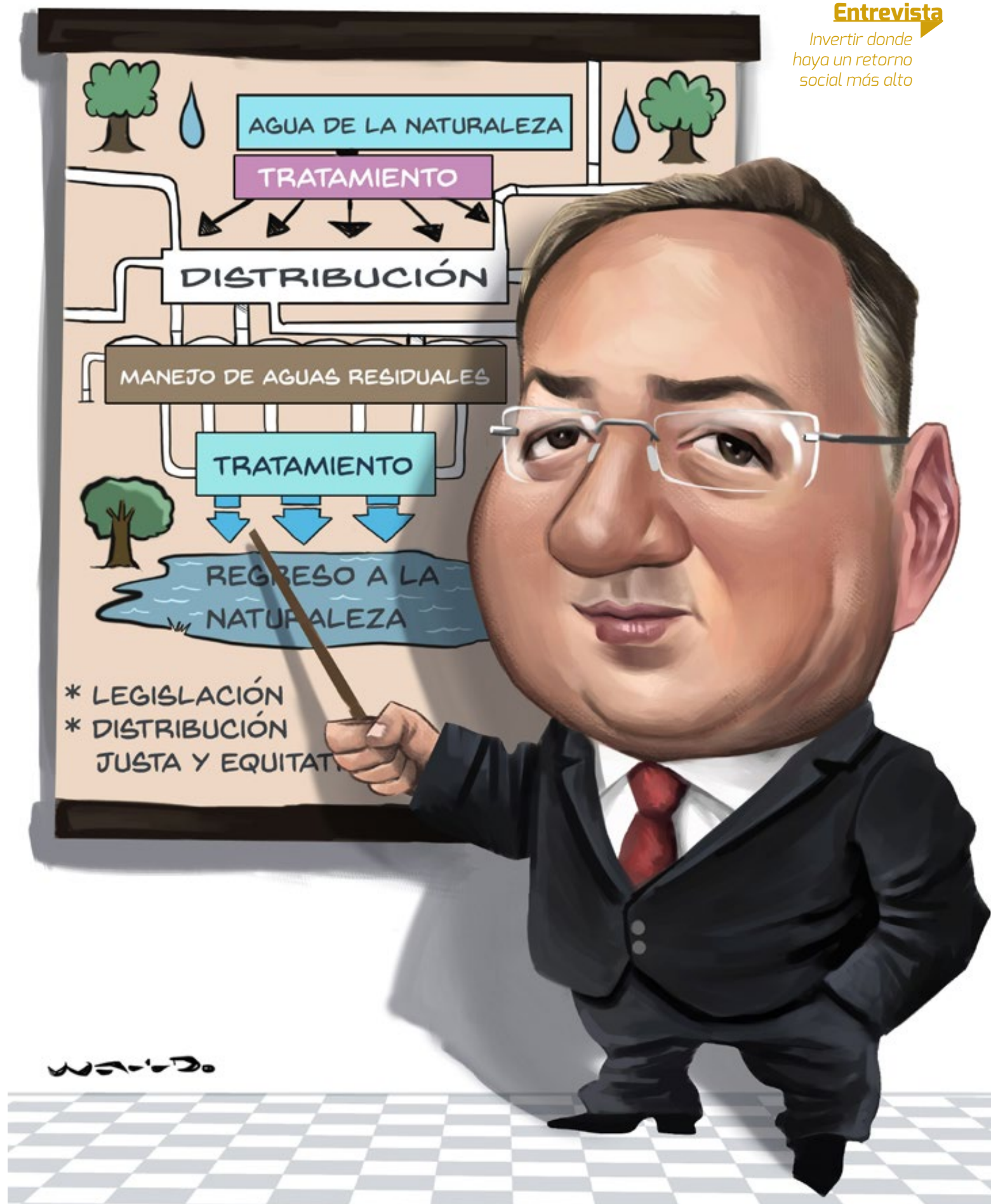
En las sociedades contemporáneas cada vez hay más razones para la intervención del Estado por razones de compensación económica, en el sentido de que, puesto que

ciertas políticas económicas implican desigualdades que no corrige el mercado, las sociedades han establecido una serie de derechos para todos los integrantes de esa sociedad, y el Estado debe contribuir para que tales derechos se vuelvan exigibles y se cumplan.

En México estamos todavía muy retrasados en cuanto a tener una estructura económica moderna; la actual es obsoleta, al igual que nuestra forma de garantizar que los ciudadanos hagan efectivos los derechos que la Constitución les otorga. Estamos aún atorados en la idea de que es el Estado el que debe proveer la salud o la educación, en vez de plantear que el Estado debe garantizar que los ciudadanos tengan acceso a la salud y a la educación, lo cual no debe implicar que sea el Estado el que la provea directamente.

*La iniciativa privada tiene como objetivo primordial el lucro, el rédito económico, al tiempo que el Estado no está para ganar dinero. ¿Qué implica esta distinción en materia de economía y garantía de servicios y cumplimiento de derechos que usted acaba de mencionar, como la salud o la educación?*





Las palabras aquí son importantes. El Estado debe identificar muy claramente el retorno social de los gastos que haga, porque hay algunos que tienen un gran impacto positivo sobre la sociedad y hay otros cuyos impactos son mucho menores; debe invertir donde hay un retorno social más alto.

El tema de la iniciativa privada no es estar atento al retorno social, sino a que el capital invertido genere el mayor retorno privado posible para sus accionistas. En algunas actividades donde hay una preocupación sobre el impacto social, debe intervenir el Estado como regulador, y es allí donde confluyen los temas que estamos tratando.

En el asunto concreto del agua, sabemos que en México es un bien de la nación y en otros países puede ser un bien privado; Estados Unidos es el ejemplo más claro: allí es un dominio pleno de la propiedad.

En México el gobierno federal regula el uso de ese recurso por medio de concesiones. También el Estado es responsable, por ejemplo, del transporte, porque es una actividad estratégica; entonces, lo que se quiere es que la sociedad tenga el recurso, el servicio, en condiciones de oportunidad, cantidad y calidad necesarias, pero eso no quiere decir que lo haga el Estado directamente: lo que hace es otorgar concesiones.

*Existe una gran discusión sobre el tema de privatizar o no privatizar el agua. Se discute mucho pero parece que no queda muy claro qué se entiende por privatizar.*

Es que la palabra privatizar está mal aplicada, y está además utilizada con propósitos político-electorales. El agua no se puede privatizar porque es de la nación. Además, interpretan como privatización algo tan elemental como el otorgamiento de concesiones a los particulares para la explotación de ese recurso. Entonces quedamos atrapados, al plantearse que sólo instituciones públicas pueden proporcionar servicios de agua potable y alcantarillado. Incluso se plantea que los organismos públicos no deben subcontratar a empresas que –sin tomar el control de la gestión– den un servicio.

*Es verdad que el agua está en la naturaleza, pero tiene un costo entregarla potable en cada casa, en cada lugar que se requiera,*

*y manejar las aguas residuales... Por otra parte, sin duda existe el derecho humano al agua, y por ello el Estado debe garantizar a cada ciudadano el acceso para sus usos esenciales. Al mismo tiempo, puede transformarse en mercancía cuando su uso excede lo esencial; por ejemplo, es un derecho humano que usted tenga cierta cantidad de litros de agua para bañarse, pero si usted quiere llenar un jacuzzi o una alberca, el agua en tales casos se transforma en mercancía. ¿Qué opina al respecto?*

El agua realmente tiene un costo. Generalmente se plantea el consumo humano primero, pero también existe el de la propia naturaleza... La gran fábrica del agua es la naturaleza, y ésta requiere condiciones que deben preservarse con medidas, acciones e infraestructura –por ejemplo reforestando, manteniendo sano el bosque para que pueda seguir produciendo agua, etcétera–. Así puede decirse que el primer usuario es la propia naturaleza.

*¿Y qué puede comentar respecto a la distinción entre el agua como derecho humano y como mercancía?*

El hecho de que se pueda tomar el agua de un río muy caudaloso no implica que no haya que cubrir el costo de llevarla desde el río hasta donde se encuentra la comunidad que va a consumir esa agua; alguien tiene que pagar ese costo, y lo lógico es que lo pague el usuario del agua.





*En México estamos todavía muy retrasados en cuanto a tener una estructura económica moderna; la actual es obsoleta, al igual que nuestra forma de garantizar que los ciudadanos hagan efectivos los derechos que la Constitución les otorga. Estamos aún atorados en la idea de que es el Estado el que debe proveer la salud o la educación, en vez de plantear que el Estado debe garantizar que los ciudadanos tengan acceso a la salud y a la educación, lo cual no debe implicar que sea el Estado el que la provea directamente.*

*¿El factor cultural, educativo que implica que una persona se resista a pagar una tarifa razonable por el servicio del agua al mismo tiempo que gasta miles de pesos al año en agua embotellada, no debería considerarse como relevante?*

**P**or supuesto, pero no es algo gratuito; es algo que se ha sembrado a través de mucho tiempo. Los mexicanos queremos vivir como si fuéramos un país de primer mundo pero no queremos pagar los impuestos de un país de primer mundo. México recauda 17 o 18% del PIB en materia de impuestos en el ámbito federal, estatal y municipal, cuando los países de la OCDE en promedio recaudan 34 o 35%. Tenemos una brecha de ingresos de 15 a 20 puntos.

Cuando se le dice a un individuo que para lograr tal nivel de servicios tiene que pagar el predial, algún impuesto estatal –recordemos que aquí prácticamente no hay impuestos estatales– o una mayor contribución a la seguridad social porque si no su pensión va a ser muy pequeña, ya la situación no progresa.

*Y no sólo en casos individuales. La evasión fiscal quita a México 2.8% (483,874 millones de pesos), de acuerdo con datos de la cuenta pública de la Auditoría Superior de la Federación; según esa misma fuente, entre 2013 y 2016 el SAT otorgó devoluciones por un billón 345 mil millones de pesos, y entre 2008 y 2016, condonó 593,448 millones de pesos. La suma de estos dos montos (1.9 billones de pesos) se asemeja al costo de pagos de pensiones y jubilaciones del IMSS para los próximos 70 años, más de 2 billones de pesos, de acuerdo con el director general de ese instituto. Las grandes empresas y los más ricos son, proporcionalmente, los que menos contribuyen.*

**A**l decir individuos estoy hablando de los agentes económicos en general; entonces, algo parecido sucede con el tema del agua, porque se ha instalado la idea de la gratuidad de ésta, y sólo recientemente ha habido una conciencia de que el agua no llega naturalmente al grifo, se requiere tecnología, conocimiento, profesionales, infraestructura...

Otro costo es el de oportunidad. Aquí tengo un metro cúbico de agua, lo puedo utilizar para mandarlo a la ciudad donde hay una escasez importante porque el 30 o el 20% de la población no tiene agua; entonces, este metro cúbico ayudaría mucho si lo mando a la ciudad, o lo puedo dejar en su cuenca para que lo sigan utilizando para riego rodado, que sabemos que es absolutamente ineficiente y por tanto hay un gran desperdicio del líquido correspondiente, lo que tiene un costo. ¿En qué consiste el costo de oportunidad? Se ilustra con este ejemplo: los habitantes de una comunidad están dispuestos a pagar 10 o 15 pesos por metro cúbico de un agua que tanta falta les hace para no morir de sed, mientras que del otro lado, como no les cobran nada, no se preocupan si se desperdicia y la siguen utilizando para riego rodado.

*¿Cuál es la razón de ser del Consejo Consultivo del Agua (CCA)?*

**C**omenzó como un proyecto de un grupo de personas preocupadas por el tema y con deseos de ayudar a crear una cultura del agua. Al principio el consejo se concentró en asuntos de comunicación; conforme transcurría el tiempo, se fue descubriendo que la problemática del agua era realmente muy compleja, y que la falta de conocimiento era mucho más profunda incluso entre las propias

autoridades y los usuarios que la consumen en muy altos volúmenes. También existen vacíos importantes en todo el andamiaje institucional.

El CCA fue interesándose cada vez más por entender y poder generar su propia opinión, o en facilitar la discusión pública ordenada de los temas del agua, hasta llegar a ser lo que es hoy. Los legisladores recurren al CCA de la misma forma que lo hace el Ejecutivo federal, y cada vez más los ejecutivos locales, ya sean estatales o municipales.

*A lo largo de estos años y al día de hoy, ¿cuáles serían los puntos más importantes del diagnóstico que ha hecho el CCA respecto a la situación del agua en México?*

**E**l diagnóstico del CCA no es distinto del que se tiene en el ámbito público nacional. El tema número uno es la cobertura, el acceso al agua. Se cuenta con una cobertura de 94%, según el censo y las estadísticas oficiales, pero ese es un dato relativo, se refiere a la cantidad, porque cuando se clasifica el agua por su potabilidad, resulta que sólo la mitad de la población tiene agua de calidad adecuada.

El segundo tema es el saneamiento del agua. En el momento en que se dota de agua a una comunidad para cualquier uso –doméstico, económico, de servicios industriales–, en ese momento surge la contaminación; entonces hay que dotar de agua y al mismo tiempo establecer los mecanismos para regresarla a la naturaleza en las mismas condiciones en las cuales se sustrajo. Sin

embargo, actualmente el porcentaje de tratamiento de aguas servidas es bajísimo. Hoy, con la operación gradual de la planta de tratamiento de Atotonilco, que es enorme en cuanto a sus volúmenes, se va a tratar sólo 50% de las aguas servidas. El otro 50% se sigue yendo a contaminar, con serias implicaciones en la salud de la población y en la naturaleza, porque no sólo es que vayan cargadas de materias orgánicas, sino también de materias químicas, de las cuales 78% se deriva de usos agropecuarios.

*Algo parecido a lo que sucede con la industria minera.*

**P**or supuesto. Es una de las actividades más contaminantes, pero hay que reconocer que la industria minera está regulada e invierte en regresar el agua en condiciones aceptables a la naturaleza, y en minimizar el uso del agua. ¿Hay incumplimientos? Sí, desgraciadamente un número significativo de ellos, entre otras razones porque los mecanismos de supervisión para que la industria en general, no sólo la minera, cumpla con la norma de las descargas de agua son muy ineficientes.

*¿No faltan leyes y normas, lo que falta es que se cumplan?*

**T**ambién hay algunos problemas en las normas. Nuestra Ley de Aguas Nacionales tiene muchas deficiencias. Una de las preguntas que se plantean los expertos es: ¿realmente quién debe supervisar las descargas de agua? El problema es que actualmente son supervisadas por la





Procuraduría del Medio Ambiente, y en realidad el que podría sancionar a quien descargue aguas que no estén en condiciones adecuadas es el que proporciona el servicio del agua; podría multar, subir el costo del agua o incluso suspender el servicio en caso de que no se trate de una familia en lo particular. Hay gran impunidad en las descargas de aguas contaminadas.

Y existe otro problema: la oferta de agua. Hay zonas del país donde las cuencas han sido afectadas –y lo están siendo aún– de manera muy importante. Las cuencas son las fábricas de agua. Continúa la deforestación, la contaminación, el avance de la urbanización, el azolve de los cuerpos de aguas superficiales. Con eso disminuye la capacidad de la cuenca para generar suficiente agua para reproducirse y tener un superávit utilizable en otros lugares; porque sí hay muchas cuencas superavitarias, y esa agua se puede usar en otros puntos con los acueductos que puedan construirse. Por cierto, también está estigmatizado el trasvase de agua entre cuencas, aunque sea de una superavitaria a una cuenca deficitaria.

*Otro tema crítico es el del uso de los mantos acuíferos, la extracción del agua subterránea.*

**N**uestros mantos freáticos se agotan de manera acelerada. Estamos acabándonos un recurso natural que sí es renovable, pero lo es en la medida en que se cuida el ritmo de extracción de ese acuífero, y esto no está bien controlado en nuestro país.

Por otro lado, hay problemas muy importantes con el uso excesivo de agua fresca o de primer uso, cuando podríamos reciclar cantidades muy importantes de agua para usos industriales, hasta para usos agropecuarios, para reducir la utilización de aguas que provienen de mantos freáticos que se están agotando.

*¿Cuáles son las propuestas o recomendaciones fundamentales del Consejo Consultivo del Agua?*

**E**l punto de partida es que haya una verdadera reorganización de la arquitectura institucional del agua. Estamos mal organizados para poder lograr que ésta llegue adonde tiene que llegar y a quienes tiene que llegar de una

*El agua no se puede privatizar porque es de la nación. Se malinterpreta como privatización algo tan elemental como el otorgamiento de concesiones a los particulares para la explotación de ese recurso. Entonces quedamos entrapados, al plantearse que sólo instituciones públicas pueden proporcionar servicios de agua potable y alcantarillado.*

forma eficiente, con una cobertura adecuada y que luego regrese a la naturaleza en buenas condiciones.

Esa es la base de todo: si no hay un orden jurídico moderno, funcional, pues es muy difícil hacer todo lo demás. Hay que darle un papel importante a los estados de la República en la regulación del agua, porque hoy está a cargo de los municipios, y como la enorme mayoría de ellos no cuenta con capacidad económica y profesional, no pueden cumplir tal responsabilidad.

Alguien tiene que supervisar que los organismos operadores de agua se comporten de una manera racional, eficiente, equitativa y sustentable. ¿Qué entidad es esa? No es la Conagua, debe ser una instancia de nivel estatal.

Luego está la organización de las cuencas. Afortunadamente México tiene una concepción del sistema hídrico basado en las cuencas, pero hay consejos de cuenca que no están integrados, que no funcionan, que no se coordinan con los organismos de cuenca, que no involucran a los principales usuarios; es verdaderamente muy rudimentario el estado de los consejos de cuenca. Hay otros asuntos en la agenda básica del Consejo Consultivo del Agua, pero estos son los principales.

*Seguramente entre ellos está el de la cuenca del Valle de México, pero es un tema que amerita otra extensa conversación.*

**S**in duda ◀

*Entrevista de Daniel N. Moser*



pxhere.com

# Discusión necesaria para un futuro sostenible



La intención de colocar el nexo entre agua, energía y alimentación en la agenda global responde a la presión que el crecimiento poblacional, la urbanización creciente, el desarrollo económico y el cambio climático están ejerciendo sobre la disponibilidad de agua, la generación de energía y la producción de alimentos. La combinación de estos factores prefigura escenarios complejos.



**ROBERTO OLIVARES**

Director general de la ANEAS.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) organizó el Diálogo Regional Político-Técnico sobre el Nexo entre el Agua, la Energía y la Alimentación (NAEA), que contó con el soporte de la Agencia Alemana de Cooperación y la Unión Europea. El evento se realizó en Santiago de Chile los días 14 y 15 de mayo de 2018.

Participaron representantes de casi todos los países de América Latina, que desahogaron una extensa agenda de trabajo en la que se incluyeron temas como las perspectivas sectoriales e intersectoriales en agua, energía y alimentación; lineamientos de políticas públicas para un mejor manejo de las interrelaciones de los elementos del nexo; marco normativo sectorial apropiado; sistemas de coordinación intersectorial y planificación en los tres componentes del nexo. La importancia de analizar el NAEA radica en la íntima relación que guardan, ya que la intervención en una de estas áreas tiene impacto en alguna de las otras o en ambas.

### Origen de este enfoque metodológico

El concepto del NAEA fue propuesto durante la conferencia internacional The Water Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy, auspiciada por el gobierno alemán en el año 2011. La intención de colocarlo en la agenda global responde a la presión que el crecimiento poblacional,

la urbanización creciente, el desarrollo económico y el cambio climático están ejerciendo sobre la disponibilidad de agua, la generación de energía y la producción de alimentos.

La combinación de estos factores prefigura escenarios complejos. El Consejo de Inteligencia Nacional de Estados Unidos (US NIC, por sus siglas en inglés) proyectó que la demanda de agua, energía y alimentos se incrementará en 40, 50 y 35%, respectivamente, para el año 2030 (US NIC, 2012). En ese contexto, es de esperarse la exacerbación de la competencia por los recursos escasos y el incremento de los conflictos.

Es por ello que, para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), de la capacidad de gestionar el NAEA depende el bienestar de la humanidad. La FAO señala que “las interconexiones entre estos recursos [...] hacen evidente que la gestión de cada uno de ellos no puede considerarse aislada, sino que debe considerarse como parte de un sistema integrado. Estas interconexiones [...] destacan los complejos temas involucrados, al abordar estos desafíos de maneras que también hacen uso efectivo de los posibles cambios resultantes de nuevas políticas o nuevas intervenciones” (Giampetro *et al.*, 2013).

Comprender la interrelación del agua, la energía y la alimentación contribuye a reducir los impactos negativos en el desarrollo económico. Un claro ejemplo es la producción, distribución y consumo de alimentos. En escala global, la FAO calcula un desperdicio de entre el 30 y 50% de los alimentos, lo que implica una pérdida de entre 0.75 y 1.25 billones de metros cúbicos de agua y de 1 a 1.5% de la energía global (Aulakh y Regmi, 2013). Comprender mejor cómo se acoplan las políticas alimentaria, hídrica y energética permitiría el diseño e implementación de políticas públicas intersectoriales que optimizaran los recursos disponibles.

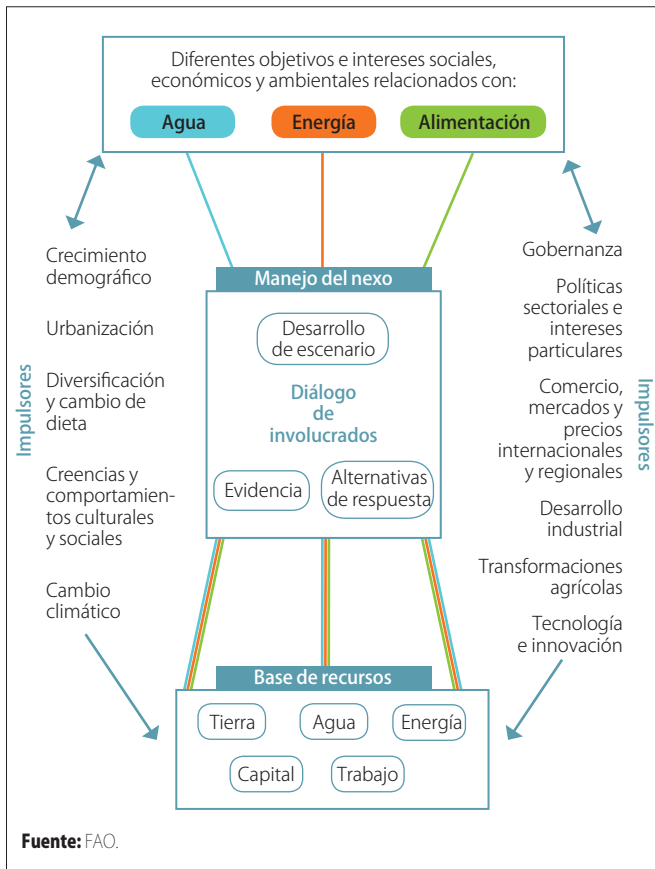


Figura 1. Objetivos e intereses sectoriales.

En la figura 1 se puede observar cómo la “disponibilidad física” y la interacción con los recursos base repercute en los objetivos sectoriales. Comprender qué actores, qué intereses intervienen, permitirá encontrar el mejor “arreglo” (solución posible) para el aprovechamiento de estos recursos escasos. Esto representa un cambio de paradigma, ya que permite identificar los intercambios, evaluar las posibles compensaciones y construir sinergias entre diferentes sectores o grupos de interés.

Un ejemplo de ello es la construcción de infraestructura hidráulica con propósitos múltiples: producción de energía hidroeléctrica, almacenamiento de agua para el riego y abastecimiento a centros de población. Conociendo las interacciones del NAEA es posible la formulación de políticas más racionales entre usuarios del agua, así como reducir impactos negativos

en los ecosistemas. Al involucrar a todos los actores mediante la compartición de información respecto a los desafíos, los beneficios y las pérdidas, el NAEA posibilita la toma de decisiones consensuadas y los acuerdos robustos.

### La implementación del nexo

No obstante las ventajas que supone la gestión del NAEA, existen dificultades en su adopción. La CEPAL ha identificado al menos tres en la región latinoamericana (Embid y Liber, 2017):

- Falta de información clave. La brecha de gobernanza en el rubro de información fiable es un desafío por superarse, ya que constituye la base en el diseño de políticas intersectoriales.
- Falta de capacidades de planeación. La región carece de los marcos normativos, las metodologías y el personal especializado para diseñar e implantar planes complejos como los que se requieren para coordinar sectores en competencia.
- Diversidad hidrológica y climática. Esto impide hacer generalizaciones e inferencias globales (nacionales/regionales), lo que hace aun más complejo entender el NAEA. Por ello es importante considerarlo más allá de su ocurrencia geográfica; se debería incluir, por ejemplo, el agua virtual o la importación de energía.

### Reflexión final desde los sistemas de operadores de agua

La gestión del agua en nuestro país está caracterizada por la fragmentación. En el caso de los sistemas de agua, a primera vista parecería que la relación con el NAEA es limitada. Por ejemplo, el reúso del agua residual tratada en todo el país es menor del 10% de las aguas residuales colectadas (Olivares, 2018). Si bien en términos globales la cantidad de agua que puede ser intercambiada con la agricultura pudiese ser pequeña en comparación con el agua que consume ese sector, es posible liberar volúmenes de agua de primer uso, lo que contribuiría a atemperar los problemas de abasto.

Por lo que corresponde a la energía, éste constituye uno de los costos más importantes para el sector. No obstante, los esfuerzos para reducir los consumos energéticos han sido más bien aislados y poco consistentes. En términos de la generación nacional de energía, no existen datos particulares del sector, pero se estima que consume menos del 0.4% (Olivares, 2018).



*La gestión del agua en nuestro país está caracterizada por la fragmentación. En el caso de los sistemas de agua, a primera vista parecería que la relación con el NAEA es limitada. Por ejemplo, el reúso del agua residual tratada en todo el país es menor del 10% de las aguas residuales colectadas. Si bien en términos globales la cantidad de agua que puede ser intercambiada con la agricultura pudiese ser pequeña en comparación con el agua que consume ese sector, es posible liberar volúmenes de agua de primer uso, lo que contribuiría a atemperar los problemas de abasto.*



El área de oportunidad se encuentra nuevamente en el reúso de agua tratada en los sistemas de generación, y al interior, en la producción mediante la biomasa.

Pero quizá el mayor reto se encuentra en la reconfiguración de la forma de gestionar el agua en el país, pues los desafíos que se enfrentarán para satisfacer las necesidades de la población parecen formidables. Por ejemplo, en materia de producción alimentaria, de acuerdo con distintas proyecciones y considerando sólo la dinámica poblacional y el cambio de dietas derivadas del desarrollo económico, se requerirá incrementar en 70% la producción de alimentos; ello implicará un incremento del 50% en el consumo de energía para el sector agroalimentario y una mayor extracción de agua.

Sin duda transitar de una gestión por estancos a una gestión transversal y holística es una tarea impostergable. Incorporar el

NAEA en el análisis de la situación de los recursos hídricos permitiría avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos, que se encuentra mandatada en la Ley de Aguas Nacionales. Sin embargo, el arreglo institucional actual, que se caracteriza por la centralidad en la toma de decisiones, impide que otros actores participen en el diseño e implementación de la política hídrica y, por supuesto, en su evaluación.

El reto consiste en rescatar el sentido original de la autoridad del agua del país, la cual fue concebida como una entidad coordinadora que, en escala federal, estableciera los grandes objetivos nacionales plasmados en la política hídrica y consensuara su implementación tanto en el plano federal e interinstitucional como con los gobiernos estatales, y aun con los municipales, además de sumar a otros actores y sectores estratégicos.

La importancia del NAEA en el cumplimiento de los objetivos nacionales en materia de seguridad hídrica, alimentaria y de autosuficiencia energética expone de manera tangible cómo la GIRH puede ayudar a resolver y superar los retos que representa satisfacer a una población creciente ◀

#### Referencias

- Aulakh, J., y A. Regmi (2013). Post-harvest food losses estimation-Development of consistent methodology: Introduction. Selected poster prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's 2013 AAEA & CAES Joint Annual Meeting. Washington.
- Embid, Antonio, y Liber Martín (2017). El nexa entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe. Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias. CEPAL. Consultado en junio de 2018. Disponible en: [http://codia.info/images/documentos/XVIII-CODIA/CEPAL\\_Agua\\_Energia\\_Alimentacion\\_AL-y-Caribe.pdf](http://codia.info/images/documentos/XVIII-CODIA/CEPAL_Agua_Energia_Alimentacion_AL-y-Caribe.pdf)
- Giampietro, Mario et al. (2013). An innovative accounting framework for the food-energy-water nexus. Application of the MuSIASEM approach to three case studies. Climate, Energy and Tenure Division, FAO. Consultado en junio de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3468e/i3468e.pdf>
- Olivares, Roberto (Coord.) (2018). Proceso regional de las Américas. México: BID/ANEAS.
- United States National Intelligence Council, US NIC (2012). Global trends 2030: Alternative worlds. Informe. Disponible en: <https://publicintelligence.net/global-trends-2030/>

# Recarga artificial en San Luis Río Colorado

Una visión ecológica a futuro  
con el humedal Cucapá





Desde hace ya una década, el organismo operador implementó el primer proyecto en México de recarga artificial del acuífero con lagunas de infiltración, y es hasta ahora el caso más exitoso y en operación continua que existe en el país. Como resultado del manejo sustentable del proyecto de recarga artificial del acuífero, actualmente se tiene un beneficio más: la creación de un humedal artificial con el objetivo de realizar labores de conservación y educación ambiental, así como para depurar la calidad del agua antes de infiltrarla al acuífero.

**MARTÍN HUMBERTO HERNÁNDEZ AGUILAR**

Director de Saneamiento del Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado.

Coautores: **J. ANTONIO NAVARRO ACOSTA** y **RAÚL CAMPUZANO CHÁVEZ**.

La ciudad de San Luis Río Colorado se localiza en el estado de Sonora, un poco más de 32 kilómetros al sur de la ciudad de Yuma, Arizona, en Estados Unidos; al oeste se encuentra el Valle de Mexicali, en el estado de Baja California; al este se localiza el Gran Desierto de Altar, y al sur se halla el Golfo de California (véase figura 1). La ciudad tiene una extensión de 72 km<sup>2</sup>, superficie donde se asientan aproximadamente 223 mil habitantes.

Dentro del territorio municipal se extienden la reserva de la biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, así como la reserva de la biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, ambas declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

El clima es muy seco. La precipitación media anual total es de 55.4 mm, y llueve predominantemente durante el invierno. La temperatura promedio anual es de 20.9 °C; oscila desde temperaturas bajo cero en la temporada de invierno hasta los 50 °C en el verano. San Luis Río Colorado es identificada por el Servicio

Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua) como la ciudad más árida de México.

Debido a su ubicación geográfica y situación climatológica, el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOMAPAS) enfrenta actualmente varios retos: abastecer a la ciudad de agua potable, realizar el saneamiento del agua residual generada, conservar el medio ambiente y hacer una gestión integrada de los recursos hídricos del municipio.

Desde hace ya una década, este organismo operador implementó el primer proyecto en México de recarga artificial del acuífero con lagunas de infiltración, y es hasta ahora el caso más exitoso y en operación continua que existe en el país.

Como resultado del manejo sustentable del proyecto de recarga artificial del acuífero, actualmente se tiene un beneficio más: la creación de un humedal artificial con el objetivo de realizar labores de conservación y educación ambiental, así como para depurar la calidad del agua antes de infiltrarla al acuífero.

**Situación actual**

La principal fuente de abastecimiento de la ciudad es el acuífero de San Luis Río Colorado. El suministro para los usos público y urbano se realiza mediante una batería de pozos (17 pozos profundos) de los que en promedio se extraen un poco más de 30 Mm<sup>3</sup> anuales.

La profundidad promedio de los pozos es de 150 metros con gastos promedios de 76 l/s, de acuerdo con el OOMAPAS. El flujo subterráneo para el área de estudio es en dirección NO-SE, con niveles estáticos aproximados de 14 msnm e incrementos hacia el norte hasta 18 msnm, que se mantienen sin evolución

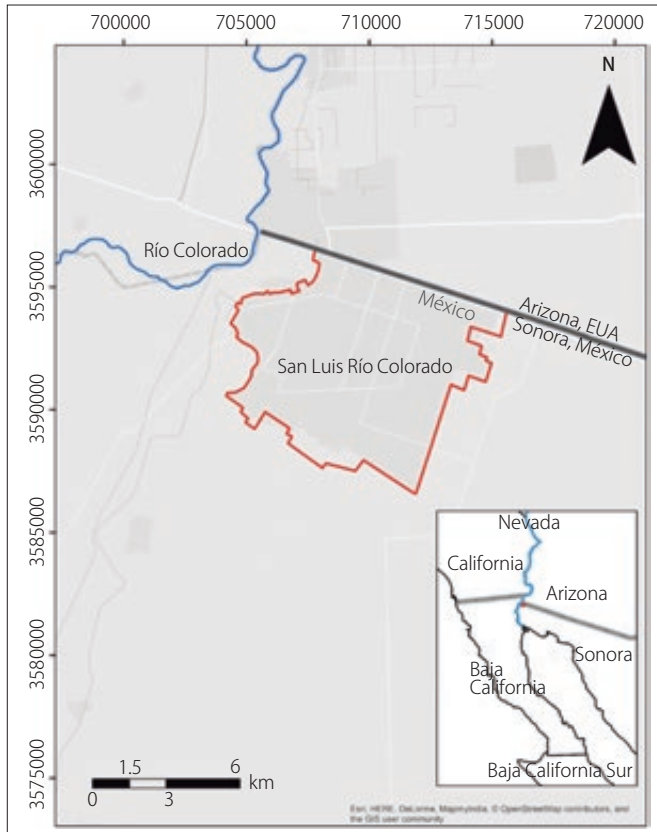


Figura 1. Ubicación de San Luis Río Colorado.

temporal significativa a través del tiempo. El abastecimiento de agua superficial es casi nulo.

En el año 2005 se inició la construcción de la planta biológica lagunar de tratamiento secundario con un gasto de 385 l/s para sanear en parte las aguas negras producidas por la ciudad, que eran vertidas directamente al lecho seco del río Colorado.

El OOMAPAS, con base en los estándares de calidad esperados con este tratamiento (NOM-001-ECOL-1996), buscó la

comercialización de estas aguas para su utilización en la agricultura regional. Sin embargo, el costo del tratamiento por metro cúbico, aun cuando es uno de los más económicos en escala mundial, sobrepasaba significativamente el costo por metro cúbico del agua para riego agrícola.

Se buscaron alternativas de reúso del recurso, como enviarlas de nuevo al río Colorado o al canal de riego Independencia. Ambas opciones distaban 14 km del punto de salida de la PTAR, lo que representaba asumir el costo de la obra de conducción, sin recuperación del gasto en el tratamiento de las aguas residuales.

Ante la divulgación del Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-014-CNA-2003, el organismo operador inició el anteproyecto de recarga artificial del acuífero siguiendo dicha normatividad (Hernández, 2013).

Así, se implementó y desarrolló un proyecto que incluía todas las actividades que permitieron evaluar la capacidad de infiltración del sitio programado, la capacidad de atenuación y la eliminación de partículas contaminantes por parte de los sustratos del suelo.

Con los resultados del estudio piloto (véase figura 2), donde se demostró que la contaminación del acuífero es de bajo riesgo, el OOMAPAS elaboró el proyecto ejecutivo Recarga Artificial de Acuífero, y finalmente se dio a la tarea de la construcción y puesta en operación de las lagunas de infiltración.

### Proyecto de recarga artificial

A mediados del mes de julio de 2007 se terminó la obra, con un costo financiado gratuitamente por el Banco de Desarrollo de América del Norte (Bandan) y con fondos del Programa de Infraestructura Ambiental Fronteriza México-EUA (Border Environment Infrastructure Fund, BEIF). El 30 de julio del mismo año empezó el proceso de infiltración con un gasto aproximado de 300 litros por segundo.

*La recarga artificial del acuífero es un sistema que consiste en 12 lagunas de infiltración de aproximadamente 1 hectárea de superficie; el agua tratada es vertida y se infiltra de manera natural hasta llegar al acuífero de la región, donde anualmente se infiltran aproximadamente 10 millones de metros cúbicos. Este mecanismo, después de varios años de operación, recibe actualmente un pulimento extra mediante el humedal artificial.*



La recarga artificial del acuífero es un sistema que consiste en 12 lagunas de infiltración de aproximadamente 1 hectárea de superficie; el agua tratada es vertida y se infiltra de manera natural hasta llegar al acuífero de la región, donde anualmente se infiltran aproximadamente 10 millones de metros cúbicos (Hernández *et al.*, 2018).

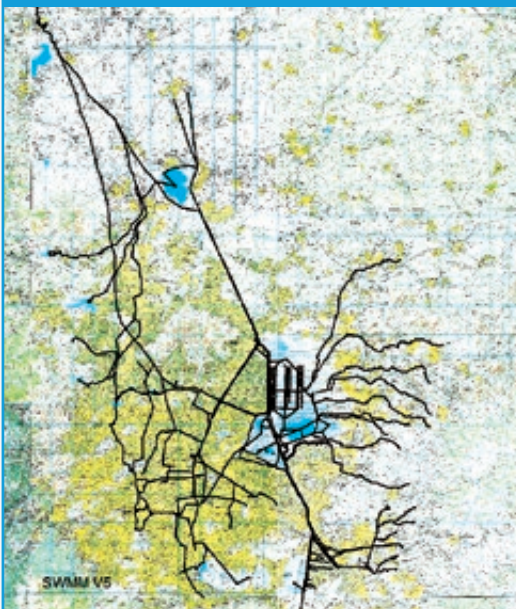
Este mecanismo, después de varios años de operación, recibe actualmente un pulimento extra mediante el humedal artificial que se describirá a continuación. El humedal favorece la eliminación de un porcentaje de nutrientes y sólidos suspendidos totales presentes en el agua proveniente de la PTAR. La eliminación de estos materiales ayudará a mantener el sistema de recarga de la PTAR en buenas condiciones, ya que se reducirá de manera considerable el problema de colmatación.

En la ficha técnica de la figura 3 se muestra el resumen de las características del proyecto.

El terreno donde se encuentra la PTAR y la obra de recarga del acuífero es de 240 hectáreas y en esta misma superficie está por concluirse la construcción de un humedal artificial cuyo objetivo es retomar la idea original (1996) de construir una planta de tratamiento y un ecobosque. Este último concepto se había pensado para subsanar la baja densidad de áreas verdes en la zona urbana de la ciudad, para crear una gran área arbolada y de especies vegetales menores (40 hectáreas) utilizando agua tratada para su riego.

Con el proyecto en construcción del humedal, denominado oficialmente con el nombre de la etnia regional cucapá, se busca la creación de un área para realizar labores de conservación y educación ambiental donde las personas puedan

#### 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 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](mailto: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](mailto:megaproinfo@yahoo.com.mx)

## ► Sustentabilidad

Proyecto de recarga artificial en San Luis Río Colorado

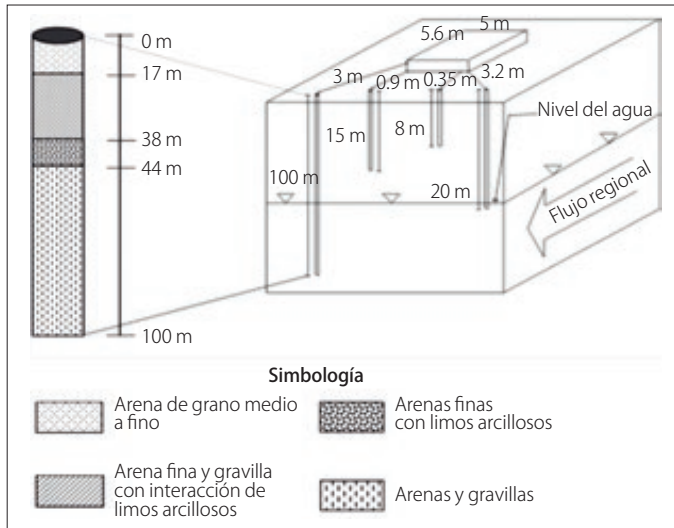


Figura 2. Prueba piloto.

aprender sobre los procesos y cuidados del medio ambiente de esta región, y agregarle al proceso de tratamiento de las aguas residuales un paso más de depuración en su calidad antes de infiltrarla hacia el acuífero.

El diseño biológico del humedal artificial Cucapá, ubicado en los terrenos de la PTAR, está basado en la historia del ecosistema del río Colorado, que está conformado por una zona de marismas, una zona ribereña, un bosque de mezquite y la meseta alta de matorral xerófilo. El proyecto tiene actualmente un 85% de avance de cobertura vegetal; las marismas están

conformadas por 8 hectáreas de tule como especie principal, que tiene la función primordial de depurar de contaminantes. Además, se ha integrado a este ecosistema el coquillo y la hierba del manso, esta última también de importancia para las comunidades étnicas locales, entre ellas Cucapá y la comunidad no étnica de la región, que la han utilizado como especie medicinal por años.

La región de la ribera está poblada principalmente por sauces y álamos, que son los árboles reconocidos en la historia como los nativos del río Colorado y los óptimos para brindar refugio a algunas especies de aves que los prefieren como hábitat principal. También se ha considerado el bosque de mezquite, que presenta una densidad de 420 árboles reforestados por hectárea; en el año 2018, como parte de la fase 1 del proyecto de reforestación, se plantaron 900 mezquites dulces y palos verdes. El área destinada al matorral xerófilo comprenderá 12 hectáreas para formar un bosque de menor densidad que el anterior, pero el proyecto en conjunto será un área verde que comprenderá 25 hectáreas de bosque para el refugio de la vida silvestre, entorno que se convertirá en un oasis en el desierto.

La PTAR y el humedal Cucapá de San Luis Río Colorado cumplen actualmente una función muy importante para la conservación de las aves migratorias acuáticas, ya que éstas

*Para que el humedal Cucapá cumpla con las especificaciones necesarias para ser caracterizado como sistema de tratamiento se utilizaron distintos modelos de diseño, siendo el del flujo pistón disperso el más efectivo para este propósito. El sistema tendrá un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 18 días, durante el cual, según las modelaciones realizadas, se obtendrán eficiencias de remoción de hasta 86% de nutrientes y 90% de sólidos suspendidos.*





**Figura 3.** Ficha técnica del proyecto de recarga (ismar9). Humedal artificial Cucapá.

recorren la ruta del Pacífico durante el invierno y han llegado a la PTAR desde su construcción en 2006, por lo que el proyecto del humedal de San Luis Río Colorado ofrece un espacio de conservación adicional para algunas aves (anátidas) que suelen vivir en las proximidades de las masas de agua.

Asimismo, este entorno ofrece un hábitat para algunos animales rapaces, como el halcón peregrino, que es residente y migratorio en la temporada, y de otras especies que dependen más de la vegetación de marismas y se refugian principalmente en el tule; también se pueden apreciar registros de individuos del gorrión sabanero.

La amplia zona desértica contigua al humedal Cucapá ofrece además la oportunidad de conservación no sólo para las

especies acuáticas, sino también para el camaleón del Gran Desierto (*Phrynosoma macalli*), que tiene la categoría de especie amenazada.

Para que el humedal Cucapá cumpla con las especificaciones necesarias para ser caracterizado como sistema de tratamiento se utilizaron distintos modelos de diseño, siendo el del flujo pistón disperso el más efectivo para este propósito. El sistema tendrá un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 18 días, durante el cual, según las modelaciones realizadas, se obtendrán eficiencias de eliminación de hasta 86% de nutrientes y 90% de sólidos suspendidos.

Desde su inicio se aplicaron técnicas topográficas para garantizar el correcto régimen de flujo especificado para este tipo de tratamiento, lo que garantiza un régimen laminar en la mayoría del sistema e induce que toda la superficie activa del humedal sea aprovechada.

Otro factor importante es la colocación espacial de los lechos de hidrofitas que se ubicaron dentro del sistema; entre las especies que se utilizaron están el tule, el carrizo, el coquillo y la hierba del manso. Los lechos de estas especies fueron colocados técnicamente en puntos clave del sistema para provocar la interacción con el agua del proceso.

### Visión ecológica a futuro

En cuanto a las especies de aves, existe un gran interés en que la ampliación del Sistema de Humedales del Delta del Río Colorado pueda albergar en un futuro a especies prioritarias de aves de marisma, como la garcita de tular (*Yxobrychus exilis*), el ralito negro (*Laterallus jamaicensis coturniculus*) y el palmo-teador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*), categorizado como especie amenazada en México y en peligro de extinción en Estados Unidos ◀

### Referencias

- Hernández, H. (2013). Recarga artificial en San Luis Río Colorado. Jornadas técnicas del agua. UNAM.
- Hernández, H., R. Campuzano, L. Valenzuela y J. Ramírez (2018). Acuífer recharge with treated municipal wastewater: long-term experience at San Luis Río Colorado, Sonora. *Sustainable Water Resources Management* (2)4: 251-260. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40899-017-0196-2>
- Servicio Meteorológico Nacional, SMN. Récoros meteorológicos de SLRC. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/26086.txt>
- [http://www.ismar9.org/map/SonoraSLRC\\_english\\_v1.pdf](http://www.ismar9.org/map/SonoraSLRC_english_v1.pdf)

# Zonas periurbanas con **riesgo** de **sequía**



navojoa.gob.mx

En este artículo se aborda la vulnerabilidad en comunidades periurbanas situadas en regiones con riesgo de sequías, donde el tema de agua es crítico. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de resiliencia de estas comunidades ante eventos derivados del cambio climático. Las zonas de estudio son el ejido San Pedro el Saucito en Hermosillo, Sonora, y Los Pargos en la ciudad de Aguascalientes. La metodología de estudio se basó en un análisis de las percepciones de la población en ambas comunidades sobre los cambios en el clima.



**GLORIA SOTO MONTES DE OCA**

Profesora-investigadora del Departamento de Ciencias Sociales (DCS), Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa (UAM-C).



**MIRIAM ALFIE COHEN**

Profesora-investigadora del DCS, UAM-C.

El entendimiento del cambio climático es cada día más importante. Los impactos en el ciclo hidrológico son uno de los principales retos para la gestión del agua, especialmente en países en desarrollo donde el aumento de la población y la escasez del recurso hídrico han causado pérdida de cultivos y ganado, hambrunas, migración y riesgos a la seguridad humana (IPCC, 2007; Kharraz *et al.*, 2012).

Para México, el análisis de la vulnerabilidad de las zonas urbanas ante el cambio climático es de primer orden de importancia, pues 78% de su población se concentra en ciudades (Inegi, 2010b). Este trabajo de investigación se centra en las zonas periurbanas, definidas como los espacios que se localizan en las periferias de las ciudades y que sirven como interfase entre el territorio urbano y el rural, las cuales están tipificadas como espacios híbridos. Las áreas periurbanas en México, por lo ge-

neral, presentan marginación socioeconómica e infraestructura escasa, pero también gozan de mayor disponibilidad de capital natural (Galindo y Delgado, 2006; González y Larralde, 2013).

El problema de las sequías representa para México un alto grado de vulnerabilidad climática, pues 60% del territorio experimenta climas secos y muy secos, y se estima que cerca del 40% de sus habitantes están localizados en zonas con riesgo ante este fenómeno (sequía alta-media y baja) (DOF, 2009; Cenapred, 2014).

El primer caso de estudio se sitúa en la ciudad de Hermosillo, Sonora, ubicada a 280 kilómetros de la frontera con Estados Unidos, con una población de 884,273 habitantes (Inegi, 2015b). Según su clasificación climática, entra en una categoría desértica, con un promedio de temperaturas altas de 49.5 °C. El segundo caso se localiza cerca de la ciudad de Aguascalientes, la cual tiene cerca de 1 millón de habitantes. El clima en la ciudad es semiseco y semiseco templado, con una temperatura promedio alta de 26.4 °C y mínima de -7 °C. (Inegi, 2015a). En ambas ciudades, la escasez del agua es una preocupación debido a la baja disponibilidad natural del recurso, al crecimiento de la población y a la actividad económica (véase figura 1).

El ejido de San Pedro el Saucito, en Hermosillo, cuenta con 2,938 habitantes y 1,240 hogares, la mayoría de éstos ubicados cerca de la carretera Hermosillo-Nogales. Según datos del último censo, 87.4% de las viviendas tienen servicios de electricidad, drenaje y agua corriente, aunque las calles no están pavimentadas (Inegi, 2010b). Debido a su proximidad respecto a la ciudad de Hermosillo, algunos residentes de esta capital tienen casas de descanso en la comunidad. La agricultura y la



## ► Cambio climático

Zonas periurbanas  
con riesgo de sequía



**Figura 1.** Comunidades periurbanas seleccionadas: San Pedro el Saucito en Hermosillo y Los Pargos en Aguascalientes.

ganadería fueron las actividades más importantes en el área, pero debido a problemas de escasez de agua la comunidad tuvo que adoptar nuevas actividades, entre las que destacan la cría de caballos y la preparación de alimentos, ambas con un papel relevante como fuente de empleo entre los habitantes del ejido.

Los Pargos, en Aguascalientes, es un pequeño ejido que se caracteriza por tener un entorno naturalmente rico, formado por un bosque de mezquite y una pequeña presa. Estos atributos naturales atraen visitantes de la ciudad, principalmente durante los fines de semana y en el periodo de Semana Santa. Sin embargo, no existe una infraestructura o servicios turísticos, además de que la comunidad no recibe ningún beneficio de esta actividad. De acuerdo con datos oficiales, Los Pargos tiene sólo 235 habitantes, las calles no están pavimentadas y los servicios de salud más cercanos están en la ciudad de Aguascalientes; sólo hay una escuela de nivel preescolar y una primaria (Inegi, 2010a). La fabricación de ladrillos es la actividad económica predominante, de manera que la mayoría de las familias en la comunidad tienen su propio taller. Las autoridades ambientales regulan los materiales utilizados para evitar el uso de leña u otros altamente contaminantes necesarios para dicha actividad.

Se llevaron a cabo diversos talleres con pobladores para conocer los posibles impactos del cambio climático en estas zonas. Participaron 28 mujeres en los dos talleres de Los Pargos, mientras en San Pedro el Saucito lo hicieron 14 mujeres en un taller y cinco hombres en otro. Se utilizó una metodología para analizar cuatro dimensiones de vulnerabilidad con base en las percepciones de los participantes (Conanp-GIZ, 2014).

### **Percepciones del cambio climático y sus efectos**

Con la información obtenida de los talleres en ambas comunidades, se confirmó que existe una percepción general de cambios en el clima local y la manera en que éstos afectan el bienestar. En ambas comunidades se advierte un aumento en la temperatura en diferentes proporciones, así como una disminución en las precipitaciones. En las tablas 1 y 2 se muestran las apreciaciones sobre los impactos en cada zona.

*A pesar de que en las dos zonas periurbanas perciben aumento en la temperatura y reducción en la precipitación, la magnitud de los cambios es diferente. Las declaraciones de los participantes en San Pedro el Saucito muestran que se experimentan mayores aumentos en la temperatura y reducción severa en las precipitaciones. Para los participantes de esta zona, las altas temperaturas son un foco rojo, pues llegan a rebasar en algunas ocasiones los 55 °C e imposibilitan permanecer al aire libre.*

**Tabla 1. Efectos del cambio en el clima percibidos por la comunidad de San Pedro el Saucito, Hermosillo**

Efectos observados	Impacto asociado
Aumento de la temperatura y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en la morbilidad humana por deshidratación, enfermedades gastrointestinales y por vector</li> <li>• Aumento en la mortalidad y morbilidad de ganado</li> <li>• Menor producción agrícola y ganadera</li> <li>• Aumento en el uso de aire acondicionado</li> <li>• Reducción de la posibilidad de estar en ambientes externos</li> <li>• Aumento de uso de automóviles para protegerse del calor</li> </ul>
Disminución de las precipitaciones y aumento de sequías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abandono de actividades del sector agrícola</li> <li>• Menor producción y calidad de alimentos cosechados</li> <li>• Escasez de agua y alimentos para ganado</li> <li>• Mayores restricciones de agua para todos los sectores</li> <li>• Polvaredas</li> <li>• Abatimiento/desecación de pozos</li> </ul>

A pesar de que en las dos zonas periurbanas perciben aumento en la temperatura y reducción en la precipitación, la magnitud de los cambios es diferente. Las declaraciones de los participantes en San Pedro el Saucito muestran que se experimentan mayores aumentos en la temperatura y reducción severa en las precipitaciones. Para los participantes de esta zona, las altas temperaturas son un foco rojo, pues llegan a rebasar en algunas ocasiones los 55 °C e imposibilitan permanecer al aire libre. Para resistir el calor utilizan aires acondicionados, sistemas de “aire lavado” (que usa agua para su funcionamiento, *coolers*) y también ventiladores, pero estos sistemas consumen electricidad, que es costosa.

En Los Pargos, los efectos del clima parecen ser más moderados; se habla de que existe un calor más intenso, aunque se indica más bien como una molestia al estar expuesto a los rayos solares. Se habla también de un clima cambiante, con más frío en las mañanas y más caluroso durante el día. El calor afecta a los animales de traspatio, pues con frecuencia se enferman.

En ambas comunidades, el efecto de mayor calor provoca la presencia de enfermedades gastrointestinales, respiratorias

y las relacionadas con vector (dengue y zika). Los participantes en ambas comunidades también perciben los efectos negativos del polvo producido por el ambiente más seco y las calles sin pavimentar, así como la gran cantidad de basura en las calles. En San Pedro el Saucito además se presenta la deshidratación, asociada al calor extremo.

Un problema adicional en el caso de San Pedro el Saucito ha sido la reducción en las precipitaciones, que ha generado el abatimiento o desecamiento de pozos. La comunidad expresó que ahora llueve menos y son muy escasos los eventos de precipitaciones. A esto también se suma una competencia por el agua, pues se argumenta que el líquido es llevado a la ciudad de Hermosillo y también se concesionan pozos a los grandes productores de uva. La falta de agua en la comunidad llevó al abandono de actividades agrícolas y ganaderas de varios de sus miembros, mientras que otros ahora tienen una menor producción y calidad de cultivos, como consecuencia del calor y la menor calidad del agua que extraen de los pozos aún existentes.

Mientras tanto, en Los Pargos ahora llueve menos y esto se ve reflejado en el nivel de la presa (lugar turístico). Sin embargo, donde la reducción de las precipitaciones ha generado un efecto severo es en la disponibilidad de alimentos silvestres. Las

**Tabla 2. Efectos del cambio en el clima percibidos por la comunidad de Los Pargos, Aguascalientes**

Efectos observados	Impacto asociado
Aumento de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en la morbilidad humana, casos de enfermedades gastrointestinales, respiratorias y por vector</li> <li>• Aumento en la mortalidad y morbilidad de animales de traspatio</li> <li>• Reducción de la posibilidad de estar en ambientes externos</li> <li>• Se debe empezar a trabajar más temprano en la producción de ladrillo</li> </ul>
Disminución de las precipitaciones y aumento de sequías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reduce la disponibilidad de alimentos silvestres</li> <li>• Se reduce el nivel de la presa</li> <li>• Polvaredas</li> <li>• Se puede trabajar más días en la producción de ladrillo</li> </ul>

## ► Cambio climático

*Zonas periurbanas  
con riesgo de sequía*

participantes indicaron que la comunidad acostumbra cortar nopales, tunas, el corazón de la penca del maguey y el propio maguey como fuente de alimento. La escasez de precipitaciones ha limitado esta fuente de alimentos gratuitos y ha llevado a la necesidad comprar estos productos en mercados externos.

En Los Pargos, el efecto del aumento en la temperatura y la reducción en las precipitaciones parece ser moderado sobre su actividad económica predominante, que es la producción de ladrillos. Aseveran que la reducción en las precipitaciones no les impacta negativamente y, por el contrario, les permite trabajar durante más días al año en los talleres de ladrillo, aunque reconocen que el aumento en el calor provoca molestias y los obliga empezar a trabajar desde la madrugada.

A pesar de que los impactos del cambio climático parecen menos severos en Los Pargos porque su actividad económica no se ve afectada, la marginalidad social de la comunidad es mucho mayor. La distancia para acceder a los establecimientos de salud, la falta de transporte público y la escasa comunicación y redes

sociales dentro de la comunidad son factores que afectan su bienestar en un entorno de cambio en el clima.

En comparación, San Pedro el Saucito tiene mejor nivel de servicios, como instalaciones de salud modestas (una clínica), acceso más cercano al transporte público, en muchos casos transporte privado y mecanismos de coordinación y toma de decisiones entre los miembros de la comunidad.

En las dos áreas periurbanas estudiadas, la capacidad de adaptación está condicionada por su proximidad a las áreas urbanas, puesto que ambas comunidades reciben beneficios a través de actividades económicas ampliadas y cierto acceso a servicios públicos. En los dos ejidos, una proporción de personas encuentra trabajo en la ciudad o industria en el área urbana. Otra manera de adaptación comunitaria en San Pedro ha sido el cambio a actividades que promueven el turismo de fin de semana desde la ciudad de Hermosillo.

En ambas comunidades, el gobierno presenta escasos programas de adaptación frente a la variabilidad climática. En San





Pedro los participantes se quejaron de una clara deficiencia de programas institucionales para reducir la vulnerabilidad en el sector agrícola y ganadero; el único esquema reconocido fue el programa de descacharre para reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por vector. Por su parte, en Los Pargos no se mencionó ningún tipo de apoyo proveniente de las autoridades que redujera el impacto de los cambios en el clima.

### Conclusiones

Los impactos del cambio climático en sistemas periurbanos con riesgo de sequía son un área de estudio importante para el mejor funcionamiento de las ciudades, que dependen de los bienes y servicios ambientales que proveen estas zonas. En los dos casos de estudio se observa que la sensibilidad al cambio climático aumentó cuando la actividad económica predominante dependía fuertemente del sector primario, de manera que la agricultura y la ganadería se vieron afectadas por la reducción en las precipitaciones, el aumento en la temperatura y la escasez de agua. En cambio, con la reducción de las precipitaciones para la comunidad que depende de actividades económicas secundarias las afectaciones se presentan notoriamente en la escasa disponibilidad de alimentos silvestres.

La información obtenida en esta investigación permite mejorar el conocimiento sobre los cambios que están impactando a las zonas semiáridas de México y puede proporcionar insumos para un diseño de estrategias de adaptación más puntuales destinadas a zonas periurbanas. Es necesario que los programas de las autoridades federales y estatales reconozcan las capacidades



gob.mx

*En Los Pargos ahora llueve menos y esto se ve reflejado en el nivel de la presa (lugar turístico). Sin embargo, donde la reducción de las precipitaciones ha generado un efecto severo es en la disponibilidad de alimentos silvestres. La escasez de precipitaciones ha limitado esta fuente de alimentos gratuitos y ha llevado a la necesidad comprar estos productos en mercados externos.*

y el conocimiento local de las comunidades periurbanas que viven en regiones con riesgo de sequías, otorgando otro tipo de apoyos y capacitación para enfrentar las tendencias al aumento de la temperatura y a la reducción en las precipitaciones, que se harán más pronunciadas conforme pase el tiempo. Finalmente, un buen diseño de estrategias de adaptación en zonas periurbanas podría ayudar a mantener una parte significativa de los bienes y servicios ambientales que las ciudades necesitan para ser más resilientes al cambio climático, en particular por la vulnerabilidad a la escasez de agua en todos los ámbitos del bienestar social ◀

### Referencias

- Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cenapred (2014). Sequías. Serie fascículos. México: Secretaría de Gobernación.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Conanp-GIZ (2014). Herramienta para analizar vulnerabilidad social a impactos de cambio climático en áreas naturales protegidas de México.
- Diario Oficial de la Federación, DOF (2009). Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. 28 de agosto. México.
- Galindo, C., y J. Delgado (2006). Los espacios emergentes de la dinámica rural-urbana. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 37(147).
- González, S., y A. Larralde (2013). Conceptualización y medición de lo rural. Una propuesta para clasificar el espacio rural en México. En: *La situación demográfica en México 2013*. Conapo
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2010a). Base de datos del Censo de Población y Vivienda. Aguascalientes.
- Inegi (2010b). Volumen y crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa.
- Inegi y Gobierno de Aguascalientes (2015a). Anuario Estadístico y Geográfico de Aguascalientes. Disponible en: [http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/AGS\\_ANUARIO\\_PDF15.pdf](http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/AGS_ANUARIO_PDF15.pdf)
- Inegi y Gobierno de Sonora (2015b). Anuario Estadístico y Geográfico de Sonora. Disponible en: [http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/SON\\_ANUARIO\\_PDF15.pdf](http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/SON_ANUARIO_PDF15.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007). Climate change 2007: Synthesis report summary for policymakers. Assessment of working groups I, II and III to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kharraz, J. E., A. El-Sadek, N. Ghaffour y E. Mino (2012). Water scarcity and drought in WANA countries. *Procedia Engineering* 33: 14-29. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812012039?via%3Dihub>

# Depuración con humedales artificiales en ciudades



**VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO**  
Profesor de tiempo completo  
en la Facultad de Química  
de la UNAM.



**IMELDA M. MORALES FERRERO**  
Consultora para la UNESCO México.



dicyt.com

Los humedales artificiales son ecotecnologías de tratamiento conformadas por tres componentes básicos: material pétreo de diferente granulometría, plantas vasculares y microorganismos. Su colocación en ecosistemas urbanos puede realizarse en múltiples espacios, desde pisos intermedios de edificios administrativos y viviendas hasta jardinerías, camellones, plazas, parques urbanos, lagos y parques recreativos, escuelas y centros comerciales, además de áreas residuales o sub-utilizadas. Este tratamiento permite reusar el agua tratada para el riego de áreas verdes, servicios sanitarios y otros usos que no requieran calidad potable, y disminuir así la presión sobre dicho recurso.

El agua es un recurso indispensable tanto para el desarrollo y mantenimiento de la vida como para las diversas actividades humanas. Su contaminación está estrechamente relacionada con el uso que se le da. En las ciudades, las aguas residuales son resultado de la confluencia de descargas domiciliarias, de diversos talleres, centros comerciales y de servicios. En el ámbito doméstico, comúnmente se

emplea agua potable en actividades como higiene personal, limpieza de alimentos, ropa y vivienda, así como para uso sanitario y riego de jardines. También se utiliza para la limpieza de calles, riego de vegetación ornamental y mantenimiento de esos espacios.

Con excepción del agua para uso doméstico, es posible utilizar en las otras actividades agua de menor calidad que la potable, pero igualmente útil. Las aguas residuales que se ge-

**Tabla 1. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales industriales municipales (2016)**

Tipo de tratamiento	Nombre de proceso	Número de plantas	Plantas (%)	Caudal tratado (m³/s)	Caudal tratado (%)
Primario	Primario	21	0.8	1.570	1.3
	Primario avanzado	11	0.4	4.415	3.6
	Tanque Imhoff	52	2.1	0.357	0.3
	Tanque séptico	114	4.5	0.140	0.1
Secundario	Biodiscos	24	1.0	0.924	0.8
	Dual	23	0.9	13.575	11.0
	Filtros biológicos	44	1.7	5.338	4.3
	Humedal	72	2.8	1.210	1.0
	Lagunas aireadas	34	1.3	7.391	6.0
	Lagunas de estabilización	776	30.6	14.292	11.6
	Lodos activados	732	28.9	69.148	56.0
	Reactor anaerobio de flujo ascendente	143	5.6	1.357	1.1
	Reactor enzimático	49	1.9	0.101	0.1
	Zanjas de oxidación	15	0.6	0.990	0.8
No especificado	Otros	426	16.8	2.778	2.3
	<b>Total</b>	<b>2,536</b>	<b>100.0</b>	<b>123.587</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Conagua, 2016. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.



## ► Tratamiento

### Depuración con humedales artificiales en ciudades

neran en las ciudades son en su mayor parte descargadas a un sistema de drenaje que las conducen hacia ríos, canales, suelo o plantas de tratamiento primario, y ocasionalmente de tipo secundario. Entre las principales tecnologías de tratamiento secundario o biológico se encuentran los sistemas de lodos activados, las lagunas de estabilización, las zanjas de oxidación y los biodiscos, todos ellos con diferentes variantes.

De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2016), en nuestro país se cuenta con 72 plantas de humedales artificiales (2.8% del total de plantas), cuya aportación al caudal tratado es de 1% (1,210 m<sup>3</sup>/s) (véase tabla 1). Lo anterior indica una aplicación muy incipiente en México, a pesar de que se tienen datos históricos de que los mayas y aztecas ya hacían uso de estas tecnologías y de que su empleo, con resultados mundialmente probados, principalmente en países de Europa y Norteamérica, tiene ya más de 50 años (Brix *et al.*, 2008; Langergraber *et al.*, 2008; Luna Pabello, 2014).

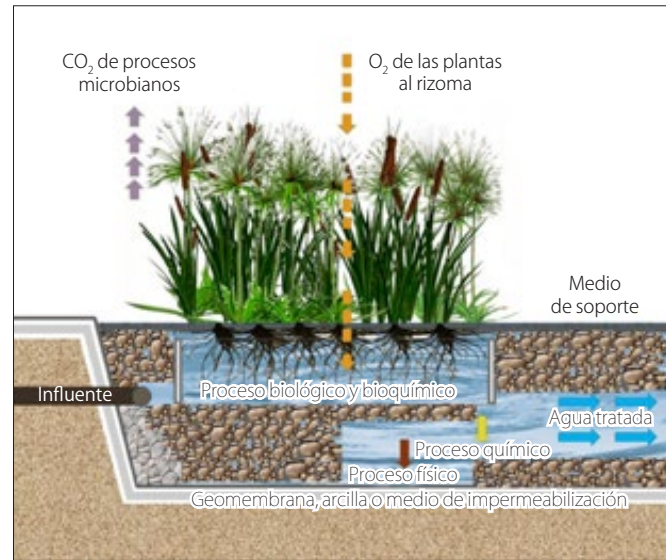
Los humedales artificiales (HA) son ecotecnologías de tratamiento de aguas contaminadas cuyo principio de funcionamiento se basa en los humedales naturales. La depuración que realizan involucra la participación conjunta de procesos físicos, físico-químicos, biológicos y bioquímicos que propician la reducción de compuestos carbonosos, nitrogenados y fosforados e incluso de contaminantes emergentes como plaguicidas, productos farmacéuticos y de aseo personal, entre otros.

En los HA o humedales de tratamiento es posible distinguir tres componentes principales: plantas vasculares, medio de soporte (material pétreo de diferente granulometría) y microorganismos (véase figura 1). Es mediante el adecuado diseño estructural y el arreglo de dichos componentes que es posible lograr la limpieza del agua (Ramírez-Carrillo *et al.*, 2009). Para ello, es necesario hacer fluir los contaminantes disueltos y suspendidos contenidos en el agua a través del HA de forma que sean retenidos, incorporados a la vegetación, transformados en biomasa microbiana y mineralizados.

### Principales componentes de un HA

#### Plantas vasculares

Los ejemplares de plantas vasculares pueden ser de tipo flotante, sumergido, emergente o terrestre; en la figura 2 se muestran las especies más comúnmente empleadas: a) carrizo (*Phrag-*



**Figura 1.** Características generales de un HA subsuperficial de flujo horizontal.

*mites australis*); b) papiro (*Cyperus papyrus*); c) cola de caballo (*Equisetum hyemale*); d) tule (*Typha angustifolia*); e) lentejilla de agua (*Lemna minor*); f) lechuga de agua (*Pistia stratiotes*); g) ninfa blanca (*Nymphaea odorata*), y h) malacote (*Hydrocotyle ranunculoides*) y lirio (*Eichornia crassipes*) mezclados en el estrato más inferior con lenteja (*Wolffia sp.*)

La selección de este componente debe hacerse teniendo en mente la función que desempeñará, pudiendo ser vegetación depuradora como los carrizos (*Phragmites australis*) y carrizos gigantes (*Arundo donax*), cuyos rizomas aporten oxígeno (Armstrong *et al.*, 2000) y mediante cuyo crecimiento progresivo se evite la oclusión del medio de soporte. Se caracterizan por su alta capacidad para retirar compuestos que contengan nitrógeno, fósforo y hasta compuestos orgánicos, incluidos los catalogados como emergentes. También está la vegetación forrajera, principalmente la alfalfa (*Medicago sativa*), la cual puede emplearse para alimento animal; vegetación de ornato o para artesanías, empleada para mejorar la estética del HA así como para la venta comercial, como el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), el ave del paraíso (*Strelitzia reginae*), las espadañas (*Typha spp.*) y los papiros (*Cyperus spp.*).

#### Medio de soporte o material pétreo

En este componente suelen emplearse de dos a cuatro tipos de granulometría. El material a usar, así como el tamaño y su colocación, constituyen parte muy importante del diseño del HA (Drizo *et al.*, 2000). Sobre el horizonte exterior es donde crecen



# MEDIDORES ULTRASÓNICOS CON TELEMETRÍA

Los medidores ultrasónicos ALFA son una excelente alternativa para cuantificar de forma precisa la cantidad de fluido que transita por una tubería.



Gracias a su innovador display electrónico con capacidad inalámbrica, pueden conocerse en tiempo real datos como:

- Detección de fugas
- Aviso de falla permanente
- Nivel de batería
- Dirección de flujo
- Pulso de salida
- Bucle de alimentación



## 1. ACCESO A PLATAFORMA



## 2. MAPA LOCALIZADOR



## 3. UBICACIÓN DEL MEDIDOR



## 4. FACTURACIÓN DE CONSUMO





## ► Tratamiento

Depuración con humedales artificiales en ciudades



Figura 2. Ejemplo de plantas vasculares comúnmente empleadas en HA.

las plantas, y en todo el espesor proliferan los microorganismos depuradores libres nadadores y de la película microbiana. El material empleado (andesitas, riolitas y basaltos), además de permitir la retención de partículas suspendidas, puede funcionar para absorber y adsorber elementos orgánicos e inorgánicos contaminantes (carbonatitas y rocas que contienen óxidos de manganeso) que se encuentren disueltos en el agua en proceso de tratamiento, para la precipitación química y adsorción de metales (zeolitas) y la mineralización de no metales como fósforo, azufre y cloro (carbonatitas y ferrocarbonatitas).

### Microorganismos depuradores

Los microorganismos presentes en HA nadan libremente en el agua contenida en él o bien crecen adheridos al medio de soporte y forman una biopelícula. En la figura 3 se muestran algunos ejemplos: a) *Tetrahymena pyriformis*; b) *Littonotus lamella*; c) huevecillo de helminto; d) agrupación de *Paramecium sp.*; e) rotífero (*Rotaria rotatoria*); f) *Paramecium aurelia*; g) *Spirostomum minus*; y h) *Spirostomum teres*.

Entre los principales se encuentran bacterias heterótrofas aerobias, facultativas y anaerobias, protozoos bacterívoros (adheridos, libres nadadores y reptantes) y micrometazoos, que en conjunto biotransforman la materia orgánica carbonosa, nitrogenada y fosforada tanto en biomasa microbiana como en compuestos minerales tipo dióxido de carbono, amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno molecular y fosfato inorgánico. Existen tam-

bién microorganismos endofíticos que permiten a las plantas eliminar algunos contaminantes con mayor eficiencia. Asimismo, los microorganismos desempeñan un papel importante al realizar procesos de biodesinfección de las aguas en tratamiento mediante la ingesta directa, por parte de protozoos y micrometazoos, de bacterias de origen fecal como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Shigella spp.*

Brix (1993) sugiere clasificar a los HA en cuatro tipos tomando como base la forma de vida de las plantas vasculares del sistema (véase figura 4). Tres de ellos corresponden a humedales acuáticos o de flujo superficial (plantas flotantes, sumergidas y emergentes) y uno a humedales de flujo subsuperficial (plantas terrestres). En el caso de los HA subsuperficiales de flujo vertical (véase figura 1), es necesario contar con un contenedor del material de soporte, cuyo espesor suele oscilar entre 0.6 y 1.5 metros, mientras que para los HA subsuperficiales de flujo horizontal, los lechos tienen una altura de entre 0.4 y 0.6 metros.

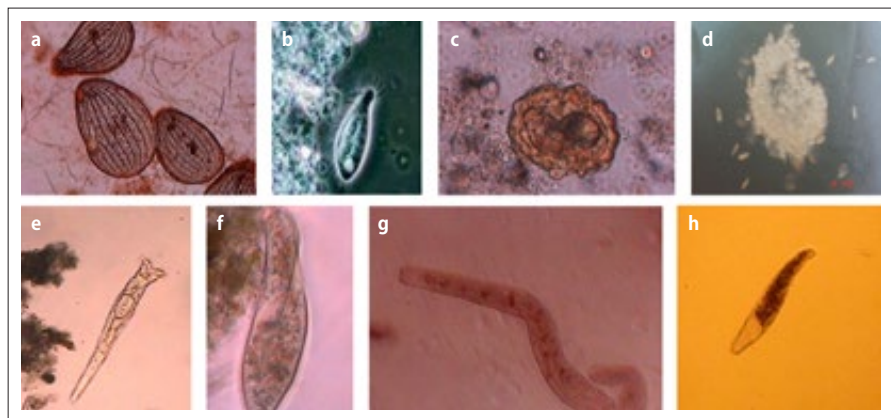
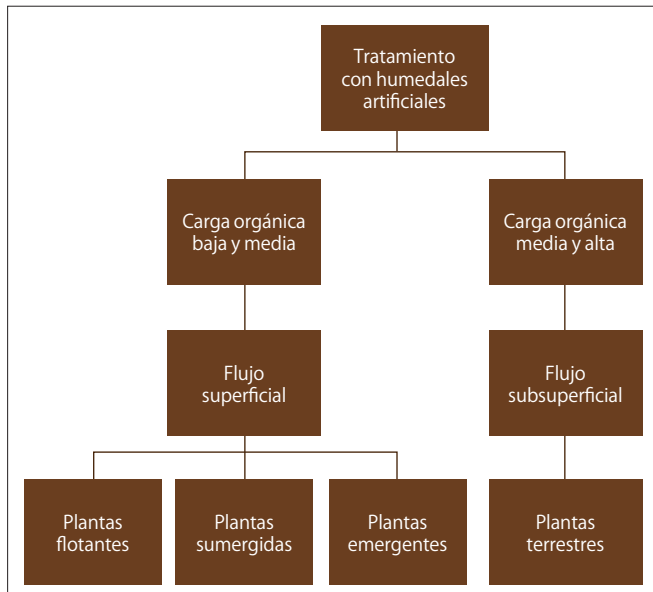


Figura 3. Ejemplos de microorganismos que pueden estar presentes dentro de un HA.



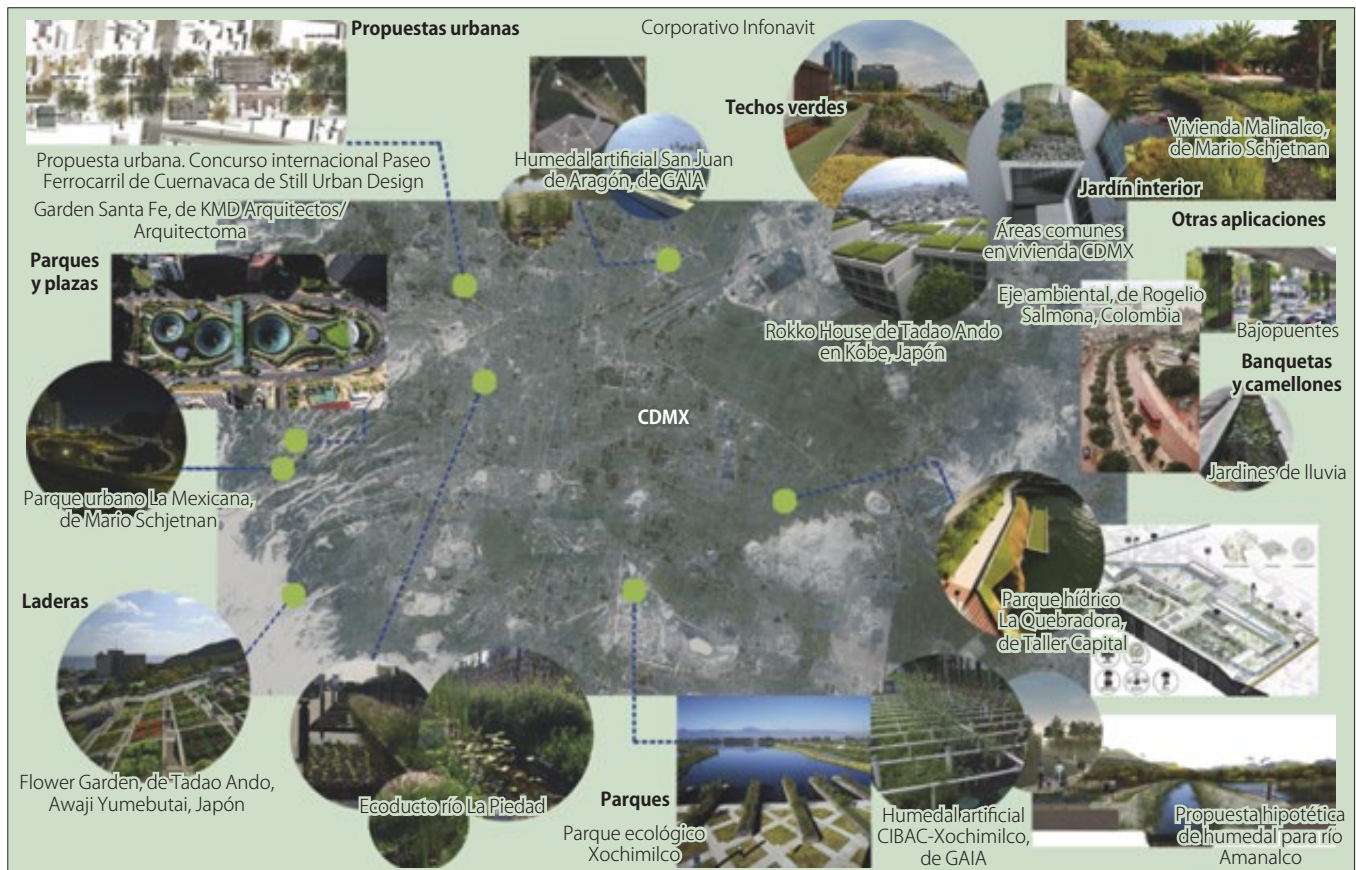


**Figura 4.** Clasificación de los HA en función de la forma de vida de las plantas vasculares.

**Aplicaciones en la ciudad**

Existen amplias posibilidades de emplear HA en la ciudad y no dependen de la existencia o inexistencia de conexión con el drenaje urbano. Para facilitar el tratamiento del agua residual o contaminada sería de gran utilidad la segregación o separación de las diferentes corrientes.

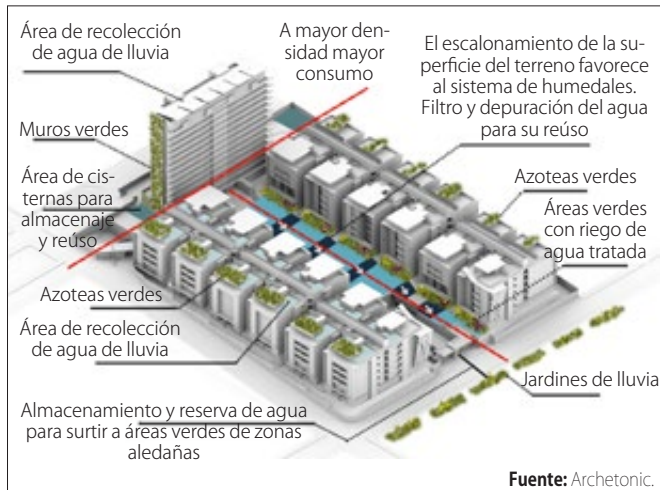
La instalación podría hacerse en pisos intermedios de edificios administrativos, plazas, viviendas, jardinerías, parques urbanos, camellones, lagos y parques recreativos, escuelas y centros comerciales, áreas residuales o subutilizadas como bajopuentes, laderas, zonas de barrancas, o de manera similar al tramo superficial del Río de la Piedad en la Ciudad de México, así como zonas periurbanas y en general en cualquier ecosistema urbano (véase figura 5).



**Figura 5.** Referentes simbólicos nacionales e internacionales de aplicación de humedales en entornos urbanos.

## ▶ Tratamiento

Depuración con humedales artificiales en ciudades



**Figura 6.** Zonificación de una propuesta hipotética con base en maqueta de proyecto de conjunto habitacional.

La implantación de HA no sólo contribuiría a reducir la presión sobre el uso de agua potable para el mantenimiento de áreas verdes, sino también disminuiría la descarga que actualmente se hace de manera directa hacia el suelo y subsuelo –con el consecuente deterioro de éstos y la generación de focos de infección para la salud humana–, ya que sus efluentes serían acordes con lo indicado en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997).

Entre los conceptos de diseño arquitectónico que podrían contribuir a aumentar la conectividad mediante el diseño de infraestructura verde se encuentran andadores y vías verdes o techos verdes (Krauss *et al.*, 2010) con el potencial para tratar aguas pluviales, escorrentías y aguas mixtas contaminadas (residuales mezcladas con aguas de lluvia), cuyo diseño incorpore como componente vegetal no sólo lo relativo a huertos urbanos y hortalizas, sino también especies nativas en lugar de exóticas (véase figura 6).

### Conclusiones

Los HA son una ecotecnología escasamente empleada en ecosistemas urbanos, no obstante su amplio potencial para ser instalada en múltiples espacios subutilizados como pisos intermedios de edificios administrativos, plazas, viviendas, jardinerías, parques urbanos, camellones, lagos y parques recreativos, escuelas y centros comerciales, así como áreas residuales o subutilizadas. Los HA podrían contribuir a la conectividad entre los ecosistemas existentes, modificados y nuevos, al igual que a su restauración y rehabilitación dentro de las ciudades. El tratamiento mediante HA permitiría reusar el agua tratada para el riego de áreas verdes, servicios sanitarios y otros usos

que no requieran el empleo de agua de calidad potable, a fin de disminuir la presión sobre dicho recurso y fomentar la mejora en la calidad de vida de los habitantes.

Se trata de impulsar actividades de educación ambiental, contemplación, recreación y turismo a la par de la sensibilización y concienciación sobre los procesos hídricos y su importancia en el ciclo de la vida de una ciudad; vivir, transitar y disfrutar la ciudad con una dimensión más natural y sustentable ◀

### Reconocimientos

Proyectos UNAM/DGAPA/PAPIIT núm. IN 107209, “Desarrollo de un humedal artificial de alta eficiencia para remoción de contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos” y No. IT103312, “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de tratamiento móvil para depuración y reúso de aguas residuales de tipo municipal”; Convenio de Colaboración Académica y de Investigación núm. 18029-314-13-III-06, “Estudios integrales e interdisciplinarios relacionados con la sustentabilidad, la conservación ecológica y la biodiversidad de la zona lacustre de Xochimilco”, celebrado entre la Facultad de Química de la UNAM y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Proyecto del Gobierno del Distrito Federal CONV-GDF-SMA-FIDAM-01/UNAM 19628-143-12-II07, “Humedal artificial para el control de la contaminación del lago del Bosque de San Juan de Aragón”.

Se agradece el apoyo brindado por Fernando Gómez Santamaría para la identificación de las especies vegetales indicadas en la figura 2.

Imágenes empleadas como apoyo para la conformación de las figuras 5 y 6: Namba park. Osaka: [http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanapl.showprojectbigimages&mode=2&img=1&pro\\_id=19925](http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanapl.showprojectbigimages&mode=2&img=1&pro_id=19925)

Azotea Verde Infonavit: <http://www.elfinanciero.com.mx/tech/5-construcciones-verdes-hechas-en-mexico>

Eje ambiental, Rogelio Salmons, Bogotá: <https://i.pinimg.com/originals/a1/2c/4e/a12c4ec6d9e81b5105d6bdaa597765cd.jpg>

Concurso FFCC Cuernavaca. Arquine: <http://www.arquine.com/concurso-ffcc-mexico-de-agua/>

Techo y muros verdes, Carrefour, Francia: <http://www.canevaflor.cl/proyectos>  
Maqueta de conjunto Natura: <http://archetonic.mx/proyectos/natura/>

### Referencias

- Armstrong, W., D. Cousins, J. Armstrong, D. W. Turner y P. M. Beckett (2000). Oxygen distribution in wetland plant roots and permeability barriers to gas-exchange with the rhizosphere: A microelectrode and modelling study with *Phragmites australis*. *Annals of Botany* (3)86: 687-703.
- Brix, H. (1993). Wastewater treatment in constructed wetland: System design, removal process and treatment performance. En: G. Moshiri (Ed.). *Constructed wetlands for water quality improvement*: 9-22. Boca Ratón: CRC Press.
- Brix H., H. Schierup y C. A. Arias (2008). Twenty years experience with constructed wetland systems in Denmark – What did we learn? *Water Science & Technology* (3)56: 63-68.
- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2016). Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Consultado el 8 de julio de 2018. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=0&n=nacional>
- Diario Oficial de la Federación, DOF (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México.
- Drizo, A., A. C. Frost, K. A. Smith y J. Grace (2000). Phosphate and ammonium distribution in constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate. *Water Research* (9)34: 2483-2490.
- Krauss, J., *et al.* (2010). Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters* (5)13: 597-605.
- Langergraber, G., K. Leroch, A. Pressl, R. Rohrhofer y R. Haberl (2008). A two-stage subsurface vertical flow constructed wetland for high-rate nitrogen removal. *Water Science and Technology* (12)57: 1881-1887.
- Luna Pabello, V. (2014). Humedal artificial. Una ecotecnología prehispánica para el manejo sustentable del agua. *Academia, Ciencia y Cultura* 3: 175-185. México: AAPUNAM.
- Ramírez Carrillo, H. F., V. M. Luna Pabello y J. L. Arredondo Figueroa (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* (1)8: 93-99.





## ¿Por qué es importante un radar meteorológico?

Vivimos en un mundo donde el cambio climático trae graves consecuencias, las cuales no siempre pueden predecirse. Es por esto que, con ayuda del radar meteorológico instalado en el Cerro de la Estrella por Rossbach de México, se podrá pronosticar de manera más precisa dónde lloverá y la intensidad de las precipitaciones. Lo anterior permite gestionar las políticas de operación de la infraestructura hidráulica que ayudarán en la toma de decisiones en tiempo real.

- Empresa 100% mexicana.
- Más de 60 años de experiencia.

Para el sector hidrometeorológico Rossbach ofrece:


- Radares meteorológicos.
- Estaciones hidrometeorológicas automáticas.
- Sistemas de radiocomunicación y telemetría.



[www.rossbach.com.mx](http://www.rossbach.com.mx)  
[@rossbachmexico](https://twitter.com/rossbachmexico)

1ª cerrada de Xola No. 30  
Col. del Valle, CDMX, 03100  
+52 (55) 5147-0547





# El agua: régimen jurídico y derecho humano



Escribir sobre la gestión jurídica del agua es referirse al conjunto de leyes y reglamentos que norman la relación del ser humano con este vital elemento. La gestión jurídica del agua nos remite necesariamente a pensar en este recurso desde el derecho y cómo es que esta rama del conocimiento hace frente a los retos que implica tanto la preservación como el uso del agua.



### ANAÏD VELASCO RAMÍREZ

Gerente de Investigación del Centro Mexicano de Derecho Ambiental.

El agua es un elemento que por su omnipresencia no escapa del ámbito de lo jurídico. Al ser un recurso transversal, origen de vida y desarrollo, se convierte en un factor que influye en las relaciones de una sociedad, ya sea por la necesidad de supervivencia o por su demanda como insumo productivo, y como tal ha sido objeto del derecho.

En México, el régimen jurídico de la gestión del agua tiene su fundamento en la Constitución política, y de manera inmediata en el artículo 27, que desde 1917 reconoce la propiedad originaria de la nación sobre las aguas y las tierras comprendidas en el límite del territorio nacional, al tiempo de prever la regulación del aprovechamiento de los elementos naturales para hacer una distribución equitativa de la riqueza y para cuidar su conservación. Este mismo artículo enuncia cuáles aguas son consideradas nacionales, cuáles de las entidades federativas y cuáles son parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corren o en los que se encuentren sus depósitos.

Además del artículo 27, existen otros fundamentos constitucionales que tienen relación directa con la gestión del agua (véase tabla 1) y cuyo contenido no necesariamente se toma en consideración al pensar en el marco jurídico del agua.

No obstante lo anterior, es importante conocer estos fundamentos, puesto que de ellos derivan leyes secundarias cuya aplicación puede generar traslapes, vacíos o contradicciones en la gestión del agua, atendiendo al objeto y enfoque de cada ley secundaria. Así por ejemplo, mientras que la Ley de Aguas Nacionales –ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en lo relativo a la administración de las aguas nacionales– establece que en todos los casos tendrá prioridad el uso doméstico y el público urbano sobre otro tipo de usos del agua, entre ellos el uso para generación de energía o el uso industrial, la Ley de Hidrocarburos –ley reglamentaria de los artículos 25, 27 y 28



## ► Legislación

El agua:  
régimen jurídico  
y derecho humano

constitucionales— establece que las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos se consideran de interés social y orden público, por lo que tendrán preferencia sobre cualquier otra que implique el aprovechamiento de la superficie o del subsuelo de los terrenos afectos a aquéllas.

Algunas de las leyes generales y federales más relevantes en la gestión del agua se enumeran en la tabla 2.

Es importante señalar que este análisis se hace en función de las leyes federales y generales, pero hay que considerar que cada entidad federativa tiene un marco jurídico del agua en lo que concierne a su competencia, lo mismo que los municipios; tomando esto en cuenta, el grado de complejidad de la gestión jurídica del agua aumenta.

Entender la situación que atraviesa la gestión del agua hoy en día necesariamente nos lleva a la necesidad de una aproximación interdisciplinaria del tema, donde el derecho desempeña un papel importante al establecer las reglas del uso y conservación de este elemento. Entre estas reglas, por lo tanto, estudiar el agua desde las leyes sectoriales del agua es limitar el conocimiento e ignorar que, así como en la realidad el agua atraviesa distintas actividades del ser humano, en el mundo del deber ser, que es el derecho, dichas actividades también tienen reglas específicas que deben ser conocidas para saber cómo influyen unas en otras.

### El derecho humano al agua en el régimen jurídico mexicano

El reconocimiento constitucional del derecho humano al agua se dio en febrero de 2012, cuando se reformó el artículo 4 para



Tabla 1. Fundamentos constitucionales

Artículo	Contenido/relación
1	Obligaciones de todas las autoridades de respetar, proteger y garantizar los derechos humanos reconocidos en la Constitución, de conformidad con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad, entre ellos el derecho al medio ambiente sano, el derecho a la salud y el derecho humano al agua.
2	Reconocimiento de México como nación pluricultural, derecho de libre determinación y autonomía de los pueblos y comunidades indígenas, así como derecho de uso y disfrute preferente de los recursos naturales de los lugares que habitan y ocupan, salvo aquellos que corresponden a las áreas estratégicas.
4	Reconocimiento del derecho humano a la salud y al medio ambiente sano; la realización de ambos derechos tiene relación directa con el agua. Reconocimiento del derecho humano al agua. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.
25	Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable. Con criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, y se les sujetará a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.
26	Sistema de planeación democrática del desarrollo nacional. La planeación debe ser democrática y deliberativa. Mediante los mecanismos de participación que establezca la ley, recogerá las aspiraciones y demandas de la sociedad para incorporarlas al plan y los programas de desarrollo.
73	Es facultad del Congreso de la Unión promulgar leyes que establezcan la concurrencia en materia de protección ambiental y equilibrio ecológico.
115	Facultades municipales en materia de provisión del servicio público de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.
133	Los tratados internacionales son ley suprema. México ha firmado varios tratados internacionales en materia de aguas transfronterizas y medio ambiente.



*Entender la situación que atraviesa la gestión del agua hoy en día necesariamente lleva a la necesidad de una aproximación interdisciplinaria del tema, donde el derecho desempeña un papel importante al establecer las reglas del uso y conservación de este elemento. Estudiar el agua desde las leyes sectoriales es limitar el conocimiento e ignorar que, así como en la realidad este recurso atraviesa distintas actividades del ser humano, en el mundo del derecho dichas actividades también tienen reglas específicas que deben ser conocidas para saber cómo influyen unas en otras.*

establecer que “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”.

Este derecho humano al agua, por lo tanto, no abarca todos los usos del agua, sino sólo aquella agua en cantidad y calidad suficiente para satisfacer necesidades de hidratación (agua para beber), higiene (agua para limpieza personal y del hogar) y alimentación (agua para preparar alimentos), y cuyo acceso debe ser asequible en términos físicos, culturales y económicos.

Para hacer realidad este derecho se mandató la creación de una nueva Ley General de Aguas, que es uno de los grandes pendientes de la agenda legislativa y que tiene cinco años de retraso. No obstante ello, el cumplimiento del derecho humano al agua es una obligación de las autoridades en términos del artículo 1° constitucional, cuyo cumplimiento puede ser de forma progresiva.

Lo anterior implica que si bien el derecho no es de cumplimiento inmediato (de un día a otro) pues implica planeación, programación y presupuesto, las autoridades en el ámbito de su competencia deben llevar a cabo medidas graduales y constantes tendientes a hacer realidad el acceso universal a los servicios de agua, máxime que este acceso universal se inserta entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una agenda adoptada por México.

Algunas consideraciones importantes a tomar en cuenta para esta Ley General de Aguas es que se trata de una ley cuya razón de ser es la implementación de un derecho humano, y por lo tanto el enfoque del ordenamiento debe seguir esta lógica e incluir principios de equidad, justicia y sustentabilidad para los distintos usuarios del agua, mecanismos de coordinación y transversalidad que ayuden a que las distintas autoridades involucradas en la gestión del agua conozcan de las acciones

**Tabla 2. Leyes generales y federales relacionadas con la gestión del agua**

Leyes generales	Leyes federales
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Ley de Aguas Nacionales
Ley General de Cambio Climático	Ley Minera
Ley General de Salud	Ley Federal de Derechos
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica
Ley General de Desarrollo Social	Ley de Hidrocarburos
Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables	Ley de Energía Geotérmica
Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública	Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	
Ley General de Bienes Nacionales	

de política pública que llevan a cabo en la materia, mecanismos para el acceso a la información, la participación social, la rendición de cuentas y la justicia, además de los instrumentos ya previstos en la vigente Ley de Aguas Nacionales.

Finalmente, una implementación efectiva del derecho humano al agua desde el marco jurídico implica no sólo la publicación de la Ley General de Aguas, sino una revisión de las demás leyes sectoriales, con miras a armonizar el enfoque de las políticas públicas e instrumentos de gestión de forma que sea materialmente viable la gestión integrada del agua y el acceso universal al agua potable ◀



arup.com

# Sistemas urbanos de drenaje sostenible



**JOMELAH MORALES RAYO**

Estudiante de posgrado en Ingeniería civil-hidráulica, Universidad Nacional Autónoma de México.

---

Coautores: **OSCAR JESÚS LLAGUNO GUILBERTO, JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ VARELA** y **JUAN MALDONADO SILVESTRE.**



El crecimiento acelerado de la población y de la infraestructura urbana que lo acompaña –caminos, escuelas, hospitales, viviendas, electricidad, agua potable y alcantarillado– ha generado también la necesidad de crear sistemas de alcantarillado pluvial a las cuencas urbanizadas para permitir el desalojo del agua de lluvia en el menor tiempo posible.

Los sistemas de drenaje pluvial han sido proyectados para una lluvia de diseño, pero esas condiciones no son las que actualmente se encuentran en la cuenca. Hay una mayor impermeabilización debido a las construcciones, que muchas veces no respetan el plan de desarrollo urbano de la ciudad, y ello ha generado la necesidad de rediseñar dichos sistemas; sin embargo, las condiciones de vida actuales en las ciudades hacen de las calles estructuras elementales para los sectores doméstico, comercial e industrial, y por lo tanto se requieren

obras que no entorpezcan el tránsito peatonal y vehicular y que además sean armónicas con el entorno; de ahí se deriva la propuesta de los sistemas urbanos de drenaje sostenible.

#### Estado de la cuestión

El concepto tradicional del drenaje urbano se fundamenta en captar el exceso de escorrentía que genera la ciudad, pero con el tiempo los procesos naturales de la cuenca se han modificado; de ahí la idea de medidas artificiales (sistema de colectores) que habitualmente van ligadas a costosas infraestructuras.

**Tabla 1. Comparativa de los SUDS y los sistemas tradicionales**

Concepto	Sistema de colectores	SUDS
Costo de construcción	Puede ser equivalente, pero el uso multifuncional de los SUDS puede reducir el costo global	
Costo de operación y mantenimiento	Establecido	Poco claro para algunos sistemas, por lo que se requiere investigación adicional
Control de inundaciones en origen	Sí	Sí
Control de inundaciones y erosión aguas abajo	No	Sí
Potencial para la eliminación de contaminantes	Bajo	Alto
Beneficios educacionales	No	Sí
Funcionamiento a lo largo de la vida útil	Establecido	No establecido para algunos sistemas; se requiere investigación adicional
Espacio en superficie requerido	No significativo	Depende del tipo de sistema: varía entre significativo y sustancial
Criterio de diseño	Establecido	No establecido para algunos sistemas; se requiere investigación adicional

Fuente: Perales y Andrés, 2007.

## ► Operación

Sistemas urbanos  
de drenaje sostenible

*Con las superficies permeables, además de atenuar el caudal punta de escorrentía (ya que aumentará su coeficiente y la porosidad del terreno), también se mejora la calidad del agua debido a la eliminación de aceites, grasas, metales y sólidos en suspensión presentes que el agua de lluvia transporta después de arrastrarlos del pavimento.*

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se encaminan en dirección opuesta a los sistemas de drenaje urbano tradicionales, al agrupar una serie de técnicas concretas que permiten combinar los procesos de infiltración, retención y evapotranspiración, sobre todo para reducir la escorrentía superficial en las calles y así tener un equilibrio en la cuenca.

Los objetivos de un drenaje, según Perales y Andrés (2007), son los siguientes:

- Proteger los sistemas naturales: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- Proteger la calidad del agua: proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta: reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.

Se debe tomar en cuenta qué técnicas son aplicables a la ciudad, y tener claros los espacios destinados y su dimensión de acuerdo con el volumen necesario para retardar y reducir los escurrimientos superficiales.

La reciente puesta en marcha de estos sistemas hace que se cuente con escasos datos acerca de su funcionamiento, puesto que se requieren largos periodos de operación. Hay desconocimiento de ciertos factores esenciales para su adecuada construcción, como el nivel freático y las zonas con pendiente pronunciada.

En la tabla 1 se comparan las características de los sistemas de colectores y los SUDS. Los principales tipos de SUDS se describen en los apartados siguientes.

### Celdas de biorretención

La biorretención es una técnica importante que utiliza suelo, plantas y microbios para tratar las aguas pluviales antes de que se infiltren o se descarguen. Las celdas de biorretención son depresiones poco profundas llenas de suelo arenoso, coronadas con una gruesa capa de mantillo y plantadas con vegetación densa (véase figura 1).

Las aguas pluviales fluyen hacia la celda y se filtran lentamente a través del suelo (que actúa como un filtro) y hacia las aguas subterráneas; parte del agua también es absorbida por las plantas.



Figura 1. Sistema de biorretención.

### Jardín de lluvia

Un tipo de celdas de biorretención, los jardines de lluvia consisten en sólo la capa de suelo diseñada sin lecho de grava debajo (véase figura 2). En estos sistemas tienen lugar procesos de interceptación de la lluvia, evapotranspiración, infiltración y eliminación de contaminantes, con lo que se reduce el volumen de la escorrentía y su contaminación.

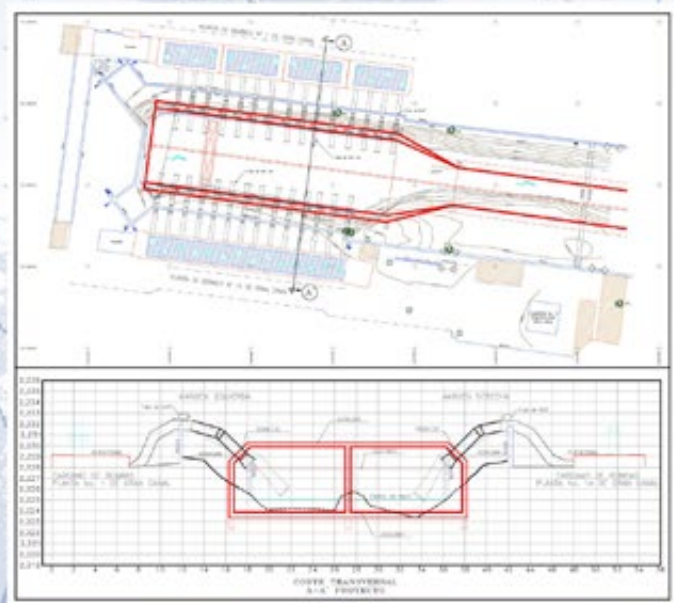
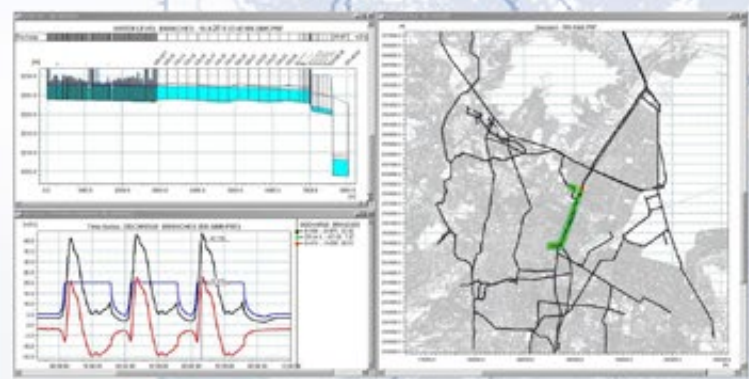
En lo referente a la hidrología, los jardines de lluvia reducen la escorrentía generada en la zona donde se implantan gracias a la infiltración, evapotranspiración y aumento del coeficiente de Manning de la superficie.



# 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



## ► Operación

Sistemas urbanos  
de drenaje sostenible



Figura 2. Jardín de lluvia.

### Techos verdes

Los techos verdes son otra variación de una celda de biorretención; tienen una capa de suelo sobre un material especial de estera que drena el exceso de lluvia percolada del techo (véase figura 3). Este sistema de drenaje, además de reducir los picos y volúmenes de escorrentía, provoca una gran disminución de los sólidos en suspensión y una moderada eliminación de los metales pesados transportados a la red de drenaje.

La implantación de estos sistemas puede suponer un aumento en el presupuesto de la construcción, especialmente en



Figura 3. Cubierta vegetada en la biblioteca de la Universidad de Varsovia, Polonia.

el apartado estructural. También puede ser importante el costo de mantenimiento de la cubierta vegetal.

### Cunetas verdes

Son canales o áreas deprimidas con lados inclinados cubiertos de césped y otra vegetación (véase figura 4). Reducen la velocidad de la escorrentía recogida y le dan más tiempo para infiltrarse en el suelo nativo debajo de ella. Se trata de estructuras lineales vegetadas que suelen tener forma trapezoidal, de base ancha ( $> 0.5$  m) y talud tendido ( $< 1V:3H$ ) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía provocada por las zonas impermeables contiguas. Deben generar bajas velocidades ( $< 1-2$  m/s) que permitan la sedimentación de las partículas en suspensión para eliminar contaminantes eficazmente; para ello tendrán que estar densamente vegetadas. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

Una ventaja es la mejora de la biodiversidad en el entorno urbano y de la calidad del aire debido a la vegetación.



Figura 4. Cuneta verde.

### Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables son superficies que, al mismo tiempo que son aptas para el paso de peatones o de tráfico rodado, permiten la filtración vertical del agua a través de ellas y en el terreno, con la posibilidad de recargar los acuíferos, o bien de



Figura 5. Pavimento permeable.

retenerla en capas subsuperficiales para su posterior reutilización o expulsión.

Con las superficies permeables, además de atenuar el caudal punta de escorrentía (ya que aumentará su coeficiente y la porosidad del terreno), también se mejora la calidad del agua debido a la eliminación de aceites, grasas, metales y sólidos en suspensión presentes que el agua de lluvia transporta después de arrastrarlos del pavimento.

Los sistemas consisten en áreas excavadas llenas de grava y pavimentadas con un concreto poroso o mezcla de asfalto (véase figura 5). Normalmente todas las precipitaciones pasan de inmediato a través del pavimento a la capa de almacenamiento de grava debajo de él, donde se pueden infiltrar a tasas naturales en el suelo nativo del sitio.

Los sistemas *block paver* consisten en bloques de adoquines impermeables colocados sobre un lecho de grava de arena o guisante con una capa de almacenamiento de grava debajo.



*Los sistemas urbanos de drenaje sostenible permiten un mejor equilibrio en la cuenca, aunque debido a su poco estudio teórico se requiere que las instituciones o dependencias encargadas del tema del agua apoyen los proyectos teóricos experimentales para conocer la evolución de estos sistemas mediante su monitorización a través del tiempo, a fin de poder comprobar su efectividad y contemplar su implementación a mediano plazo con el objeto de contribuir a la disminución del gasto pico.*

La lluvia se captura en los espacios abiertos entre los bloques y se transporta a la zona de almacenamiento y al suelo nativo debajo.

### Conclusiones

Los SUDS permiten un mejor equilibrio en la cuenca, aunque debido a su poco estudio teórico se requiere que las instituciones o dependencias encargadas del tema del agua apoyen los proyectos teóricos experimentales para conocer la evolución de estos sistemas mediante su monitorización a través del tiempo, a fin de poder comprobar su efectividad y, además de establecer métodos de construcción y su aplicabilidad para los diferentes climas en el país, contemplar su implementación a mediano plazo con el objeto de contribuir a la disminución del gasto pico.

Existen modelos numéricos capaces de establecer un escenario que permita conocer la efectividad de los SUDS, aunque requieren variables que han sido poco estudiadas, por lo que en la medida en que avance el estudio de estos sistemas, el modelo numérico tendrá una mejor aproximación ◀

### Referencias

- Environmental Protection Agency, EPA (2016). Storm water management model reference manual.
- EPA (2017). SWMM Modeling methods for simulating green infrastructure at a suburban headwatershed: User guide.
- Perales-Momparler, Sara, e Ignacio Andrés-Doménech (2007). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Valencia: PM Ingeniería.





tuxtepec.gob.mx

# La respuesta está en la naturaleza





El Instituto Nacional de Geografía e Informática publicó en marzo de este año el comunicado “Estadísticas a propósito del Día Mundial del Agua”. La información ahí plasmada enriquece el conocimiento de la situación actual sobre la disponibilidad de agua en México y a la vez apoya la idea, expresada cada vez con más frecuencia en foros nacionales e internacionales, de que es necesario optar por medidas de gran escala basadas en la naturaleza para remediar las carencias actuales del recurso y asegurar su suficiencia en el futuro.

En 1992, durante la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo efectuada en Río de Janeiro, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas declaró el 22 de marzo como el Día Mundial del Agua, una conmemoración anual para fomentar entre los países miembros un mejor uso de los recursos hídricos con el fin de asegurar el desarrollo, el bienestar social y el cuidado de los ecosistemas del planeta.

Para la más reciente edición del Día Mundial del Agua, el lema establecido por la ONU fue “Soluciones para el agua basadas en la naturaleza”, lo cual refiere a los grandes problemas con el agua que se atisban en el panorama global y en algunas naciones con mayor énfasis. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que la demanda global de alimentos aumentará en 50% entre

2013 y 2050, y que para este último año, la mitad de la población mundial estará viviendo en áreas con gran estrés hídrico. Al mismo tiempo, mundialmente más de 80% de las aguas residuales generadas vuelve a los ecosistemas sin ser tratada ni reciclada.

Con el lema señalado se buscó llamar la atención sobre el papel fundamental de la naturaleza para enfrentar los desafíos mundiales respecto al agua. Se trata de comunicar la importancia de poner en práctica soluciones basadas en la naturaleza, entre las que se cuentan reforestar bosques y manglares o restablecer la conectividad de los sistemas acuáticos, para restaurar el ciclo del agua incluso en los contextos más urbanizados y en convivencia con la actividad humana.

#### **Nichos de oportunidad**

La agricultura presenta un potencial significativo para combatir la escasez de agua, al ser una actividad que consume 70% del





reservanaturavictoria.blogspot.com

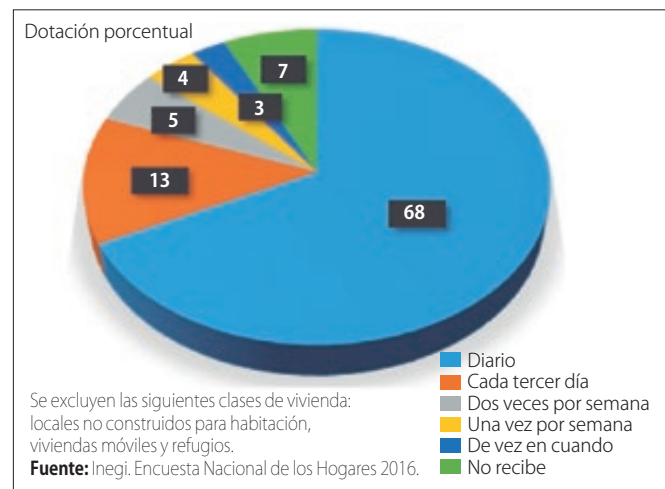
recurso en el mundo y emitir casi la cuarta parte de gases de efecto invernadero.

La manera de combatir una futura crisis hídrica de grandes dimensiones desde la agricultura es por ejemplo mediante la selección de cultivos, el mejor manejo de la irrigación, uso de técnicas adecuadas como el reúso de aguas residuales, mejora de la administración de ganado, uso más eficiente del agua y manejo sustentable de tierras, pero puesto que la agricultura se enmarca en un enorme sistema de producción y consumo, también se requiere reducir los grandes desperdicios de comida que existen hoy en día en la sociedad.

Precisamente por lo anterior, durante el Día Mundial del Agua 2018 la FAO puso énfasis en la conexión entre algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: sobre agua limpia y saneamiento (6), el concerniente a la eliminación de la hambruna (2), acción por el clima (13) y vida de ecosistemas terrestres (15), pero, más importante aun, destacó la necesidad de discutir las alternativas o soluciones basadas en la naturaleza y las oportunidades para incorporarlas a los esfuerzos nacionales dirigidos a la adaptación al cambio climático o a su mitigación.

La creciente escasez de agua en algunas regiones requiere mejorar la eficiencia de su uso para la producción de alimentos por medio de técnicas modernas de riego y mantener la humedad de los suelos, la retención y el almacenamiento del agua. Se requiere una agricultura climáticamente inteligente, que incremente de manera sostenible la productividad mediante prácticas de adaptación, además de una mejor gestión de los riesgos climáticos en la producción de alimentos y la identificación y reducción de vulnerabilidades ante eventos extremos.

En el otro lado del espectro, el del consumo, también pueden adoptarse medidas para devolver mayores volúmenes, de buena calidad y con mayor inmediatez al ciclo hidrológico, al mismo tiempo que se aprovechan caudales de origen no convencional, es decir, no de la red hidráulica, sino del agua de lluvia. Se necesitan nuevas fuentes de suministro de



**Figura 1. Frecuencia en la dotación de agua en los hogares, dato nacional de 2016.**



# 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/cm<sup>2</sup>

- 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.





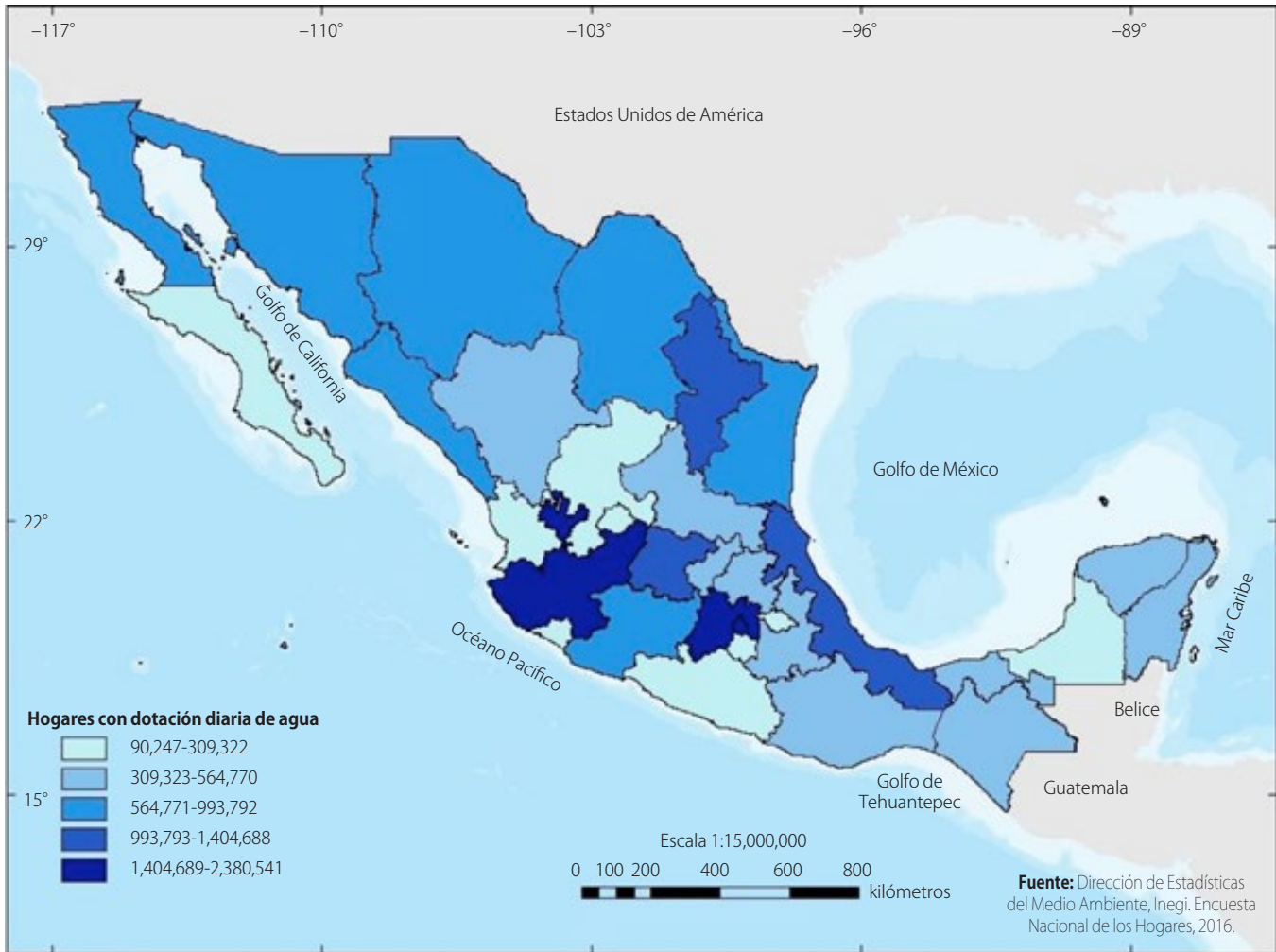


Figura 2. Dotación de agua en México por entidad federativa.

*La manera de combatir una futura crisis hídrica de grandes dimensiones desde la agricultura es por ejemplo mediante la selección de cultivos, el mejor manejo de la irrigación, uso de técnicas adecuadas como el reúso de aguas residuales, mejora de la administración de ganado, uso más eficiente del agua y manejo sustentable de tierras, pero puesto que la agricultura se enmarca en un enorme sistema de producción y consumo, también se requiere reducir los grandes desperdicios de comida que existen hoy en día en la sociedad.*

agua concretamente en el contexto de nuestro país, como se verá a continuación.

**El problema en México**

Según información de la Conagua, el mayor consumo hídrico en México se debe a la ineficiencia de las prácticas de irrigación agrícola, seguida del desarrollo industrial y los malos hábitos de consumo, además de las importantes mermas por fugas en las redes de distribución.

En el ámbito de la cobertura doméstica, de acuerdo con la Encuesta Nacional de los Hogares 2016 levantada por el Inegi, de los más de 32 millones de hogares registrados en nuestro país, en 30.84 millones (93%) se recibe agua dentro de la propiedad, aunque no diariamente en todos (véase figura 1); el 7% restante no recibe agua entubada, sino que la consigue por

**Tabla 1. Cuentas del agua 2003-2016 (Mm<sup>3</sup>)**

Año	Extracción de agua del medio ambiente	Retornos al medio ambiente
2003	175,245	149,292
2004	190,409	164,173
2005	196,290	169,718
2006	222,013	195,138
2007	206,176	178,661
2008	234,816	207,005
2009	221,067	193,172
2010	219,391	191,630
2011	250,775	222,422
2012	242,844	214,206
2013	198,860	170,849
2014	231,867	202,423
2015p	228,721	199,102
2016	216,593	186,656

p: preliminar.  
Fuente: Inegi, 2018.

otros medios: acarreándola desde otra vivienda, de una llave pública, de pozos, ríos, arroyos, lagos o lagunas, o mediante pipas.

Mientras tanto, en muchos domicilios se siguen utilizando muebles de alto consumo y se presentan fugas inadvertidas o no atendidas, y aunque hay avances, existe un gran rezago en el aprovechamiento de aguas residuales tratadas, el ordenamiento de acuíferos y cuencas, y la actualización de la metodología para el pago de derechos por uso o aprovechamiento de aguas nacionales.

Las entidades federativas mexicanas con mayor número de hogares que cuentan con dotación diaria de agua son la Ciudad de México, el Estado de México y Jalisco, mientras que en la situación opuesta –es decir, con la menor cobertura de agua entubada diariamente– están Baja California Sur, Tlaxcala y Guerrero (véase figura 2).

El modelo de gestión que prevalece en México tiene una perspectiva político-administrativa que no considera la interrelación de los sistemas natural (el ciclo hidrológico de las cuencas), social y productivo. Esta gestión fragmentada por sectores, por tipos de uso, fuentes, etc., y alejada de la dinámica natural de los ecosistemas y el agua, ha producido resultados





*El modelo de gestión que prevalece en México tiene una perspectiva político-administrativa que no considera la interrelación de los sistemas natural (el ciclo hidrológico de las cuencas), social y productivo. Esta gestión fragmentada por sectores, por tipos de uso, fuentes, etc., y alejada de la dinámica natural de los ecosistemas y el agua, ha producido resultados que ponen en evidencia la necesidad de reorientarla. Un primer paso es considerar la cuenca como la unidad territorial básica.*

que ponen en evidencia la necesidad de reorientarla. Un primer paso es considerar la cuenca como la unidad territorial básica.

### Aspecto económico

El instrumento del Inegi conocido como “cuentas nacionales económicas y ecológicas” proporciona información útil sobre el impacto de las actividades económicas y del consumo humano en el medio ambiente y los recursos naturales, en particular en el agua. En la tabla 1 se presentan cifras de las cuentas nacionales del agua para los años 2003 a 2016, comparando las extracciones del líquido con los retornos al ecosistema.

Los resultados obtenidos para 2016 muestran que el ciclo económico del agua se inicia con el recurso proveniente de acuíferos, ríos, arroyos o lluvia. De estos cuerpos hídricos se extraen poco más de 216 millones de metros cúbicos para consumo de la población y para agricultura, ganadería, industria, comercio y servicios.

En contraparte, el retorno de agua al medio ambiente fue de poco más de 186 millones de metros cúbicos; si bien esto representa 86% de lo extraído, no todo el volumen es regresado a la naturaleza de forma adecuada; una parte significativa de ese 86% puede corresponder a fugas en los sistemas de alcantarillado, aguas residuales tratadas y no tratadas o a otros procesos de pérdida.

### La solución no está lejos

Un ejemplo de medida basada en la naturaleza de gran alcance en nuestro país es el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (Procaptar). Se concentra en zonas rurales debido a que es en éstas donde se

encuentran mayores dificultades técnicas y económicas para abastecer con métodos convencionales (sistemas de bombeo, redes de distribución, etcétera); como parte de la iniciativa, también se busca involucrar a la sociedad de forma activa.

La población objetivo del Procaptar es aquella en condiciones de alta y muy alta marginación, en áreas con lluvias anuales acumuladas iguales o mayores de 1,500 milímetros, y que está incluida en la Cruzada Nacional contra el Hambre.

A los beneficiarios del programa se les proporciona apoyo técnico y económico que puede ser de hasta 100% para la instalación de un sistema de captación de agua de lluvia por vivienda, para consumo humano directo y otros usos domésticos. Se busca lograr un volumen de 50 litros por persona por día durante los 365 días del año, y en paralelo instalar un sistema de tratamiento de aguas residuales también en el nivel de vivienda.

### Conclusiones

Es necesario transitar hacia un modelo de gestión por cuencas que se adapte a las condiciones físicas y sociales, propicie la preservación de los ecosistemas y busque el equilibrio entre los aprovechamientos, bienes, servicios y funciones del agua con la participación de los actores involucrados; asimismo, comprender que el agua depende de la preservación de los ecosistemas y su dinámica.

Se habla de las soluciones basadas en la naturaleza cada vez con mayor frecuencia, y parecen tener un creciente rigor técnico y viabilidad. La adaptación sostenible de nuestras sociedades al ciclo hidrológico se hace más urgente, y en nuestro país hay varios ámbitos donde esto debe hacerse una realidad –y se está actuando para ello–, de los cuales los dos más próximos pueden ser la agricultura y el consumo doméstico ◀

Elaborado por Helios Comunicación con base en las siguientes fuentes:  
Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2018). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Agua (22 de marzo). Comunicado de prensa núm. 132/18. 20 de marzo. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2018/agua2018\\_Nal.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2018/agua2018_Nal.pdf)  
<https://agua.org.mx/actualidad/dia-mundial-del-agua-2018-la-respuesta-esta-en-la-naturaleza/>  
<http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/509558/>  
<http://www.fao.org/land-water/events/events-details/es/c/1103078/>  
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

# 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.





# ¿Cómo funcionan las SBN?

watercanada.net

Con el presente artículo, un resumen de un documento extenso de la Organización de las Naciones Unidas sobre soluciones basadas en la naturaleza (SBN), se busca continuar profundizando y difundiendo esta importante herramienta que tiene un papel cada vez más práctico que conceptual en la gestión sostenible del agua.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas afectan todas las rutas hidrológicas en el ciclo del agua. Los procesos biológicos en un paisaje, y especialmente en los suelos, influyen en la calidad del agua a medida que se mueve a través de un sistema, así como en la formación del suelo, la erosión, y el transporte y depósito de

sedimentos, todos los cuales pueden ejercer una importante influencia en la hidrología.

También hay grandes flujos naturales de energía asociados a este ciclo; por ejemplo, el calor latente relacionado con la evaporación puede ejercer un efecto de enfriamiento y es una base para que las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) regulen, por ejemplo, climas urbanos.

Los principales tipos de ecosistemas o biomas terrestres y la mayor parte de los costeros influyen en el agua. De esta manera, la mayoría de las aplicaciones de las SBN, incluso en los paisajes urbanos, implican esencialmente el manejo de la vegetación, los suelos o los humedales.

### Sistema suelo-vegetación

La vegetación cubre aproximadamente 72% de la masa terrestre mundial. Los tallos y las hojas de las plantas interceptan las precipitaciones (lluvia o nieve) o la humedad de las nubes. Las plantas afectan la disponibilidad del agua y el clima a través de las funciones de transpiración y, por ende, remueven el agua de los suelos y en ocasiones el agua subterránea. Sus raíces contribuyen a la estructura y salud del suelo e influyen en el almacenamiento y disponibilidad de agua en él, la infiltración y la percolación del agua subterránea. Con excepción de los paisajes más secos o helados, la senescencia natural de las plantas crea una capa fundamental de materia orgánica que cubre el suelo y regula la erosión y la evaporación de la tierra.

Los paisajes incluyen una variedad de categorías de cobertura vegetal, cada una de las cuales puede tener diferentes grados de influjo en el ciclo del agua, que a su vez está influenciado por el régimen de gestión en vigor. Los bosques, por ejemplo, a menudo reciben la mayor atención con respecto a la cobertura de la tierra y la hidrología, pero los pastizales y las tierras de cultivo también son muy importantes.

Aunque los bosques son ampliamente utilizados como soluciones de restauración, la rehabilitación de pastizales y arbustos en la meseta de Loess en China ha aportado mayores mejoras en el almacenamiento de humedad y conservación del suelo que la reforestación en ese lugar. Los pastizales naturales también tienden a producir agua de alta calidad. Sin embargo, en el caso de los pastizales abonados (como en Europa occidental y Estados Unidos, por ejemplo), las cargas elevadas de nitrógeno y fósforo en el flujo terrestre constituyen un problema importante. Su solución requiere adoptar un enfoque de paisaje para la hidrología, donde la cobertura y la gestión del suelo son el centro de atención y ambos se consideran con respecto al rendimiento del paisaje deseado. Se debe evitar sobre todo la tierra desnuda (a menos que sea natural, como en desiertos o casquetes polares), ya que contribuye signifi-

cativamente a la degradación del suelo o tierra, la erosión y la menor productividad del agua.

Los suelos desempeñan a su vez un importante papel, a menudo subestimado, en el movimiento, almacenamiento y transformación del agua. Los suelos son complejos sistemas vivos y sus procesos hidrobiológicos están estrechamente vinculados a su salud ecológica. La cantidad de agua que se infiltra, evapora o percola a través de la tierra depende no sólo de la vegetación y el clima, sino también de la geometría del espacio poroso del suelo y, por lo tanto, de su estructura. Además, las condiciones en la superficie del suelo (cubierta vegetal, estructura del suelo, etc.) controlan la separación de la lluvia en escorrentía e infiltración superficial. En la zona de la raíz, el agua infiltrada se separa entonces entre la evaporación y la transpiración, por una parte, y la percolación profunda por la otra. Los cambios en el manejo y la cobertura del suelo afectan a su estructura y, por ende, modifican estas propiedades del suelo. En un caso extremo, el sellado del suelo por carreteras y otras infraestructuras en las ciudades socava por completo la hidrología del suelo, lo que resulta en la pérdida de infiltración y en el desvío de las precipitaciones al flujo superficial, el cual contribuye frecuentemente a las inundaciones. Además de esto, la salud de los suelos, y en particular su capacidad para apoyar el ciclo de nutrientes, tiene una gran influencia en la calidad del agua, sobre todo en los sistemas agrícolas.





**Tabla 1. Soluciones de infraestructura verde para la gestión de recursos hídricos**

Cuestión relativa a la gestión del agua (servicio primario a ser proporcionado)	Solución de infraestructura verde	Ubicación				Solución correspondiente de infraestructura gris (en el nivel de servicio primario)	
		Cuenca	Llanura inundable	Urbana	Costera		
Regulación del suministro de agua (incluyendo mitigación de la sequía)	Reforestación y conservación forestal					Presas y bombeo de aguas subterráneas  Sistemas de distribución de agua	
	Reconectar ríos a llanuras de inundación						
	Restauración/conservación de humedales						
	Construcción de humedales						
	Captación de agua*						
	Espacios verdes (biorretención e infiltración)						
	Pavimentos permeables*						
Regulación de la calidad del agua	Potabilización de agua	Reforestación y conservación forestal					Planta de tratamiento de agua
		Zonas de amortiguación ribereñas					
		Reconectar ríos a llanuras de inundación					
		Restauración/conservación de humedales					
		Construcción de humedales					
		Espacios verdes (biorretención e infiltración)					
		Pavimentos permeables*					
	Control de erosión	Reforestación y conservación forestal					Reforzamiento de pendientes
		Zonas de amortiguación ribereñas					
		Reconectar ríos a llanuras de inundación					
	Control biológico	Reforestación y conservación forestal					Planta de tratamiento de agua
		Zonas de amortiguación ribereñas					
		Reconectar ríos a llanuras de inundación					
		Restauración/conservación de humedales					
		Construcción de humedales					

# SERVICIO INTEGRAL DE AGUA VEOLIA

## ANTES DEL 2050 LA DEMANDA MUNDIAL DE AGUA AUMENTARÁ UN 55%

por ello en Veolia innovamos y ofrecemos soluciones en la gestión integral de este recurso tan importante y que todos tenemos que cuidar con el fin de reducir su uso en su origen, favorecer su reciclaje y reutilización.

### REGRESO DEL AGUA

(El agua es tratada y regresa al ambiente por diferentes medios o es reutilizada)

### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



### DRENAJE



USUARIOS  
CASAS O COMERCIOS

### SISTEMA DE EXTRACCIÓN (Pozos o Presas)





PLANTA  
POTABILIZADORA

TANQUES  
REGULADORES

RED DE  
DISTRIBUCIÓN

**Veolia** es una empresa líder a nivel mundial en gestión de agua que cuenta con la capacidad de operar profesionalmente todas las etapas del ciclo de agua y saneamiento con la mejor tecnología probada y mediante esquemas de colaboración e innovación.

Conoce más de nosotros en [www.veolia.com.mx](http://www.veolia.com.mx) y en nuestras redes sociales.

-  Veolia México
-  @Veolia\_Mx
-  Veolia Mx
-  Veolia México



**Tabla 1. Soluciones de infraestructura verde para la gestión de recursos hídricos (continuación)**

Cuestión relativa a la gestión del agua (servicio primario a ser proporcionado)		Solución de infraestructura verde	Ubicación				Solución correspondiente de infraestructura gris (en el nivel de servicio primario)
			Cuenca	Llanura inundable	Urbana	Costera	
Regulación de la calidad del agua	Control de la temperatura del agua	Reforestación y conservación forestal					Presas
		Zonas de amortiguación ribereñas					
		Reconectar ríos a llanuras de inundación					
		Restauración/conservación de humedales					
		Construcción de humedales					
		Espacios verdes (sombra de vías navegables)					
Moderación de fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones)	Control de inundaciones ribereñas	Reforestación y conservación forestal					Presas y diques
		Zonas de amortiguación ribereñas					
		Reconectar ríos a llanuras de inundación					
		Restauración/conservación de humedales					
		Construcción de humedales					
		Establecer derivaciones de inundación					
	Esguimiento urbano de aguas pluviales	Techos verdes					Infraestructura urbana de aguas pluviales
		Espacios verdes (biorretención e infiltración)					
		Captación de agua*					
		Pavimentos permeables*					
	Control de inundaciones costeras (tormentas)	Protección/restauración de manglares, marismas costeras y dunas					Malecones
Protección/restauración de arrecifes (corales/ostras)							

\*Elementos construidos que interactúan con las características naturales para mejorar los servicios ecosistémicos relacionados con el agua.

El sistema suelo-vegetación es el primer receptor de la precipitación y la energía que caen sobre la tierra. La zona comprendida entre los rangos superiores del nivel freático (o roca del basamento) y la del nivel de la cubierta vegetal del suelo es fundamental para controlar la cantidad y calidad del agua terrestre. Aproximadamente 65% del agua que cae a la tierra

se almacena o se evapora del suelo y las plantas. Del agua almacenada en la tierra, más del 95% se acumula en las zonas vadosas (poco profundas) y saturadas (aguas subterráneas) del suelo, excluyendo el agua que aún se conserva en los glaciares. Aunque el agua del suelo en la capa superior, que es biológicamente más activa, comprende sólo 0.05% de la reserva mundial

de agua dulce, los flujos ascendentes y descendentes de agua y energía a través del suelo son vastos y están estrechamente relacionados. Estas cifras indican claramente la importancia del agua del suelo para el equilibrio tierra-agua-energía del planeta, incluyendo el intercambio entre el agua del suelo y la precipitación por transpiración, así como una posible retroalimentación positiva a medida que el clima se calienta en el futuro.

Por último, aunque sólo alrededor de 2.6% de la Tierra está cubierta por masas de agua continentales, estos humedales, ríos y lagos desempeñan un papel desproporcionadamente grande en la hidrología por unidad de superficie. El argumento para la conservación de los humedales a menudo se hace en términos de procesos hidrológicos, que incluyen la recarga y descarga de aguas subterráneas, la alteración del flujo de caudales, la estabilización de los sedimentos y la calidad del agua.

Los humedales costeros también tienen un papel importante en la reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua: los manglares, y en menor medida las marismas, pueden reducir la energía de las olas y las corrientes, estabilizar los sedimentos con sus raíces y reducir el riesgo de inundaciones por mareas de tormenta.

### **SBN para la disponibilidad del agua**

La disponibilidad de agua (particularmente la escasez) está influenciada por la calidad del agua. Las inundaciones y sequías desastrosas representan las variaciones extremas en la disponibilidad de agua.

Hay algunos ejemplos en los que la infraestructura, ya sea de SBN o gris (construida), es la única opción para mejorar la disponibilidad de agua, pero por lo general ambas deben considerarse, diseñarse y operarse en armonía. Cada enfoque debe aprovechar los beneficios del otro con el fin de canalizar las sinergias para mejorar el rendimiento general del sistema.

Sin duda, el mayor potencial de las SBN para mejorar la disponibilidad de agua, en comparación con otras opciones, está en la agricultura, a través de aumentos de eficiencia en los sistemas de secano y regadío. Este es, por lo tanto, un elemento clave para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2 (poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible), que a su

*Hay algunos ejemplos en los que la infraestructura, ya sea de SBN o gris (construida), es la única opción para mejorar la disponibilidad de agua, pero por lo general ambas deben considerarse, diseñarse y operarse en armonía. Cada enfoque debe aprovechar los beneficios del otro con el fin de canalizar las sinergias para mejorar el rendimiento general del sistema. Sin duda, el mayor potencial de las SBN para mejorar la disponibilidad de agua, en comparación con otras opciones, está en la agricultura.*

vez refuerza muchas otras mejoras del bienestar humano (la salud, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad ambiental).

Las SBN para abordar la disponibilidad de agua en áreas urbanas constituyen otro campo prometedor en comparación con las alternativas, y por lo tanto contribuyen al ODS 11 (lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles).

Se destaca que las SBN son el medio más factible para luchar contra la desertificación y rehabilitar las tierras y el suelo degradados, las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar un mundo con una degradación neutra del suelo.

Se podrían señalar muchas más interrelaciones, algunas también con un alto potencial para la aplicación de las SBN para la disponibilidad de agua. Para los propósitos actuales, se concluye que las SBN orientadas a la disponibilidad de agua tienen un potencial muy prometedor para contribuir al logro de los ODS, ya sea en conjunto o como una alternativa a ciertos enfoques.

### **SBN para la calidad del agua**

Los beneficios potenciales de la protección de cuencas para mejorar la calidad del agua disponible para los asentamientos humanos, y las ciudades en particular, son enormes.

Con un reciente ejercicio de modelado se estimó que las actividades de conservación o restauración de la tierra (como la protección forestal, la reforestación y el uso de cultivos de cobertura en la agricultura) podrían reducir en 10% o más los sedimentos o nutrientes (fósforo) en las cuencas hidrográficas que actualmente cubren el 37% de la superficie terrestre libre de hielo del mundo (4.8 millones de kilómetros cuadrados). Más de la mitad de la población urbana mundial que vive en las 4,000 ciu-



*Las actividades de conservación o restauración de la tierra podrían reducir en 10% o más los sedimentos o nutrientes (fósforo) en las cuencas hidrográficas que actualmente cubren el 37% de la superficie terrestre libre de hielo del mundo (4,8 millones de km<sup>2</sup>). Más de la mitad de la población urbana mundial que vive en 4,000 ciudades podrían beneficiarse de la mejora de la calidad del agua.*

dades en el área cubierta por ese estudio podrían beneficiarse de la mejora de la calidad del agua como resultado de la aplicación de las SBN a sus fuentes de agua potable (cuencas).

Los bosques, humedales y pastizales, así como los suelos y cultivos, cuando se gestionan adecuadamente proporcionan una “infraestructura verde” de alto valor para mejorar la protección de la fuente hídrica; asimismo, desempeñan un papel importante en la regulación de los caudales de agua y el mantenimiento de la calidad, al reducir la carga de sedimentos mediante la prevención de la erosión del suelo y la captura y retención de contaminantes. Las zonas ribereñas boscosas de amortiguación sirven para prevenir la contaminación de los ríos, a la vez que brindan sombra que ayuda a reducir la contaminación térmica. Los pastizales se utilizan ampliamente para manejar la calidad del agua y, en ocasiones, pueden proporcionar agua de mejor calidad que los bosques. Los humedales aguas arriba también pueden proporcionar importantes beneficios de calidad del agua, debido a su capacidad natural para facilitar la filtración de efluentes y la absorción de contaminantes.

Las medidas de protección del agua de las fuentes basadas en la naturaleza son a menudo menos costosas que la gestión de los impactos aguas abajo (como el tratamiento del agua en el punto de uso). Una mayor calidad del agua de las fuentes se traduce en ahorros en el costo del tratamiento del agua y potencialmente evita costos por la expansión o construcción de nuevas instalaciones de tratamiento.

Las SBN son particularmente importantes para mejorar los impactos de los sistemas agrícolas en la calidad del agua y, por ende, un factor fundamental para la consecución del ODS 2 (entre otras cosas, promover la agricultura sostenible), ya que la reducción de los impactos sobre la calidad del agua es un determinante clave de la sostenibilidad en la agricultura. Los beneficios para la salud (ODS 3) de las contribuciones de las SBN

en la mejora de la calidad del agua son evidentes. Asimismo, éste y otros enfoques de las SBN para reducir la contaminación basada en la tierra contribuyen de manera importante a la conservación y el uso sostenible de los océanos, mares y recursos marinos (ODS 14), sobre todo por la reducción en los aportes de nutrientes. La infraestructura verde es una parte integral de la construcción de infraestructura resiliente (ODS 9). De manera similar, la infraestructura verde es un componente esencial para la construcción de ciudades seguras, resilientes y sostenibles (ODS 11).

### **SBN para la gestión de riesgos**

Muchos foros e iniciativas de política internacional señalan la necesidad de transitar de un enfoque reactivo ante inundaciones a uno preventivo centrado en la reducción del riesgo. Es aquí donde se destacan las SBN. El concepto de “vivir con inundaciones”, que incluye entre otros una variedad de enfoques que ayudan a estar preparados para una inundación, puede facilitar la aplicación de las SBN pertinentes.

Existen numerosos desafíos para realizar una amplia adopción e implementación de las SBN en el contexto de la reducción de la variabilidad y el riesgo. Uno de los principales es la falta de comprensión de cómo integrar la infraestructura construida y la natural para mitigar los riesgos de inundaciones, sequías y en general ante la variabilidad del agua, y la falta general de capacidad para implementarlas en el contexto de la reducción del riesgo relacionado con el agua, incluso en aquellos casos donde hay disposición para implementarlas. Los desincentivos se producen cuando una SBN mal diseñada falla, y contribuyen al sesgo mencionado anteriormente.

Un desafío más implícito pero real es el dominio de un enfoque reactivo más que proactivo para la gestión de desastres relacionados con el agua. Un enfoque reactivo se ocupa de las consecuencias de los desastres y, en ese contexto, el uso de las SBN es limitado. Las SBN pueden tener un potencial mucho mayor si están activadas en la planificación e implementación de medidas de reducción de riesgos, antes de que ocurra un desastre ◀

Resumen elaborado por Helios Comunicación del documento “Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua”, de la UNESCO, capítulos 1 al 4, disponible en <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/#c1654856>

**DESCUBRA LAS INNOVADORAS SOLUCIONES  
PARA LOS DESAFÍOS ACTUALES DEL AGUA**

## **AQUATECH MEXICO 2018 PRESENTARÁ LAS ÚLTIMAS TECNOLOGÍAS E INNOVACIONES PARA LA INDUSTRIA DEL AGUA**

Estimado (a) profesional del sector:

**AQUATECH MEXICO** es una plataforma internacional para las empresas dentro de la industria del agua en todo el mundo que desean explorar oportunidades de negocios en México. Contará con más de **170** empresas expositoras y la participación de 16 países.

Estamos cerca de llevar a cabo la tercera edición de **AQUATECH MEXICO**, la cual se presentará de forma simultánea con **THE GREEN EXPO® 2018**. Ambos eventos se realizarán del **4 al 6** de septiembre **2018** en el World Trade Center en la Ciudad de México.

Lo invitamos a que conozca a los expertos, líderes del mercado y profesionales nacionales e internacionales que presentarán productos y servicios para la industria del agua.

Este año lanzaremos por primera ocasión los Innovation Awards (Premios de Innovación), y los nuevos pabellones de Control de Inundaciones (Floor Control) y de Agua Inteligente (Smart Water Networks), donde habrá mucho más que descubrir.

**AQUATECH MEXICO** le ofrecerá las más destacadas innovaciones para la industria a través de soluciones para:



**Además, AQUATECH MEXICO** ofrecerá a sus visitantes un panel de conferencias específico para este sector donde se tocarán temas como:

- Retos para el sector hídrico con el nuevo gobierno mexicano
- Programas hídricos que contribuyen a la adaptación del cambio climático
- Avances en tecnología hídrica
- Gestión del agua
- Proyectos de inversión & modelos financieros
- Experiencias hídricas de la industria

**Lo invitamos a que se registre ahora  
SIN COSTO para visitar el piso  
de exposición en:**

[www.aquatechtrade.com/es/mexico](http://www.aquatechtrade.com/es/mexico)

**¡Sea parte del evento más importante  
del agua en Latinoamérica!**

Exposición / Marilde Soldívar - Subgerente de Eventos  
T. (52-55) 1087-1650 Ext 1135  
marilde.soldivar@krousetarsus.mx

Conferencias:  
T. (52-55) 1087-1650 Ext 1109  
conferencias@krousetarsus.mx



### **DESCARGUE NUESTRA APP**

**La cual le permitirá realizar citas de negocios  
con los expositores durante los días del evento.**

Síguenos en:



**@AquatechMexico**

Organizado por:



Miembro de:



Organismos de apoyo:





# La adaptación espacial de los Países Bajos

Si construir la Ciudad de México sobre un lago fue una osadía, los holandeses fueron aun más osados al construir sus ciudades bajo el nivel del mar, y han tenido que enfrentar el hecho de que 60% de su superficie, donde se encuentran asentados 9 millones de habitantes, sea vulnerable a las inundaciones, por lo que la gestión de este riesgo se ha convertido en una parte integral de su política hídrica.



**RAQUEL VARGAS LARA**

Enlace de la Conagua con la Dirección General de Políticas de Cambio Climático de la Semarnat.

Los primeros e infructuosos intentos por controlar el agua en los Países Bajos fueron con remos jalados por caballos, que dieron lugar al dicho holandés: “Eso no gana ningún terreno al dique”. Esa era la práctica hasta inicios del siglo XV, cuando se construyó el molino, instrumento con el que tuvieron, por vez primera, la capacidad suficiente para bombear el agua fuera de los pólderes (terrenos ganados al mar) y asegurar que el terreno contara con las condiciones favorables para la agricultura. El primer molino se construyó en 1413 y posteriormente se erigieron docenas de ellos en toda la



pxhere.com

región; así, los holandeses durmieron tranquilos pensando que habían logrado controlar el agua.

No obstante los avances, la noche del 1° de febrero de 1953 una fatal combinación de alto oleaje y tormenta rompió 89 diques e inundó una superficie aproximada de 150,000 hectáreas, por lo que fallecieron 1,835 personas. Fue la ingeniosa solución del alcalde Nieuwekerk la que logró detener el ingreso del agua de mar en territorio holandés, cuando solicitó al capitán del barco Twee Gebroeders que maniobrara la nave para posicionarla de tal forma bloqueara el ingreso del agua, y con ello se detuviera el caudal.

Las consecuencias de la catástrofe fueron enormes. Además de las pérdidas humanas, se perdió ganado y la tierra fértil dejó de ser útil para la agricultura por muchos años, debido a la intrusión salina. Cerca de 72,000 personas tuvieron que ser reubicadas en lugares más seguros.

Este terrible hecho motivó que a tan sólo 20 días de la tragedia se formara la Comisión del Delta (Deltacommissie), la cual se

encargaría de ejecutar el Plan Delta cuyo objetivo fue asegurar una protección sustentable sin cerrar las vías marítimas, pues los puertos de Róterdam y Amberes son de gran importancia para la economía del país. En el marco de ese plan se construyó nueva infraestructura hidráulica que introdujo los diques auxiliares, estratégicos para controlar mejor las corrientes de agua y favorecer la movilidad y la comunicación marítima entre las diferentes regiones de Holanda, debido a que dividen el agua en múltiples compartimientos.

El nuevo planteamiento hidráulico no solamente logró proteger mejor el territorio, sino que trajo consigo una serie de beneficios ambientales al país. Al cambiar las fronteras entre el agua dulce y el agua salada con la construcción de los diques, se modificó el balance de agua de la región del delta de forma favorable, con lo que mejoró el abastecimiento de agua dulce para la agricultura. Fue necesaria menos agua dulce para mantener el balance entre ésta y la salobre, y la disponibilidad total de agua en la región del delta aumentó. Diferentes tipos de



## ► El agua en el mundo

*La adaptación espacial  
de los Países Bajos*



Proporcionada por la autora

esclusas fueron colocadas en diversos lugares para permitir el paso del agua fresca y así desechar el agua sucia, con lo que la calidad del agua también se vio favorecida.

Medio siglo después, el cambio climático impone nuevos retos: el clima holandés se está transformando. Durante los últimos 100 años la temperatura promedio se ha elevado en 1.7 grados; la intensidad de las precipitaciones también se ha incrementado y los días calientes se han convertido en algo más común. Algunos efectos del calentamiento global han sido positivos para los Países Bajos, pues se ha incrementado la productividad de la agricultura, ha disminuido la tasa de mortalidad en la temporada invernal y ha aumentado el número de días con clima propicio para la recreación; los días con temperaturas superiores a los 25 °C han llegado a ser hasta 30 por año, cuando en la década de 1950 solamente eran 11. Sin embargo, entre los efectos negativos se encuentran grandes amenazas, como inundaciones más frecuentes por el desbordamiento de ríos o del sistema de drenaje, como resultado de la intensa precipitación.

La precipitación anual también ha cambiado; en la actualidad es de alrededor de 850 mm, lo que representa un 20% más

que la de un siglo atrás (alrededor de 700 mm). El incremento ha ocurrido sobre todo en el invierno (hoy en día llueve 26% más que en el pasado); sin embargo, donde ha aumentado de forma más significativa es en las zonas costeras: hasta en 35%, seguramente debido a la cercanía con el Mar del Norte, pues hay una tendencia a la formación de nubes sobre el mar, que se convierten en tormentas más fuertes en la costa.

Este nuevo régimen de precipitaciones se ha vuelto una amenaza, tomando en consideración que las lluvias intensas (con más de 50 mm de precipitación) pueden causar inundaciones locales, restringir la visibilidad y dañar construcciones y zonas de agricultura y horticultura. La frecuencia de este tipo de eventos se ha incrementado desde el siglo pasado, principalmente en el invierno, en la parte norte del país.

Debido a la intensa urbanización, se han reducido las zonas de infiltración de 25 a 10%, aproximadamente; los escurrimientos se han incrementado de 10 a 55%; la evaporación ha disminuido de 40 a 30%, y el sistema de drenaje no tiene capacidad para procesar más agua. Al igual que otras ciudades del mundo, las holandesas simplemente no están equipadas para manejar tanta agua.

## La estrategia

Conscientes de que una inundación tendría hoy incluso mucho más impacto que hace 50 años debido al incremento de la población, los holandeses han decidido optar por una adaptación espacial en sus ciudades, que se desprende del Plan Delta y que aspira a que los neerlandeses cuenten en el año 2050 con ciudades planificadas espacialmente, a prueba del clima y resilientes ante el agua para enfrentar los principales efectos del cambio climático: aumento del nivel del mar, desbordamientos del río en invierno, lluvias extremas en verano, sequías y calor.

Tomando como alerta la inundación que sufrió Copenhague en 2011, los holandeses se han preparado para adaptarse a las amenazas del cambio climático y buscan manejar los riesgos asociados al clima en un nivel aceptable.

La adaptación espacial es sólo una de las tres líneas de acción de la estrategia para acercarse a la resiliencia climática, que incluye además nuevos estándares de protección contra inundaciones basados no en la probabilidad de inundación, sino en el impacto que tendría una inundación, y disponibilidad de agua para las actividades económicas y para la naturaleza.

La implementación de la estrategia comenzó en 2015 con la reunión de diseñadores urbanos e hidrólogos para mapear en la ciudad los puntos susceptibles de inundarse en caso de lluvia intensa, tomando como referencia una precipitación de 60 milímetros por hora. El resultado en Ámsterdam fue la identificación de 97 puntos de riesgo de inundación y 14 que requerían una intervención inmediata. Este mapeo ha permitido conocer cómo fluye el agua a través de la ciudad y dividir ésta en entidades hidrológicas para monitorear el comportamiento de la lluvia y priorizar las obras urbanas y el mantenimiento del sistema de drenaje.

Partiendo de que la ampliación del sistema de drenaje no es una opción, debido a los altos costos que representaría, han introducido una combinación de medidas que buscan crear "ciudades esponja", resilientes y a prueba del clima que tengan



Proporcionada por la autora

la capacidad de absorber la mayor cantidad posible de agua ante precipitaciones intensas para reducir la presión al sistema de drenaje.

El diseño urbano sensible al agua o WSUD (por las siglas en inglés de *water sensitive urban design*) ha desempeñado un papel muy importante en la estrategia de adaptación para las ciudades holandesas; con él se busca minimizar los impactos hidrológicos en el ambiente urbano integrando en la misma estrategia el manejo de tormentas intensas, del agua subterránea, del abastecimiento de agua y del agua residual; buscando proteger la calidad del agua superficial y subterránea; minimizando la demanda del líquido para uso público urbano, así como las descargas de agua residual en el medio ambiente; manteniendo el comportamiento hidrológico de captaciones, e integrando el agua al paisaje para mejorarlo visual, social, cultural y ambientalmente.

Para ello se han diseñado espacios urbanos multipropósito que funcionan como áreas de juego, plazas o estacionamientos, pero que en presencia de lluvia se convierten en depósitos de agua. Las escalas de los almacenamientos de agua de lluvia van

*Al cambiar las fronteras entre el agua dulce y el agua salada con la construcción de los diques, se modificó el balance de agua de la región del delta de forma favorable, con lo que mejoró el abastecimiento de agua dulce para la agricultura. Fue necesaria menos agua dulce para mantener el balance entre ésta y la salobre, y la disponibilidad total de agua en la región del delta aumentó.*



## ► El agua en el mundo

La adaptación espacial  
de los Países Bajos



*Los neerlandeses han logrado cambiar el paradigma y transformar el agua de una amenaza en una oportunidad; pudieron descentralizar el manejo de agua de tormenta mediante una estrategia en la que participa toda la población, reducir la presión al sistema de drenaje, reverdecer sus ciudades, integrar el agua de lluvia al paisaje urbano con la mejora de posibilidades visuales y de recreación, y hacer sus ciudades resilientes ante las precipitaciones extremas.*

desde almacenamiento doméstico en barriles hasta grandes superficies como la Plaza de Agua Benthemplein en Róterdam, un área de juego de 9,500 m<sup>2</sup> con tres espacios que se convierten en balsas de retención en presencia de lluvia intensa; o el depósito subterráneo en Kruisplein, con una capacidad de almacenamiento de 2,300 m<sup>3</sup> y el Museumpark Car Park, con capacidad para 10,000 metros cúbicos.

Los techos verdes también han tenido una importante función, ya que ayudan a disminuir la escorrentía de agua de lluvia en las ciudades; Ámsterdam cuenta con 4,000 m<sup>2</sup> de éstos, la mayor parte construidos durante 2016, y el jardín DakAkker en Róterdam sigue siendo su mejor exponente, debido a que

fue el primer techo construido en Europa, con una superficie de mil metros y una capacidad de absorción que alcanza los 60,000 litros de agua.

Con este plan, los neerlandeses han logrado cambiar el paradigma y transformar el agua de una amenaza en una oportunidad. Al combinar las medidas descritas pudieron descentralizar el manejo de agua de tormenta mediante una estrategia en la que participa toda la población, reducir la presión al sistema de drenaje, reverdecer sus ciudades, integrar el agua de lluvia al paisaje urbano con la mejora de posibilidades visuales y de recreación, y hacer sus ciudades resilientes ante las precipitaciones extremas. Así, han dado una lección de adaptación al demostrar que construir o ampliar infraestructura para desalojar agua no es la única opción para manejar el riesgo de inundación en las ciudades, sino que la combinación de medidas de adaptación es una alternativa, que ya está siendo imitada por países como Dinamarca, China y Brasil ◀

### Bibliografía

<https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/regions-and-generic-topics/spatial-adaptation>  
<https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme>  
<https://amsterdamsmartcity.com/projects/amsterdam-rainproof>  
<https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/waterplan-2/>  
<https://www.publicspace.org>  
<https://www.land8.com>  
<https://amsterdamsmartcity.com/projects/rooftop-revolution>  
<http://www.pbl.nl/en/publications/the-effects-of-climate-change-in-the-netherlands-2012>  
<http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL-2015-Worldwide-climate-effects-1412.pdf>  
<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/portals/spatial-adaptation-knowledge-portal>

# EDICIÓN **IV** Máster Internacional en

## Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas

# INSCRÍBETE

## 1 de Octubre 2018



### Conoce más sobre:

- Ciclo integral del agua
- Aspectos legales
- Normas de dimensionamiento
- Gestión de contratos
- Aplicaciones tecnológicas
- Laboratorios
- Experiencias de profesionales del sector
- Prácticas en Plantas de Tratamiento de Aguas



Universidad de Oviedo



Colegio Oficial  
de QUÍMICOS de  
Asturias y León



ANEAS  
Asociación Nacional de Empresas  
de Agua y Saneamiento de México, C.A.

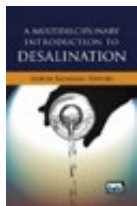
Contacto: [elizabeth.ortiz@aneas.com.mx](mailto:elizabeth.ortiz@aneas.com.mx)



# Actualización profesional

## A multidisciplinary introduction to desalination

**Alireza Bazargan, IWA Publishing - River Publications, 2018**



La escasez de agua es hoy en día uno de los retos más graves para la humanidad. Ya que la mayor parte del agua del planeta Tierra es salina, la industria de la desalinización es una de las posibles formas de evitar futuras o presentes crisis.

Con la experiencia y pericia de un conjunto de destacados autores, el objetivo de este libro es proveer una introducción incluyente y multidisciplinaria para los varios aspectos de la desalinización; es una ventaja que no se trate de un enfoque específico, sino extensivo, con lo que se obtiene un equilibrio entre lo técnico y lo divulgativo.

El texto se divide en cinco secciones generales. En la primera se presenta un panorama sobre la escasez hídrica, un repaso sobre el manejo integrado del agua y alternativas a la desalinización. En la segunda sección se abordan las tecnologías convencionales para llevar a cabo esta actividad, como los procesos de desalinización termal y con membranas. En seguida se revisa la historia de las tecnologías de desalación con sus procesos e ingeniería. La cuarta sección concierne a asuntos energéticos y ambientales. En la sección final se habla de cuestiones sociales y comerciales, desde la desalinización rural hasta la política de la desalinización; costos y factibilidad, modelos de negocio y panorama de mercado para esta industria ◀

## Energía limpia del agua sucia:

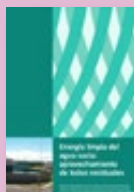
aprovechamiento de lodos residuales

**Gabriela Mantilla Morales et al., IMTA, 2017**

En 2017, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas determinó que el tema del Día Mundial del Agua, celebrado cada 22 de marzo desde el año 2005, sería “Aguas residuales, ¿por qué desperdiciar agua?” Con ello se buscaría crear mayor conciencia para reducir y reutilizar las aguas residuales que se generan por todas las actividades que lleva a cabo el ser humano para garantizar su supervivencia, bienestar y calidad de vida.

En México, el aprovechamiento de los lodos, subproductos del tratamiento de las aguas residuales, representa una oportunidad para disminuir los costos de operación de las plantas. Además, revaloriza dicho subproducto considerado tradicionalmente como un residuo de costosa eliminación, se mejora el medio ambiente y se favorece la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero generados por la utilización de combustibles fósiles al utilizar una fuente alterna de energía.

En este libro se presentan los resultados de los esfuerzos conjuntos de la Secretaría de Energía y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para establecer el potencial de generación de energía eléctrica a partir de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. El proyecto fue patrocinado por la Dirección General de Energías Limpias de la Secretaría de Energía ◀



## Faecal sludge management

Systems approach for implementation and operation

**Linda Strande et al. (Eds.), IWA Publishing, 2014**

Se estima que miles de millones de habitantes en áreas urbanas y periurbanas de África, Asia y América Latina recurren a sistemas sanitarios in situ (esto es, varios tipos de letrinas y fosas sépticas), instalaciones que hasta hace poco han recibido poca atención debido en parte a que son consideradas soluciones temporales hasta que se tiene disponibilidad de sistemas de drenaje. Sin embargo, esta percepción está cambiando, y cada vez más se considera como de largo plazo a los sistemas in situ además de opciones sostenibles para áreas urbanas, especialmente en países con población de ingresos bajos o medios.

Este es el primer libro dedicado al manejo de lodos fecales, un campo que está en auge y rápida evolución; aquí se expone un enfoque integrado para el tratamiento de estos residuos, en el cual se incluyen aspectos de tecnología, administración y planeación con base en 20 años de experiencia en el ámbito. Está diseñado para estudiantes universitarios, ingenieros y practicantes.

Algunos contenidos son: la situación global, cuantificación de los lodos fecales, métodos y medios para su recolección y transporte, caracterización y objetivos del tratamiento, e instalación de tanques para espesamiento ◀



## Informe divulgativo

sobre experiencias y resultados en la aplicación de sistemas de depuración natural (SDN) de aguas residuales

**Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias, 2017**



Informe redactado con objeto de aportar información y resultados concretos a los responsables de saneamiento y depuración, así como de la planificación hidrológica en Canarias sobre la aplicación de sistemas de depuración natural (SDN) para el tratamiento y regeneración de aguas residuales en pequeñas aglomeraciones de población y actividades equivalentes.

Se considera que esta información puede ser válida y útil a la hora de tomar en consideración nuevas opciones tecnológicas de menor costo energético, las cuales pueden ser integradas en los programas de medidas para el control de vertidos de forma sostenible; mejora del estado de las aguas tanto subterráneas como superficiales y costeras, al igual que fomento del mejor aprovechamiento del recurso agua.

Se abordan temas específicos, como los fundamentos y características de los SDN; resultados preliminares de experiencias piloto existentes en Canarias; divulgación del conocimiento y promoción de la formación y nuevos nichos de empleo; ejemplos de SDN; análisis de resultados, y un apartado de conclusiones generales ◀

## Uso seguro de aguas residuales en la agricultura:

ejemplos de buenas prácticas

**Hiroshan Hettiarachchi y Reza Ardakanian (Eds.), Universidad de las Naciones Unidas, 2017**

En la actualidad, más de 20 millones de hectáreas de tierra se riegan con aguas residuales, pero es preocupante que un gran porcentaje de esta práctica no se rige por ningún criterio científico que garantice el uso seguro.

Los institutos para la Gestión Integral de Flujos de Materiales y Recursos y para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud de la Universidad de las Naciones Unidas son los responsables de coordinar las actividades de uso seguro de aguas residuales en el ámbito de la agricultura, junto con otros socios. El objetivo de la fase actual en este rubro es ayudar a los estados miembros de la ONU a desarrollar sus capacidades nacionales en las áreas de interés destacadas e identificadas entre los años 2011 y 2015, y, a su vez, promover el uso de aguas residuales más seguro y productivo.



En 2015 se seleccionaron varios estudios de caso interesantes de distintas partes del mundo. Muchos de ellos también se presentaron y analizaron de manera verbal en el taller organizado en Lima en febrero de 2016. En el presente libro se incluyen 17 de estos estudios donde se tratan casos de América Latina, Asia y África ◀

## Agua y saneamiento en zonas periurbanas

Manual de planeación participativa con enfoque de género

**Denise Soares e Hilda Salazar, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017**

Una de las formas de desigualdad que tiene un impacto importante relacionado con la falta de acceso al agua y al saneamiento es la que prevalece entre las mujeres y los hombres. A pesar de los avances, las mujeres enfrentan un conjunto de asimetrías en todos los ámbitos que redundan en cargas de trabajo no remunerado desproporcionadas, menor peso en la toma de decisiones y un rezago importante en el acceso, uso y control de los recursos.

El presente manual se propone aportar elementos para atender las problemáticas específicas de las zonas periurbanas relacionadas con el agua y el saneamiento desde un enfoque de género y participación social. Se recogen conceptos, lineamientos y propuestas metodológicas para ser aplicados a las características particulares de esta población, siguiendo la idea de propiciar el mejoramiento de la calidad de vida y la construcción de modelos innovadores en los contextos periurbanos de la región. Se parte de la convicción de que las soluciones no serán eficientes ni duraderas si no incorporan los conocimientos, necesidades e intereses de la población a la que se busca beneficiar ◀





## Plástico del océano es convertido en combustible

El experto en bioquímica Swaminathan Ramesh y el mariner James E. Holm están desarrollando un sistema portátil que convierte los residuos plásticos flotantes en el mar en combustible diésel. Aunque al igual que las tecnologías convencionales este diseño descompone los desechos mediante pirolisis, también minimiza el impacto en términos de huella de carbono, gracias a su catalizador de metaloceno que, al ser introducido en un soporte poroso y sometido a una reacción de pirolisis controlada, produce el combustible sin necesidad de otros procesos de refinación.

El dispositivo cabe en un contenedor de mercancías de 20 pies, lo que en principio hace posible su utilización incluso a bordo de un barco; opera a una temperatura de entre 350 y 380 °C, inferior a la de otros sistemas. El invento aún tiene que concluir un largo proceso de perfeccionamiento antes de comenzar a usarse de forma extensa.

En un intento similar, a mediados de abril pasado se dio a conocer la creación accidental de una enzima que devora envases plásticos a un ritmo acelerado. En 2016 se descubrió en un basurero de Japón la primera bacteria que había evolucionado naturalmente

para comer plástico, y más tarde se definió la estructura detallada de la enzima producida por dicho organismo. Sin pretenderlo, al estudiarla para conocer la manera en que evolucionó, el equipo científico liderado por John McGeehan de la Universidad de Portsmouth mejoró sus capacidades para descomponer el PET. Después indicaron que la enzima mutante sólo requiere unos días para comenzar a deshacer el plástico, algo que en condiciones habituales en el océano se lleva siglos.

Se ha llegado a hablar de un “sexto continente” en el océano, constituido por toneladas de basura plástica ◀

## Captación de lluvia para consumo directo

La iniciativa mexicana Casa del Agua recupera el agua de lluvia para consumo mediante un proceso de triple filtración, evaporación y condensación que la hace 100% pura, en palabras de uno de sus fundadores.

El proceso comienza en una azotea verde donde se capta el agua, la cual pasa a un filtro que retiene los sedimentos y es llevada después a otro donde se descartan los primeros 15 minutos de lluvia, ya que en ellos se encuentran 70% de los contaminantes atmosféricos. De ahí el líquido pasa a su almacenaje y decantación. Esta última es una técnica de purificación en la que el agua permanece quieta y los sólidos se asientan. Después pasa por un filtro industrial a base de arenas silíceas que entrega el líquido listo para beber, con calidad aun mayor que la estipulada en la norma correspondiente.

Casa del Agua almacena el líquido purificado en su centro de producción, y es capaz de captar hasta 500 mil litros en un día ◀

## Investigación para la sustentabilidad

El Centro del Agua para América Latina y el Caribe surgió en noviembre de 2008 como un instituto de investigación aplicada en temas del uso sustentable del agua en la región. Uno de sus principios es observar y analizar las necesidades de los organismos operadores de agua, como clave para una mayor cobertura de agua potable y saneamiento básico. Con base su trabajo, el centro asegura que se requiere una fuerte inversión en capacidades técnicas e infraestructura, en repensar el sector agua y en su planificación.

El centro de investigación, ubicado en Monterrey, ha logrado consolidar tres áreas de trabajo: 1) tratamiento, análisis y calidad del agua; 2) geoprocesos ambientales, y 3) procesos y gestión hídrica. Actualmente impulsa nuevas áreas de aplicación que tienen que ver con la economía circular del agua, un aprovechamiento profundo del recurso para hacerlo sustentable y el nexo agua-energía, entre otras áreas. La comunidad que participa en el Centro del Agua está conformada por especialistas, profesores-investigadores, consultores, técnicos de laboratorio e incluso alumnos; además, ofrece posgrados y cursos presenciales o en línea ◀

## Agua activada con nanoondas

Una moderna tecnología modifica las propiedades físicas del agua y la hace más “fina”, lo que permite reducir a la mitad el líquido necesario para riego, aumentar la cantidad y calidad de los cultivos, y disminuir la presencia de sedimentos. La técnica se llama ASAR y fue creada por la compañía europea Nanolabs; se basa en ondas sónicas que actúan

sobre las propiedades físicas del agua y al hacerlo reducen sus puntos de fusión y ebullición, alteran su permeabilidad, mejoran su conductibilidad térmica, reducen su tensión superficial y aumentan su capacidad de disolución.

Las nanoondas, inapreciables para los sentidos humanos, actúan sobre los puentes de hidrógeno de las

moléculas del agua, y así reducen el tamaño de los grupos de moléculas. El resultado es lo que llaman “agua activada”, que según los encargados de producirla es mejor aprovechada y asimilada por las plantas, debido a que penetra mejor en el sustrato de cultivo y las raíces y es un mejor vehículo para las sustancias que nutren a los vegetales ◀

## La depuradora más grande de África

Al comienzo de este año 2018 fueron concluidas las obras de la planta depuradora de aguas residuales de Gabal Al Asfar en las afueras de la capital de Egipto, con lo que se dotó de una capacidad de tratamiento adicional de 500,000 m<sup>3</sup> por día; de esta manera se convierte en la PTAR más grande en el continente africano hoy por hoy.

La planta proveerá el suministro de la parte oriental de El Cairo, es decir, de unos 8 millones de personas. El complejo Gabal Al Asfar cuenta ahora con una capacidad para tratar 2.5 millones de metros cúbicos diariamente, por lo que también se sitúa como el tercero de su tipo más grande en el mundo ◀

## Gran proyecto piloto de cosecha de agua

Se lleva a cabo en Australia un proyecto piloto para demostrar en un ambiente real la eficiencia de los paneles hidroeléctricos SOURCE, desarrollados recientemente por la Universidad Estatal de Arizona, Estados Unidos, que extraen agua potable del ambiente usando la energía solar.

El proyecto se realiza con el apoyo de la Agencia Australia de Energía Renovable, la cual invirtió 420,000 dólares para probar 150 sistemas en Sídney, Perth y Adelaida, además de varias ciudades y comunidades pequeñas, y en diversos ambientes: aeropuertos, cafeterías, centros comunitarios y edificios comerciales. El interés de Australia por esta tecnología se explica por los altos costos que actualmente están asociados con el suministro de agua, así como al deseo de reducir el alto consumo de agua embotellada ◀

## El año con la mayor temperatura oceánica registrada

El pasado 2017 fue el año en que se registraron las más altas temperaturas en los océanos desde la década de 1950, en que comenzó a llevarse un registro global confiable. De acuerdo con información de un equipo de investigadores de China, los 2,000 metros superiores de aguas oceáni-

cas en el mundo tuvieron una mayor temperatura en ese año que en el hasta entonces más caluroso registrado (2015); en concreto, la temperatura rebasó en  $1.51 \times 10^{22}$  joules el último mayor registro.

Asimismo, se indica que en 2017 el calor se concentró principalmente

en los océanos Atlántico y Antártico, y que tan sólo por la expansión debida a una mayor temperatura se tuvo un aumento de 2 mm en el nivel del mar.

En los océanos se acumula el calor de la Tierra; es necesario entender esta variable para analizar correctamente el fenómeno del cambio climático ◀



# Calendario

Julio de 2018  
**26 y 27**

**Precongreso:**  
**Agua para el progreso de México. Los riesgos para la seguridad hídrica**

Jiutepec, México  
IMTA y AMH  
[www.atl.org.mx](http://www.atl.org.mx)

Agosto de 2018  
**12-17**

**Conferencia Internacional y 69ª Reunión Internacional del Consejo**

Saskatoon, Canadá  
Comisión Internacional de Riego y Drenaje  
[icid2018.org](http://icid2018.org)

Agosto de 2018  
**26-31**

**Semana Mundial del Agua 2018**

Estocolmo, Suecia  
Instituto Internacional del Agua de Estocolmo  
[www.worldwaterweek.org](http://www.worldwaterweek.org)

Agosto de 2018  
**29-31**

**Congreso Internacional de Recursos Naturales 2018**

Villahermosa, México  
Consejo Internacional de Recursos Naturales y Vida Silvestre, y otros  
[www.agua.unam.mx/eventos\\_inter.html](http://www.agua.unam.mx/eventos_inter.html)

Septiembre de 2018  
**4-6**

**Aquatech México**

Ciudad de México  
RAI Ámsterdam y otros  
[www.aquatechtrade.com/es/mexico](http://www.aquatechtrade.com/es/mexico)

Septiembre de 2018  
**5-7**

**2º Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats**

Tlaquepaque, México  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente  
[congreso-sustentabilidad.iteso.mx](http://congreso-sustentabilidad.iteso.mx)

Septiembre de 2018  
**18-21**

**XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica**

Buenos Aires, Argentina  
Asociación Internacional de Ingeniería e Investigaciones Hidro-Ambientales  
[www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/index.php](http://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/index.php)

Septiembre de 2018  
**25-28**

**Congreso Internacional de Recursos Naturales 2018 "Territorios sostenibles"**

Villahermosa, México  
UNAM y otros  
[congreso.coirenat.org](http://congreso.coirenat.org)

Noviembre de 2018  
**5-8**

**1ª Conferencia Young Water Professionals de América Latina y el Caribe**

Querétaro, México  
Asociación Internacional del Agua y otros  
[www.lac-ywpconference.org](http://www.lac-ywpconference.org)

Noviembre de 2018  
**5-9**

**Conferencia Conjunta de Bosques y Agua 2018**

Valdivia, Chile  
Ministerio de Agricultura de Chile y otros  
<http://forestsandwater2018.cl>

## 2º Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats

Este congreso internacional se realiza en el marco de la celebración por los 60 años del ITESO y se constituye como un espacio para el intercambio de experiencias entre lo académico y lo profesional a través de diversas actividades especializadas: ponencias, conferencias, mesas de debate, talleres, visitas técnicas guiadas y exposiciones donde se comparten innovaciones tecnológicas y experiencias exitosas de creatividad social en la construcción de ciudades resilientes.

Las temáticas estarán distribuidas en dos grandes ejes: innovación tecnológica como elemento necesario para el desarrollo y su aplicación en la sustentabilidad y resiliencia de las ciudades, y creatividad social como herramienta para la generación de propuestas que aporten a la resiliencia urbana. Se invita a académicos y estudiantes, innovadores, emprendedores y tomadores de decisiones preocupados por la sustentabilidad a participar en este congreso y compartir sus experiencias.



5-7 de septiembre  
Tlaquepaque, México  
[congreso-sustentabilidad.iteso.mx](http://congreso-sustentabilidad.iteso.mx)  
Contacto:  
[consustentabilidad@iteso.mx](mailto:consustentabilidad@iteso.mx)



**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:

635, 636, 637, 638, 639 y 640

para quienes contraten

antes del **15 de agosto de 2018**.

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

[construccion@heliosmx.org](mailto:construccion@heliosmx.org)

+ 52 (55) 29 76 12 22



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







## De la biblioteca El último de los nuestros

**Adélaïde de Clermont-Tonnerre, Roca, 2018**

Werner Zilch es un joven y atrevido empresario en Nueva York durante la década de 1970 que busca el reconocimiento y el éxito. Werner fue adoptado cuando era un bebé por una familia de clase media de Nueva Jersey. No sabe nada de su procedencia ni de su familia biológica, pero tampoco parece estar particularmente interesado en el tema. Cuando conoce a Rebecca, la hija de una familia acomodada e influyente de Nueva York, se enamora de ella locamente. Lo que no sabe es que corre el riesgo de perderla a menos que descubra la verdad sobre su propio pasado.

Poco a poco, Werner irá desentrañando la aterradora y compleja historia de sus orígenes. Nació durante la noche del bombardeo de Dresde en 1945, su madre murió al dar a luz. Después de la guerra fue trasladado a Estados Unidos como parte de la operación Paperclip –la misión que permitió al científico nazi Von Braun (el inventor del cohete V2) mudarse a América con toda discreción y sin someterse a ningún juicio, junto con otros 117 ciudadanos alemanes–. ¿Por qué viajaba Werner Zilch con Von Braun? ¿Qué hizo la familia Zilch durante la guerra? Estas son algunas de las preguntas que Werner tendrá que contestar, porque justo cuando cree que su amor es invencible, descubrirá que podría ser imposible.

Novela ganadora del Gran Premio de la Academia Francesa 2016 ◀

**Adélaïde de Clermont-Tonnerre  
(Neuilly-sur-Seine, 1976)**

Periodista y escritora afincada en París. Conquistó a la crítica francesa con su primera novela, *Fourrure* (2010), que ganó cinco premios literarios y fue finalista del prestigioso premio Goncourt. El último de los nuestros es su segunda novela.

## Cultura digital Ecos indígenas. La voz de la diversidad

Proyecto de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas que busca difundir, a través de internet, la diversidad cultural de México. Aglutina el trabajo de las emisoras que integran el Sistema de Radiodifusoras Culturales Indigenistas. Estas emisoras transmiten en amplitud modulada y están ubicadas en las principales regiones indígenas de México. Cada una de ellas transmite en las lenguas mayoritarias de su área de cobertura y, además, recoge las expresiones culturales, musicales y artísticas de los pueblos de la región ◀



[www.cdi.gob.mx/ecosgobmx](http://www.cdi.gob.mx/ecosgobmx)

## Exposiciones La fábrica de cine. Estudios Churubusco 1945-2017

Con motivo de sus 72 años, los estudios Churubusco presentan una exposición sobre su prolífica trayectoria y abren las puertas de sus instalaciones para que el público pueda conocerlas.

Se trata de una exposición interactiva y documental de los eventos más destacados que acontecieron en esas instalaciones. Está dividida en varios núcleos temáticos que profundizan en el quehacer de los pilares de la industria fílmica (directores, productores, cinefotógrafos, actores y escenógrafos), al tiempo que conducen al visitante por las diferentes etapas de producción de una película: desde la concepción hasta la proyección en salas de cine ◀



Estudios Churubusco  
Atletas 2, col. Country Club,  
del. Coyoacán, Ciudad de México  
Martes a domingo, 10:00 a 18:00 h  
Hasta el 2 de septiembre de 2018

# NABOHI®

EQUIPOS SUMERGIBLES



En **NABOHI INTERNACIONAL** tenemos una visión preventiva enfocada en la preservación y cuidado del medio ambiente, fomentando y apoyado iniciativas que promuevan la responsabilidad ambiental y principalmente el cuidado del agua.

Somos una empresa 100% mexicana, integrada por personal altamente capacitado para brindar la mejor atención a nuestros clientes.

Nabohi Internacional es una empresa dedicada al diseño y fabricación de equipos sumergibles para el manejo de aguas negras y residuales, que ofrece productos de alta calidad y servicio confiable a usuarios y comunidades de todo el mundo.

Nabohi es una empresa de vanguardia que día a día construye su presente y futuro con los más altos procedimientos tecnológicos, aplicando una nueva visión de servicio, con el único objetivo de elevar su productividad.

## SOMOS FABRICANTES

### NABOHI INTERNACIONAL COMPROMETIDOS CON LA SOCIEDAD



Ayuda a damnificados por los daños de los sismos ocurridos en septiembre 2017

DESARROLLANDO LA MANERA MÁS CONFIABLE DE MANEJAR LAS AGUAS NEGRAS RESIDUALES

@ contacto@nabohi.com.mx

f NabohiInternacional

t @NABOHI\_INTL

▶ nabohiTV



# Indar

An *Ingeteam* brand



Milwaukee  
(E.E.U.U. )

Beasain  
(España)

México  
(México D.F.)

Unidades de fabricación  
Agencias Comerciales  
Centros de Servicio



INDAR AMÉRICA S.A. DE C.V.

[ventas@indaramerica.com.mx](mailto: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](http://www.ingeteam.com/indar)