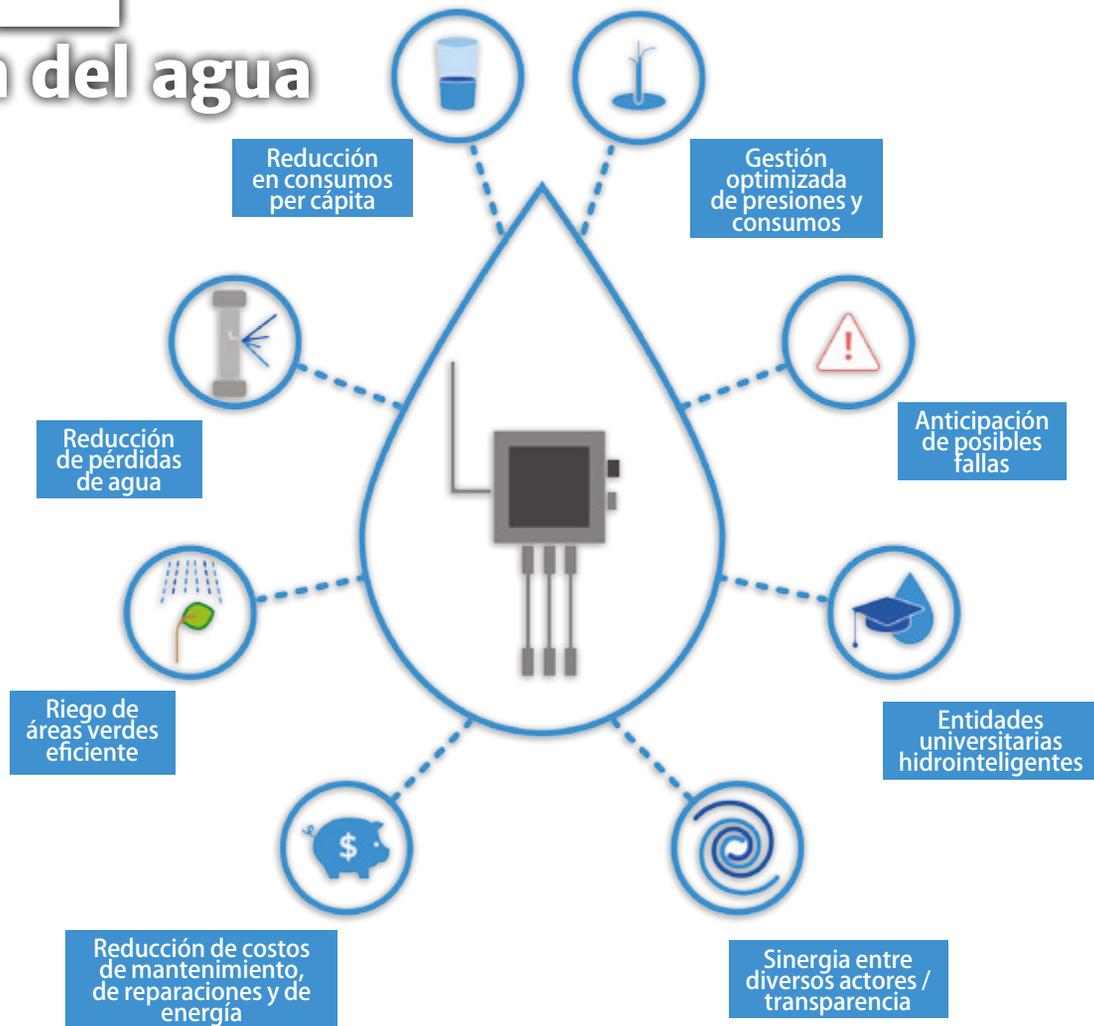


H₂O

Gestión del agua



Inteligencia artificial y **convergencia tecnológica** en el sector hídrico

Reducción del riesgo con modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso. **Carlos Rodrigo Garibay Rubio y Shumpei Suzuki** | Una visión sobre el futuro de la sequía en México. **Benjamín Martínez López** | Visión integral y multisectorial. **Guillermo Leal** | El agua digital, clave de la estrategia de transición hidrológica. **Helios** | Atrapanieblas en el desierto de Atacama. **Helios**



SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

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





FYPASA CONSTRUCCIONES, S.A DE C.V. (GRUPO FYPASA)

Haciéndose cargo del cuidado uno de los activos más valiosos de los seres humanos: El Agua.

Las plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales, materia fundamental de Fypasa Construcciones, son sin duda un instrumento crucial tanto para el cuidado de la salud pública como para la conservación del medio ambiente, que en el fondo son la razón de ser de la empresa y su grupo de subsidiarias.

Fypasa Construcciones, a lo largo de casi 40 años de actividad profesional ha logrado presencia en los 32 estados de la república, en construcción, expansión y rehabilitación de infraestructura tanto en potabilización del agua como de tratamiento de aguas residuales municipales, totalizando a la fecha 45 plantas potabilizadoras y 70 plantas de

tratamiento, habiendo alcanzado ya una cifra global de procesamiento de alrededor de 22,000 L/seg.

Beneficiamos a las comunidades, mientras cuidamos el medio ambiente.

El Grupo Fypasa está integrado por un grupo de empresas dedicadas a la Ingeniería, la Construcción, y la Operación de las instalaciones de tratamiento en la parte técnica, así como por un equipo de Administración, Gestión Comercial y Finanzas que le ha permitido participar

no solo en licitaciones en modalidad de precios unitarios y llave en mano (Turn Key Projects), sino que también en proyectos de servicios en concesión a largo plazo con financiamiento privado parcial (BOT Projects).

Aun cuando la empresa ha sido fundada, dirigida y administrada por 40 años por mexicanos, eventualmente ha contado y cuenta con servicios de asesoría de alta especialidad de profesionales y empresas norteamericanas y europeas, que le han permitido acometer proyectos técnicamente complejos y costosos con resultados satisfactorios, utilizando en la mayoría de los casos tecnología universal a la medida del problema a resolver. Igualmente ha contado con

el suministro de equipos de proceso de las más prestigiadas marcas a nivel internacional, tanto para el tratamiento del agua como de los lodos residuales subproducto del primero.

En el área de potabilización, hemos llevado a cabo tanto proyectos convencionales (remoción de hierro, manganeso, turbiedad y desinfección) como proyectos especiales (remoción de dureza, arsénico, sulfuros, nitrógeno, y sólidos disueltos), satisfactoriamente con capacidades que van de 50 hasta 2,000 L/seg. En algunos casos se ha diseñado y construido también, largas y grandes líneas de conducción del agua cruda para alimentar las instalaciones de potabilización.

En el tratamiento de aguas residuales la empresa ha empleado importantes tratamientos biológicos en la línea de agua (Loso activados o biofiltración) en varios proyectos, al igual que físico-químicos en otros con capacidades

que van de 50 L/seg a 2,500 L/seg de caudal medio. En la línea de lodos ha destacado la implementación de digestión anaeróbica en algunos proyectos, así como el desaguado de lodos con nuevas tecnologías. También se han llevado a cabo proyectos de elevación de la eficiencia energética de las plantas de tratamiento, mediante la incorporación de obras de co-generación. Así mismo, la empresa ha participado en proyectos que incluyen el reúso del agua residual, coadyuvando a disminuir la demanda de agua de primer uso de acuíferos sobre explotados.

Como parte del desarrollo y crecimiento de Fypasa Construcciones empresa, en los últimos 4 años ha llevado a cabo su expansión de actividades a América del Sur, tanto en Potabilización como en Tratamiento de Aguas Residuales, poniendo su experiencia no solo al servicio de nuestro país sino que también de la región latinoamericana.

CONTACTO

+52 55 91 83 68 55

contacto@fypasa.com.mx

grupofypasa

Fypasa Construcciones S.A. de C.V.

<https://fypasa.com.mx/wp/contacto/>



Acumulamos ya una presencia sostenida en el sector de casi 40 años.





Contenido

Director general
Rafael Bernardo
Carmona Paredes

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

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

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

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

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

**Director general
de Drenaje**
Santiago
Maldonado Bravo



AVISO AL LECTOR

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

4 TEMA DE PORTADA
Inteligencia artificial y convergencia tecnológica en el sector hídrico
Fernando J. González Villarreal y cols.



10 ENTREVISTA
Visión integral y multisectorial
Guillermo Leal Báez

16 PREVENCIÓN
Reducción del riesgo con modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso
Carlos Rodrigo Garibay Rubio y Shumpei Suzuki



23 DESARROLLO
Avances en la gestión del agua potable en la Ciudad de México
Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel



28 PREVENCIÓN
Una visión sobre el futuro de la sequía en México
Benjamín Martínez López



34 TECNOLOGÍA
Agua digital: el camino a la transformación
Helios

40 EL AGUA EN EL MUNDO
Atrapanieblas en el desierto de Atacama
Helios

44 ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL
46 BREVES
47 CALENDARIO



48 ARTE / CULTURA





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

Noviembre 2022

Portada: **Helios**

Consejo Editorial

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

Dirección Ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

Dirección Editorial

Alicia Martínez Bravo

Coordinación de Contenidos

Teresa Martínez Bravo

Diseño

Diego Meza Segura

Dirección Comercial

Daniel N. Moser da Silva

Comercialización

Laura Torres Cobos

Dirección Operativa

Alicia Martínez Bravo

Realización

HELIOS COMUNICACIÓN

+52 (55) 29 76 12 22



HELIOS
COMUNICACIÓN



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

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

H₂O Gestión del agua, publicación trimestral. Noviembre de 2022. Editor responsable: Daniel N. Moser. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2013-072517282900-102. Certificado de Licitud de Título y Contenido: 16133. Domicilio de la publicación: Nezahualcóyotl 109, col. Centro, alcaldía Cuauhtémoc 06080 Ciudad de México. Impresión y distribución: Helios Comunicación, S.A. de C.V., 8 de Septiembre 42, col. Daniel Garza, alcaldía Miguel Hidalgo 11830, Ciudad de México.

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

El gran reto de los organismos operadores

Mucho se ha comentado que el modelo de gestión con el cual funcionan los organismos operadores es claramente fallido; está demasiado politizado, ya que la gran mayoría de las decisiones se toman desde la óptica de una rentabilidad partidista, no para alcanzar mayores eficiencias y prestar un mejor servicio, lo que finalmente se ha traducido en tarifas bajas, cobros ineficientes, altísima rotación de funcionarios, falta de recursos para cubrir tan solo los costos operativos, excesivas prestaciones laborales...

Ser director de un organismo operador es una tarea difícil e incomprendida. Mucho se critican las bajas eficiencias de los organismos operadores, que facturan el 50% del agua que producen y cobran el 75% de lo que facturan, es decir, un promedio de eficiencia global del 38%. Hay mucho por mejorar, estamos de acuerdo, pero es muy difícil resolver rezagos y deficiencias acumuladas durante décadas en tan solo los 1.7 años de estancia promedio en el puesto de los directivos del agua. He escuchado muchas veces exigencias de mayores eficiencias a los organismos, pero no se toma en cuenta que la mejora se trata de un proceso que requiere muchos años. Lo que una mala dirección puede echar a perder durante 2 años, puede costar un lustro recuperarlo.

Sin duda lo primero es cambiar nuestro modelo de gestión, ya que la administración municipal –salvo contadas excepciones– es un rotundo fracaso. Podemos verlo con simples cifras, que, por cierto, son oficiales, resultado de estadísticas del Inegi: en México hay 21.3 millones de personas sin servicio público de agua potable y 28.9 sin alcantarillado sanitario; en las zonas urbanas, el 42% de la población (unos 41 millones de personas) no recibe un servicio satisfactorio; el 39% (del orden de 38.4 millones) reciben agua que no es potable, y el 76% de las personas (74 millones) en las zonas urbanas de nuestro país consideran que el agua de la red puede enfermarlas y no la consumen. Con estos datos, no es extraño que México sea el principal consumidor de agua embotellada del mundo, con ventas estimadas en cerca de 100,000 millones de pesos anuales, más de vez y media de lo que recaudan los organismos operadores.

El único camino que vemos como factible para poder mejorar la situación consiste en lograr una mayor participación de los gobiernos estatales, a través de sus comisiones de agua cumpliendo funciones de regulación y buscando, en colaboración con las juntas de gobierno, modificar el rumbo, impedir que la visión partidista y electorera influya en las decisiones y garantizar que estas se tomen con una visión de largo plazo, que es la que se requiere en el subsector agua potable.

Ramón Aguirre Díaz



uropiaurbana.city



Inteligencia artificial y **convergencia** tecnológica en el **sector hídrico**

En este artículo se describen brevemente los principales resultados del curso “Inteligencia artificial y transformación para la seguridad hídrica”, organizado por el Programa Hidrológico Intergubernamental para América Latina y el Caribe, la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua y el Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de Unesco, con el objetivo de conocer las principales aplicaciones de las innovaciones digitales en el sector hídrico y analizar sus oportunidades y desafíos para garantizar la seguridad hídrica, considerando el contexto específico de América Latina y el Caribe.

La inteligencia artificial se incorpora cada vez más en nuestras vidas, pues ofrece soluciones para distintos sectores. Sus aplicaciones incluyen motores de búsqueda de información, modelos de análisis de datos y asistentes inteligentes, entre otras. En años recientes, esta y otras tecnologías se han incorporado al sector hídrico para dar solución a los principales retos de la seguridad hídrica.

La inteligencia artificial (IA) hace referencia al desarrollo de distintos sistemas computacionales capaces de desarrollar tareas para las cuales tradicionalmente se requiere razonamiento humano (IWA, 2020). Existen distintos enfoques (Domingos, 2015), pero el uso de algoritmos de *machine learning* o aprendizaje automatizado destaca por su relevancia actual. Estos algoritmos se caracterizan por no estar programados para realizar una tarea específica, sino para que, a partir de un conjunto de datos, encuentren la manera óptima de desarrollar dicha tarea. Esto los hace flexibles y adaptables ante entornos cambiantes, debido a que aprenden y mejoran su desempeño de manera continua a través de la experiencia.



FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL
Director del Centro Regional de Seguridad Hídrica.

Coautores: **JOSÉ ANTONIO ROMERO GIL** y **JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA**



Uno de los ejemplos más conocidos de esta técnica son las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales emulan al cerebro humano y la manera en la cual aprende. De manera general, las redes funcionan a partir de un conjunto de datos que sirven como ejemplo de la tarea que se espera realicen; posteriormente, la RNA analiza la información mediante un proceso denominado “entrenamiento”, en el cual se capturan las relaciones subyacentes de los datos para generar el resultado esperado, incluso cuando se desconozcan las relaciones matemáticas que ligan la información. Esta característica permite que las RNA descubran patrones en los datos que a menudo son desconocidos, incluso para expertos en el campo, con la limitante de que el conocimiento generado por la red no tiene un significado físico exacto o es muy difícil de explicar (IWA, 2020).

Gracias a estas capacidades, la IA se ha integrado con otras tecnologías, tales como medición remota, internet de las cosas, *big data* y computación en la nube. Esta integración, en el sector agua permite generar soluciones para su gestión más eficiente y la de los activos de los organismos encargados de su administración.

Tres aplicaciones en el sector

Gemelos digitales para la gestión del agua urbana

Un gemelo digital es una copia virtual del sistema real que reproduce, en tiempo real, tanto sus elementos físicos como su comportamiento. En esta copia digital se puede ensayar cualquier innovación que se pretenda realizar en el sistema real, es decir, sirve de simulador de pruebas. Con ello, se minimizan diversos riesgos económicos, de infraestructura, tiempo o recursos humanos, por mencionar algunos de sus beneficios. De esta manera, los gemelos digitales de un sistema ayudan a optimizar y eficientar procesos en una organización (Saddik, 2018).

Un caso de éxito en la aplicación de esta herramienta se encuentra en el área metropolitana de Valencia, España, donde habitan 1.7 millones de personas (Conejos *et al.*, 2019). La red de infraestructura de esta ciudad se abastece por los ríos Turia y Júcar, con dos plantas potabilizadoras que producen 6.4 m³/s de agua. La distribución de agua se realiza por medio de una red primaria y secundaria que tiene una extensión de 2,500 km, aproximadamente, con depósitos, estaciones de bombeo, válvulas eléctricas, medidores de presión y caudalímetros. Este sistema físico es operado las 24 horas desde una sala

de control; sin embargo, a partir del 2007 se comenzó a actualizar el modelo de gestión del organismo operador en conjunto con la Universidad Politécnica de Valencia, de manera que en 2017 se logró la total digitalización del sistema con ayuda de la tecnología GoAigua y el modelo EPANET, que permitió la operación del gemelo virtual.

Inteligencia artificial y aprendizaje automático en los servicios de agua y saneamiento

Uno de los principales retos para los sistemas operadores es el análisis e integración de datos para generar información estratégica que les permita incrementar su eficiencia. Para ello, Vieira *et al.* (2021) propusieron una interfaz integradora que permite administrar la información generada a través de modelos, ya sea numéricos, de IA u otros. Una de las características principales de esta plataforma es la capacidad de monitorear en tiempo real distintos datos, tales como ubicación y estado de la infraestructura, presión del agua en las tuberías, parámetros del tratamiento de las descargas residuales o la calidad del agua que llega a los hogares, ríos o playas de la ciudad.

Esta interfaz permite un monitoreo constante y abierto sobre el rendimiento de la empresa, así como un mejor

control y uso del equipo disponible de la organización. Asimismo, tiene la capacidad de generar avisos directamente a los usuarios cuando va a detenerse el servicio por causas de mantenimiento o reparación de fugas, o alertas por posibles inundaciones, por mencionar algunas. También, esta herramienta digital facilita el desarrollo de informes de resultados para el público en general; por ejemplo, en materia de consumo domicilia por zonas, cuidando toda la información personal, lo que genera una mayor vinculación con los usuarios y concienciación. Esta interfaz ha sido implementada exitosamente en Portugal y ha permitido disminuir las interrupciones del suministro en un 22.9% y el número de fallas en la red de alcantarillado en un 54%.

Ciudad universitaria: ciudad hidointeligente

Al campus central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), conocida como Ciudad Universitaria, asisten diariamente más de 180 mil personas, que conviven en 730 hectáreas de superficie. Para dotar de servicios de agua potable y saneamiento a la comunidad universitaria, este espacio cuenta con tres pozos, tres tanques de regulación, 54 kilómetros de tuberías de agua potable, 48 kilómetros de redes de alcantarillado, 12 kilómetros para el reúso de agua, 16 pozos de absorción de aguas pluviales y dos plantas de tratamiento de aguas residuales. De las 200 áreas verdes con las que cuenta, 50 se riegan con agua tratada. También se tienen 26 jardines con vegetación nativa, que requieren nulas o muy bajas cantidades de agua para su riego (Pumagua, 2017).

En los últimos años, la labor de Pumagua se ha orientado a hacer de Ciudad Universitaria una ciudad hidointeligente, en la que se combinen las soluciones basadas en la naturaleza y en el paisaje, los principios de economía circular, la convergencia tecnológica y la participación de la comunidad universitaria. Como se muestra en la figura 1, la transición hacia ciudades hidointeligentes brinda múlt-

des de alcantarillado, 12 kilómetros para el reúso de agua, 16 pozos de absorción de aguas pluviales y dos plantas de tratamiento de aguas residuales. De las 200 áreas verdes con las que cuenta, 50 se riegan con agua tratada. También se tienen 26 jardines con vegetación nativa, que requieren nulas o muy bajas cantidades de agua para su riego (Pumagua, 2017).

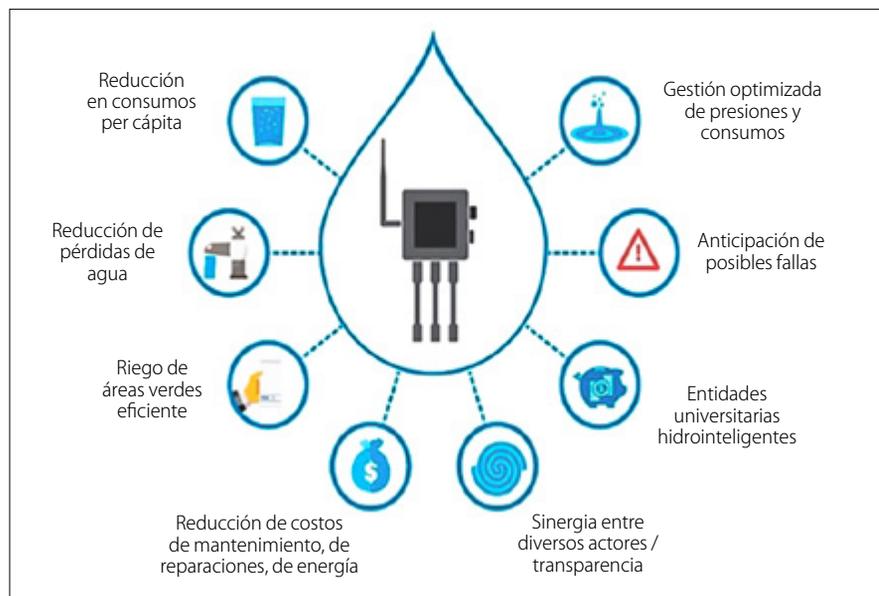


Figura 1. Beneficios de las ciudades hidointeligentes.



tiples beneficios a diferentes escalas. De acuerdo con la experiencia desarrollada en el campus, las ventajas más significativas han sido el uso eficiente de recursos, tanto materiales como económicos, la vinculación con la comunidad y el aumento en la transparencia y rendición de cuentas (IWRA, 2018). En esta última destaca la puesta en marcha del Observatorio del Agua, una plataforma virtual que muestra diversos parámetros analizados por el programa y que funciona como una herramienta que favorece la toma de decisiones, no solo de las autoridades encargadas de gestionar la infraestructura hidráulica, sino también de los distintos usuarios que, por ejemplo, pueden visualizar la calidad del agua que consumen en los bebederos.

La experiencia de Pumagua demuestra que las ciudades hidointeligentes permiten prestar mejores servicios a la sociedad, reducir costos y preservar el ambiente y la infraestructura (González Villarreal *et al.*, 2020). Para hacerlas realidad, es necesario contar con un grupo promotor de cambio que reconozca en la convergencia tecnológica un instrumento efectivo para gestionar de manera sostenible los recursos hídricos, pero que sea capaz de examinar sus limitaciones y combine su implementación con otras medidas igualmente esenciales, tales como las soluciones basadas en la naturaleza y en el paisaje o la participación social. Sin lugar a dudas, las universidades son agentes que promueven la innovación en el sector hídrico, por lo que deben generarse espacios más estrechos para su vinculación con el gobierno y la iniciativa privada.

Principales retos

La implementación de estas nuevas tecnologías, si bien ofrece diversos beneficios como los mencionados anteriormente, también trae consigo nuevos retos para el sector. Uno de los más relevantes es la ciberseguridad, ya que, con la integración tecnológica, elementos como bases de datos o algoritmos encargados de la administración de servicios o procesos operativos pueden adquirir una mayor vulnerabilidad ante un ataque cibernético. Entonces, es importante aumentar esfuerzos para alertar al sector hídrico sobre la importancia de incorporar ciberseguridad para protegerse de los diversos riesgos que se presentan (Donoso, 2022).

Otro de los principales retos para América Latina y el Caribe es la falta de financiamiento para invertir en tecnologías que,

paradójicamente, les permitirían tener una mayor eficiencia de sus recursos humanos y materiales.

Conclusiones y recomendaciones

Sin lugar a dudas, la convergencia tecnológica es una herramienta indispensable para alcanzar la seguridad hídrica; sin embargo, se requiere dedicar tiempo y recursos a su entendimiento y adopción en todo el ciclo hidrológico. Tal como se ha planteado, estas herramientas permiten atender problemas reales del sector; mejoran no solo la eficiencia en el uso del agua, sino también en los recursos humanos y materiales de las organizaciones encargadas de su administración, y además permiten una mayor vinculación con los usuarios.

La incorporación de este tipo de soluciones resulta no solo deseable, sino necesaria para alcanzar las metas de sustentabilidad. Sin embargo, existen aún distintos retos para incorporarlas y adaptarlas a las condiciones específicas de la región. Es necesario incrementar la vinculación entre gobierno, academia, empresa y sociedad, de manera que la incorporación de estas tecnologías considere también los riesgos asociados y esté acompañada de estrategias para mitigarlos. Finalmente, es importante continuar apoyando la divulgación sobre los beneficios y oportunidades de las herramientas tecnológicas para favorecer la ciberseguridad del sector, así como seguir incentivando el debate sobre el tema ◀

Referencias

- Conejos, P., F. Martínez A., M. Hervás C y J. Alonso C. (2019). *Development and use of a digital twin for the water supply and distribution network of Valencia (Spain)*.
- Domingos, P. (2015) *The master algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world*. Basic Books.
- Donoso, M. (2022). La ciberseguridad en la gestión inteligente del agua. En: F. González y J. A. Arriaga (Eds.). *Inteligencia artificial y transformación digital para la seguridad hídrica*. Recuperado de: www.cershi.org/images/nuestra-labor/publicaciones/PDF/2022/Inteligencia_artificial_SegHid.pdf
- González, F., C. Lartigue, J. Hidalgo, B. Hernández y S. Espinosa (2020). SWM technology for efficient water management in universities: the case of PUMAGUA, UNAM, Mexico City. *Water International* 45 (6): 526-551.
- González, F., y J. A. Arriaga (Eds.) (2022). *Inteligencia artificial y transformación digital para la seguridad hídrica*. Recuperado de: www.cershi.org/images/nuestra-labor/publicaciones/PDF/2022/Inteligencia_artificial_SegHid.pdf
- International Water Association, IWA (2020). Artificial intelligence solutions for the water sector. Digital water. Disponible en iwa-network.org/wp-content/uploads/2020/08/IWA_2020_Artificial_Intelligence_SCREEN.pdf.
- International Water Resources Association, IWRA (2018). Smart water management case study report. Recuperado de: www.iwra.org/wp-content/uploads/2018/11/SWM-report-final-web.pdf
- Pumagua (2017). Informe de avances 2017. Recuperado de: www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/informes/2017/INFORME_2017.pdf
- Vieira, P., M. Neves, F. Costa, M. Fernandes, M. Veiga y M. Oliveira (2021). Digital transformation in water and energy utilities – Porto case. 5th International Conference on Water Economics Statistics and Finance | on rethinking treatment with asset management. Recuperado de: www2.isep.ipp.pt/iwa_porto2021/uploads/IWA_21_set.pdf

Derecho humano
al agua

Coordinación
Sacmex
y Sederec

No a la
privatización del
servicio

Condonación
en colonias
con mal servicio

Regulación
de pipas

Consejo
de vinculación
delegacional

Aspectos relevantes
de la nueva
**Ley de Agua
y Sustentabilidad
Hídrica CDMX**

Instalación
de bebederos
públicos

Consejo
consultivo

Programa de
sustentabilidad
obligatorio

Junta de
Gobierno

Indicadores
de gestión social
e institucional

Juicios por cobro
de un derecho
como servicio

Descentralización
del Sacmex

Coordinación
en materia
de tarifas



Visión integral y multisectorial

Entrevista a **GUILLERMO LEAL BÁEZ**, presidente de la Asociación Mexicana de Ingeniería y Ciencias del Agua.

El agua no es un tema que deba abordarse solo por ingenieros especialistas en hidráulica. Una de las motivaciones principales para crear la Asociación Mexicana de Ingeniería y Ciencias del Agua (Aminca) es que intervengan diferentes sectores de la sociedad, de las ciencias duras y sociales, de la ingeniería y la tecnología. Se buscan soluciones involucrando a todos los actores que se necesitan para atender los grandes retos que tiene nuestro país. De ello nos habla su presidente, Guillermo Leal Báez.

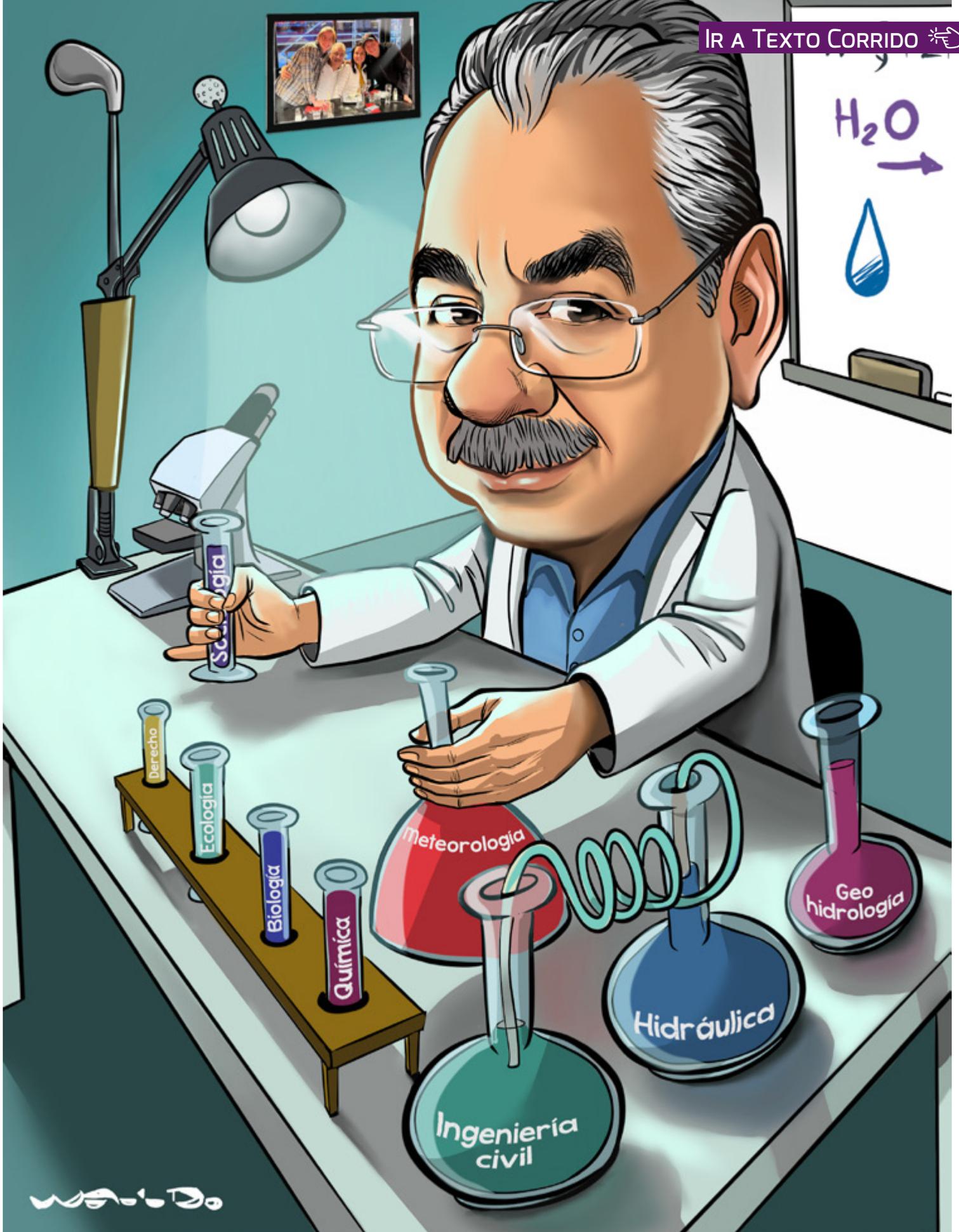
En el sector tenemos asociaciones y sociedades técnicas muy específicas, por ejemplo la de Geotecnia, la de Túneles, la de Estructuras y la de Ingeniería Sísmica, entre otras. El enfoque de la Aminca es que el agua no sea un tema que deba abordarse solo por ingenieros especialistas en hidráulica. Entonces, una de las motivaciones principales para crear la Aminca es que intervengan diferentes sectores de la sociedad, de las ciencias duras y sociales, de la ingeniería y la tecnología, para obtener un auténtico resultado positivo de los proyectos o de las obras; es decir, queremos hacer intervenir, de manera integral, a todos los actores que se necesitan para atender los grandes retos que tiene nuestro país.

Muchas de las obras que están pendientes de ejecutarse en México han tenido problemas sociales ocasionados por

no informar a la población involucrada en los proyectos y no atender oportuna y eficazmente sus cuestionamientos y propuestas. Un ejemplo es el desabasto de agua potable en Monterrey, que en gran medida tiene que ver con la aún postergada obra del acueducto Monterrey VI, el cual estaba planteado desde hace muchos años para llevar agua a esta ciudad desde el río Pánuco, y que se vio afectado por cuestiones sociales y disputas político-partidistas.

Cuando habla de los diversos actores, entiendo que se suman los sectores que son consumidores principales de agua: el habitacional, el industrial, el agrícola y el energético.

Efectivamente, además de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general. Es un hecho que, en México, el sector que utiliza la mayor cantidad de agua potable es el agrícola, que emplea aproximadamente el 70%; sin



W&D



embargo, un aspecto que hoy está en debate es el derecho humano al agua, específicamente por la forma en que lo definió la ONU en 2002, por medio del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, que emitió la Observación General número 15 sobre el derecho humano al agua, que no es otra cosa que el derecho de todos “a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico”. En nuestro país, este derecho y el derecho al saneamiento fueron reconocidos a través de la adición del sexto párrafo del artículo 4º constitucional, por lo que es urgente la elaboración de la Ley General de Aguas que regulará el derecho humano al agua y, por lo tanto, su uso personal y doméstico.

Más allá de los aspectos legales y administrativos, parece necesario hacer también hincapié en ofrecer información oportuna a la sociedad, para hacerla participar proactivamente en las políticas referidas al agua. Muchas personas consideran que el servicio del recurso hídrico debe ser gratuito, arguyendo que el agua está en la naturaleza. Pero la infraestructura para que esa agua esté disponible para todos los usos de la sociedad requiere fuertes inversiones. El agua puede ser gratis; la infraestructura para llevarla en cantidad y calidad necesarias a donde se requiere sin duda tiene un costo.

A sí es. La construcción, el mantenimiento y la conservación de la infraestructura cuestan. Entonces, se tienen que echar a andar programas que informen primero, y luego que concienticen a la población sobre el imprescindible buen uso del agua y sobre el costo del servicio, que implica una inversión importante de recursos económicos para contar con la infraestructura necesaria y así proporcionar un buen servicio.

El asunto radica en que las tarifas que se cobran por entrega de agua potable, en México, frecuentemente están subsidiadas; el problema del subsidio es que nunca se recupera el costo de llevar el agua hasta los hogares. A ello se suma el hecho de que gran parte de la población no paga el agua debido a tres principales razones: la primera es por un mal servicio; la segunda, porque no existe un sistema eficiente de cobro del servicio, y la tercera, por la creencia de que el agua debe ser gratis, como bien lo menciona.

Todo lo anterior deriva en una falta de recursos económicos para mejorar el servicio y se crea un círculo vicioso entre el servicio deficiente y la falta de pago por parte de la población.

Sin duda existen sectores empobrecidos, marginados, a los que sería necesario no cobrarles el servicio, o hacerlo con un precio subsidiado.

S í. En algunos países, los gobiernos ofrecen de manera gratuita una cantidad de agua mínima, que puede variar entre los 50 y los 100 litros diarios por persona; a partir del litro 51 o 101 de consumo, se empieza a cobrar al precio que corresponde. Si bien este esquema no existe en México, como ya lo comentamos, sí existe un subsidio a gran parte de los usuarios.

Pongamos un ejemplo: si el costo real del servicio por determinado volumen de agua es uno, y se está cobrando la tercera parte, resulta casi imposible que una población no concientizada acepte que a partir de mañana deberá pagar el precio real; sin embargo, ¿no sería apropiado ir incrementando paulatinamente el precio a lo largo de un plazo razonable, a la par de generar conciencia sobre el valor y precio del servicio?

E sa podría ser una manera de abordar el problema. En la Ciudad de México sí existen tarifas diferenciadas, pero de todas formas tienen un subsidio que debería irse eliminando poco a poco. Los subsidios son estrategias de los gobiernos que no deben ser permanentes ni generalizadas, salvo en poblaciones con muy escasos recursos económicos.

Son muchos y muy relevantes los desafíos en el sector agua. ¿Cuáles son a su juicio las prioridades a atender?

D e acuerdo con el censo realizado por el Inegi en 2020, la cobertura de infraestructura para proporcionar el servicio de agua potable era entonces del 96.3%; sin embargo, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, efectuada también por el Inegi en ese año, arroja un dato alarmante: solo el 59% de la población contaba con agua todos los días, así como con conexión a red de drenaje o fosa séptica. Por lo tanto, es prioritario garantizar que a ninguna persona le falte agua potable en sus hogares,



en cantidad y calidad suficientes, así como garantizar un adecuado servicio de alcantarillado.

Después, se debe atender el problema del tratamiento de las aguas residuales para preservar el medio ambiente y los acuíferos. Además, las aguas tratadas deben reutilizarse para riego y se debe tecnificar el campo para disminuir ese 70% de agua potable que actualmente se destina a la producción de alimentos.

Por otra parte, un gran reto es ampliar, mantener y conservar la infraestructura hidráulica, lo que requiere la asignación de un mayor presupuesto al sector y el fortalecimiento de las instituciones.

¿No debería legislarse respecto a qué tipo de uso se le puede dar al agua según la región del país? Por ejemplo, las industrias que más agua consumen podrían instalarse en el sur-sureste, donde abunda el recurso, y no en regiones donde escasea y se pone en grave riesgo el suministro para consumo humano.

En efecto. Incluso la Conagua ha dividido el país en dos grandes regiones: la centro-norte es una región árida y con poca precipitación, en la que se concentra el 77% de la población del país y se produce el 83% del PIB, a pesar de que solo cuenta con el 33% del agua renovable; por el contrario, en la región sureste solo vive el 23% de la población y se produce el 17% del PIB, aunque cuenta con el 67% del agua renovable.

De acuerdo con esto, la lógica indica que actividades como la agrícola y la industrial deberían extenderse hacia el sureste; sin embargo, recordemos que el mayor importador de productos mexicanos ha sido Estados Unidos. Su cercanía al norte de nuestro país, en conjunto con otros factores, ha propiciado el desarrollo económico de esta región.

Como menciona, el Estado tendría que propiciar una mejor distribución de los sectores de acuerdo con su requerimiento de agua y la disponibilidad de ésta. Para ello, los planes y programas de desarrollo tendrían que elaborarse de manera integral, considerando no solo el crecimiento de la población sino también las características y limitaciones ambientales, como la disponibilidad de agua; asimismo, tendrían que contemplarse planes de escalas regional y nacional que no solo se enfocaran puntualmente en las ciudades principales, sino que promovieran simultáneamente el desarrollo urbano, rural, agrícola, industrial, energético, etc., pero siempre dando prioridad a la conservación y preservación del medio ambiente para evitar convertir una solución actual en un problema de mayor gravedad en el futuro. En suma, debería formularse un plan de desarrollo urbano de acuerdo con la disponibilidad de agua.

Considerando el perfil interdisciplinario de la Aminca, ¿debería plantear una propuesta de ley al respecto para evitar problemas a mediano y largo plazo?

Sí, desde luego; la Aminca puede ser la vía para abordar estos temas. Al respecto, se ha platicado de manera informal con colegas y legisladores.

Los ingenieros estamos conscientes de que para plantear soluciones jurídicamente correctas es necesario apoyarnos en especialistas del derecho y administración del agua. Además, sabemos que hace falta una visión integral y de largo plazo sobre la problemática del agua, sus usos y servicios relacionados. Por ello, la Aminca reúne a profesionistas multidisciplinarios que, en conjunto, pueden participar en la elaboración de este tipo de propuestas.

¿Qué opina de la propuesta de dar estatus de secretaría de Estado al organismo que atiende los asuntos del sector hídrico (hoy la Conagua)?

Cuando existía la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) se hacía muchísima infraestructura de gran envergadura; esto era, precisamente, porque poseía las atribuciones y facultades de una secretaría de Estado; por ello, contaba con mayores recursos para atender las necesidades del sector hídrico nacional.

En la SRH todo llegaba de primera mano a su titular; todos los requerimientos que se tenían en el país se atendían de manera inmediata. No quiero decir que no se atiendan ahora, pero al no tener ese estatus, desde que se convirtió en comisión se le fue disminuyendo el presupuesto, lo que derivó en un alcance menor para resolver los problemas del país. Considero que haberle quitado al sector el rango de secretaría de Estado fue una mala decisión que puede subsanarse devolviéndole ese estatus.

Un debate que parece no tener fin es el de la participación empresarial en el sector hídrico. La discusión, a mi juicio, está viciada por prejuicios al confundir participación privada (sin que el Estado pierda el control) y privatización (cuando el Estado entrega a empresas el control del recurso y los servicios). ¿Cuál es su opinión al respecto?

El agua, de acuerdo con el artículo 27 de la Constitución, es propiedad de la nación. Como tal, el líquido no tiene costo; lo que tiene costo es el servicio de captación,

conducción y distribución del agua para llevarla hasta los usuarios. Si las autoridades correspondientes no cuentan con los recursos para dar el servicio, los esquemas de concesiones representan una solución a corto y mediano plazo que contribuyen al beneficio de la población. Las concesiones no significan la privatización del agua, sino que la empresa privada construye, opera, mantiene y conserva la infraestructura a cambio del cobro del servicio durante un cierto tiempo; cuando este termina, la infraestructura pertenece al Estado y este decide si renueva o no el contrato de concesión. Debe quedar claro que las concesiones se otorgan sobre el pago del servicio, no sobre el agua. Por lo tanto, en mi opinión, la participación privada es un mecanismo útil cuando el Estado no tiene los recursos suficientes para proporcionar el servicio.

La Semarnat anunció la incorporación de atribuciones y personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) a la Conagua, al tiempo que prometió “respetar los derechos laborales de los trabajadores, las oficinas, laboratorios y demás instalaciones de estos organismos, que no tendrán cambio alguno”. ¿Qué puede comentar al respecto?

Desde mi punto de vista, incorporar el IMTA a la Conagua no es adecuado, puesto que el IMTA es una institución técnica en la que se concentran distintos especialistas que se han dedicado a la investigación y docencia, quienes, a lo largo del tiempo, han resuelto distintos problemas del país, y no solo los que competen a la Conagua. Es decir, es un instituto que puede ser contratado por otras dependencias, organismos operadores o incluso particulares que necesiten resolver un problema de alto nivel para el cual no tengan capacidad técnica. Al incorporarse a la Conagua, el instituto podría verse limitado a resolver únicamente los problemas propios de esa comisión, y se eliminaría la posibilidad de ser un apoyo para el resto de la sociedad mexicana. Lo anterior es solo un ejemplo de las posibles consecuencias negativas que esto implica.

Ha habido todo tipo de críticas al proyecto de Ley General de Aguas en debate. Una de ellas es que se hizo una mezcla entre ley y reglamento, lo cual la hace muy confusa.



wikipedia.org

Efectivamente, existe una confusión. La Ley General de Aguas solo debe enfocarse en regular el sexto párrafo del artículo 4º constitucional, es decir, el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico. Aun cuando el mismo párrafo menciona la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como de la ciudadanía, esto no significa que la Ley General de Aguas deba regular otros usos como el agrícola, el industrial, el de servicios, etc., dado que estos usos están incluidos en la Ley de Aguas Nacionales que regula el artículo 27 constitucional. La diferencia entre ley y reglamento radica en que la primera contiene disposiciones generales, que posteriormente se definen de manera concreta en un reglamento; en este caso, se requiere elaborar la Ley General de Aguas y posteriormente se deberá crear su reglamento.

¿Qué debería hacerse para terminar de definir esto?

En primer lugar, comprender cabalmente el alcance de la Ley General de Aguas; como ya mencioné, esta ley únicamente debe regular el sexto párrafo del artículo 4º constitucional. Debe quedar claro que la emisión de esta ley no debe implicar la modificación de otros artículos constitucionales, como el 27 y el 115.

Si bien es cierto que existen varias iniciativas, también lo es que todas consideran la regulación de usos distintos al personal y doméstico. Por ello, de las iniciativas presentadas solo deben estudiarse aquellos preceptos que están dedicados a dicho uso y con ellos conformar la ley correspondiente; de lo contrario, aunque el Congreso apruebe una ley, esta podría ser impugnada por cualquier persona y, como resultado, la Suprema Corte de Justicia podría declarar inconstitucional dicha ley.

¿Algo que agregar?

Mucho se habla del agua potable, sus fuentes y sus sistemas de conducción, regulación, potabilización y distribución, pero poco se habla de los sistemas de drenaje, que constituyen elementos fundamentales en el funcionamiento de cualquier ciudad; tan es así que en el mismo párrafo sexto del artículo 4º constitucional se incluye el saneamiento con la misma importancia que el derecho huma-

no al agua. Entendamos que el saneamiento, básicamente, tiene dos etapas: la primera es la recolección, conducción y desalojo de las aguas residuales y pluviales, mientras que la segunda es el tratamiento de las aguas residuales y, en su caso, su reúso.

Idealmente, los dos tipos de drenaje, residual y pluvial, deberían diseñarse y construirse de manera separada; sin embargo, en México y otros países se manejan de forma combinada. Dentro de estos dos tipos de drenaje, el pluvial es el más complicado de manejar, puesto que los volúmenes de agua que escurren por su sistema siempre son mucho mayores que los volúmenes de aguas residuales. Además, este debe considerar que los gastos que escurren por él son producto de las lluvias, que pueden ser desde ordinarias hasta precipitaciones de gran magnitud ocasionadas por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, como ciclones tropicales.

En razón de lo anterior, los sistemas de drenaje de las grandes ciudades implican obras de gran envergadura y complejidad. Así, el sistema de drenaje de la Ciudad de México cuenta con 52 km de ríos entubados, 99 plantas de bombeo, 17 presas (en funcionamiento, aunque originalmente eran 29), 11 lagunas de regulación y 168 km de drenaje profundo, constituido por túneles de hasta 7 m de diámetro y con profundidades de 15 a 220 m, entre otras muchas obras. A pesar de ello, la ciudad aún sufre de encharcamientos, desbordamientos de ríos, inundaciones y diversos problemas derivados de subestimar la trascendencia del sistema de drenaje.

Las obras de drenaje son indispensables para la protección de la infraestructura, la población y sus bienes, por lo que es perentorio que consideremos una prioridad resolver no solo la problemática en torno al agua potable, sino también la relacionada con el drenaje, a través del fortalecimiento de las instituciones, la creación de políticas públicas, la planeación, la asignación de presupuestos adecuados y, por supuesto, el esfuerzo conjunto de los tres órdenes de gobierno, las instituciones públicas, la iniciativa privada, los ingenieros, los científicos y la sociedad ◀

Entrevista de Daniel N. Moser





arabianbusiness.com

Reducción del riesgo con modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso

**CARLOS RODRIGO GARIBAY RUBIO**

Programa de doctorado de la Universidad de Kioto. Instituto de Investigación para la Prevención de Desastres.

**SHUMPEI SUZUKI**

Estudiante de maestría. Escuela de Posgrado de Informática de la Universidad de Kioto.

En los últimos años, nuestro conocimiento sobre el mundo ha cambiado la forma en que vemos la ocurrencia de los fenómenos naturales, así como sus efectos en nuestras sociedades. Esto ha generado que la gestión del riesgo de desastres adquiera un papel central para reducir los efectos negativos de la ocurrencia de eventos peligrosos en nuestros territorios y para construir comunidades más resilientes.

Históricamente, según la Comisión Económica para América Latina (Bello *et al.*, 2020), entre 1970 y 2019 los fenómenos perturbadores con mayor prevalencia en México y Centroamérica fueron los fenómenos hidrometeorológicos, tendencia que continuó observándose durante 2020.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres de México reportó (2020) que el 82.8% de los eventos extremos de todo el año fueron hidrometeorológicos, causantes del 52% de todas las declaratorias de emergencia del gobierno, que afectaron a 789,127 personas, con una pérdida económica estimada de alrededor de 27,108,736 pesos mexicanos (Cenapred, 2021). Por otro lado, la Encuesta de Percepción de Riesgos Globales del Foro Económico Mundial posiciona al “fracaso de la acción climática” y al “clima extremo” como los dos riesgos más severos en escala global a esperar en los próximos 10 años (FEM, 2022). Sin duda las actuales tendencias apoyan la idea de que es de interés de todos trabajar activamente en la reducción de los efectos de este tipo de amenazas.

México y el INFORM

México es reconocido por ser una economía líder para América Latina y una importante influencia en la región. Sin embargo, el Comité Permanente entre Organismos y la Comisión Europea, a través del INFORM 2022 (IASC y CE, 2022), lo categorizaron entre los países con índice de riesgo medio, con una puntuación de 4.9 de 10.

Desafortunadamente, México ha registrado un incremento constante referido a su propia categoría de riesgo entre 2013 y 2022 y un gran aumento en la falta de capacidad para hacer frente a desastres ante las tendencias regionales, lo que sugiere que es urgente mejorar los mecanismos del país para modificar esta tendencia y buscar prevenir el desarrollo de una crisis social a raíz de un evento perturbador.

A través del INFORM se puede observar que existe una relación directamente proporcional entre el puntaje del índice de riesgo de un país y su probabilidad de desarrollar una crisis social: “a mayor riesgo, mayor probabilidad de desarrollar crisis por los eventos”.

Durante 2021, el 40% de los países con índice de riesgo medio (como México) experimentaron una crisis social, en comparación con los países con índice de riesgo bajo, que solo experimentaron crisis sociales en 14% de los casos.

¿Cómo trabajar por un futuro mejor?

Las políticas públicas para la reducción del riesgo de desastres pueden analizarse (no exhaustivamente) a partir de la forma en que se implementan, es decir que pueden verse como políticas desarrolladas desde los niveles y organismos gubernamentales hasta las comunidades, o construyéndose desde la comunidad para integrarse posteriormente en conjunto con el gobierno local a normativas locales o regionales. Las estrategias derivadas de estos diversos puntos de análisis no deben considerarse mutuamente excluyentes, sino complementarias.

► Prevención

Reducción del riesgo con modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso

Tabla 1. El modelo FACP clasifica las catástrofes por lluvias torrenciales en cuatro categorías

		Fenómeno perturbador	
		Perceptible Inundación y deslizamiento de tierras	No perceptible No se observan daños graves
Daños	Presentes	<p>Fatal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Casos en que tanto el fenómeno perturbador como los daños son fácilmente reconocibles • Alta cobertura de medios de comunicación 	<p>Accidental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Casos como en el cual una persona se acerca al río a verificar su situación y accidentalmente cae en él.
	Sin daños	<p>Crítico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Casos donde aun frente al impacto del fenómeno no se presentan daños considerables. • Las comunidades reconocen que el evento pudo ser muy grave. 	<p>Potencial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Casos que se pueden convertir en “fatales” en un siguiente evento. • Es difícil para las comunidades reconocer su cercanía al desastre.

Tradicionalmente, el enfoque adoptado por el Estado ha sido descendente, y sin duda ha salvado miles de vidas. Sin embargo, aún hay importantes espacios por mejorar en relación con la forma en que las instituciones transmiten su información, así como en la manera en que las personas se perciben a sí mismas en relación con los fenómenos perturbadores, elemento que impacta la motivación para desarrollar acciones tempranas.

En Japón se ha generado una amplia variedad de información sobre desastres con una estructura básica en la que las organizaciones públicas (Agencia Meteorológica de Japón) transmiten información y los residentes reciben y actúan a partir de esta información, según corresponda. Sin embargo, este sistema no es necesariamente eficaz en escenarios reales de catástrofe (Takenouchi y Yamori, 2020). Esto se debe a que, cuando nos referimos a seres humanos reales, la información unilateral descendente no implica por fuerza entendimiento y no garantiza una respuesta eficaz y oportuna ante desastres. No es de extrañar que el Marco de Sendai haya establecido como su primera prioridad para los próximos años “comprender el riesgo de desastres” (Asamblea General de la ONU, 2015) para alcanzar sus objetivos.

La reducción del riesgo de desastres desde el punto de vista de la comunidad

Promover acciones tempranas y efectivas en las comunidades ha demostrado no ser una tarea fácil. Bubeck, citando a Olfert (Olfert y Schanze, 2008), afirma que “la experiencia sugiere que las personas que viven en zonas propensas al riesgo rara vez

emprenden medidas de mitigación de forma voluntaria, lo que a menudo resulta en una alta vulnerabilidad” (Bubeck *et al.*, 2012).

Tener únicamente conocimiento sobre el fenómeno ha demostrado no ser suficiente para promover en general la acción oportuna (Takenouchi y Yamori, 2019; Bubeck *et al.*, 2012), una “educación centrada en la peligrosidad”, con “comunicaciones que despiertan el miedo” tampoco es una estrategia eficaz, como anteriormente se pensaba. Sin embargo, se muestran buenos resultados cuando se implementa una “educación para la prevención de desastres orientada hacia la actitud activa” (Katada y Kanai, 2016) junto con el desarrollo de conocimientos y el uso de la imaginación.

El desarrollo de estrategias que promuevan el pensamiento flexible y crítico dentro de las comunidades, sumado al uso de sistemas de información y el desarrollo de posibles alternativas de acción ante escenarios concretos (pasados o presentes) puede generar mejores resultados en términos de una respuesta más eficaz y coordinada entre los habitantes; se transforma entonces en una verdadera estrategia de reducción de riesgos comunitaria. La estrategia propuesta por Katada se desarrolla, por ejemplo, usando una visión ascendente a través del enfoque de reducción del riesgo de desastre comunitario.

Cuando un evento es “casi un desastre” y el modelo FACP

Una vez iniciado el esfuerzo de trabajar con una estrategia ascendente para la reducción del riesgo de desastre basada en la comunidad, se puede reconocer que las experiencias pasadas

de los individuos constituyen el conocimiento de fondo desde el cual se posicionan para la toma de decisiones y que interactúa con la información del entorno para crear un punto de vista que permita actuar. Utilizando este “entorno cognitivo manifiesto”, los individuos deciden qué hacer (Garibay Rubio, 2010).

En el caso de los sistemas de alerta temprana, su mera naturaleza implica que las condiciones extremas que están por venir aún no están siendo experimentadas por el individuo, lo que le dificulta detectar que algo extraordinario está sucediendo (como una ligera lluvia que podría cambiar por los fuertes vientos de un huracán), lo que genera una tendencia en él a asumir que “todo sigue siendo normal” (lo que se conoce como sesgo de normalidad).

Este tipo de creencias se refuerzan si –por un pequeño o gran margen– no se desencadena un desastre. Si recordamos que los eventos de mayor potencial destructivo suelen ser también aquellos con baja probabilidad, entonces prepararse para ellos es una tarea complicada, al tener que enfrentarse a pensamientos del tipo: “aquí no va a pasar nada”.

Esta forma dicotómica de clasificar los eventos únicamente en virtud de su ocurrencia –o no ocurrencia– puede verse en las tendencias de los medios de comunicación a centrarse solo en las grandes tragedias, mientras que, cuando no se desencadena el desastre, la situación no se considera más, sin importar cuán cerca del límite pudo estar la infraestructura. Sin embargo, las investigaciones en curso sugieren que los casos donde casi se desarrolla un desastre pueden utilizarse eficazmente para transmitir la probabilidad de riesgo e incrementar la preparación.

La clasificación dicotómica inicial se transforma, a través del modelo FACP (tabla 1) que clasifica los casos de desastres por lluvias intensas en cuatro categorías, en lugar de dos (Yamori et al., 2019): presencia o ausencia de un fenómeno de desastre vs. los daños.

Los casos denominados “fatal” y “crítico” corresponden a estados en los que se

produjo el “desastre”, mientras que los casos de “casi desastre” corresponden a los casos denominados “potencial”, según el grado de riesgo relativo a los márgenes de emergencia que van desde “casos sin riesgo alguno” hasta “casos que fueron casi un desastre”.

Modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso para casos de “casi desastre”

La modelación de pronósticos meteorológicos es uno de los métodos generalmente utilizados para la previsión meteorológica. Se trata de una tecnología que permite captar la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos de forma estocástica utilizando información estadística como la varianza y la media de los resultados mediante la realización de múltiples predicciones ligeramente diferentes. Esto permite generar una variedad de escenarios orientados al futuro. Sin embargo, al utilizar este método en sentido inverso para los casos de lluvia intensa del pasado es posible destacar un grupo de escenarios posibles en torno al histórico real que se materializó.

Por ejemplo, cuando se utiliza la modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso para analizar las lluvias intensas históricas en el ámbito de las cuasicatástrofes, el grupo

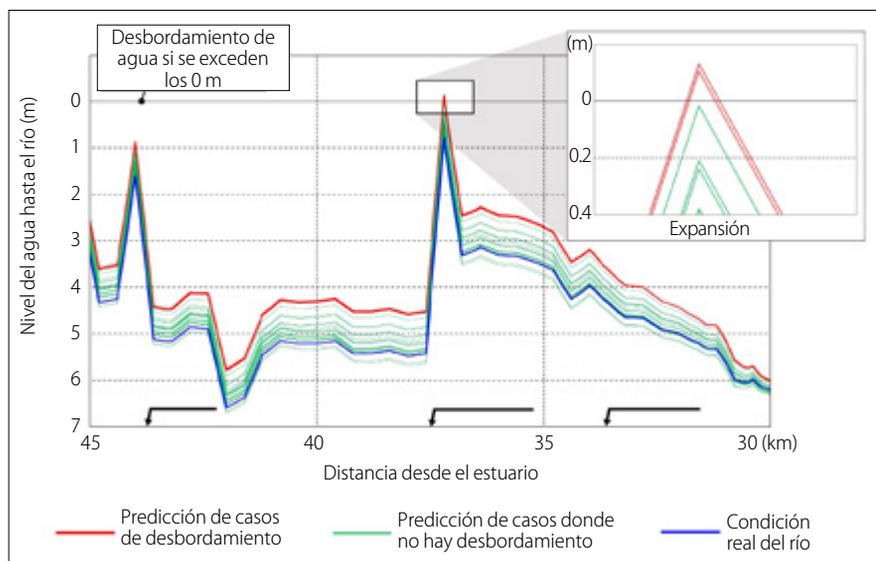


Figura 1. Análisis de múltiples previsiones del nivel de agua y los límites para el desbordamiento.



► Prevención

Reducción del riesgo con modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso

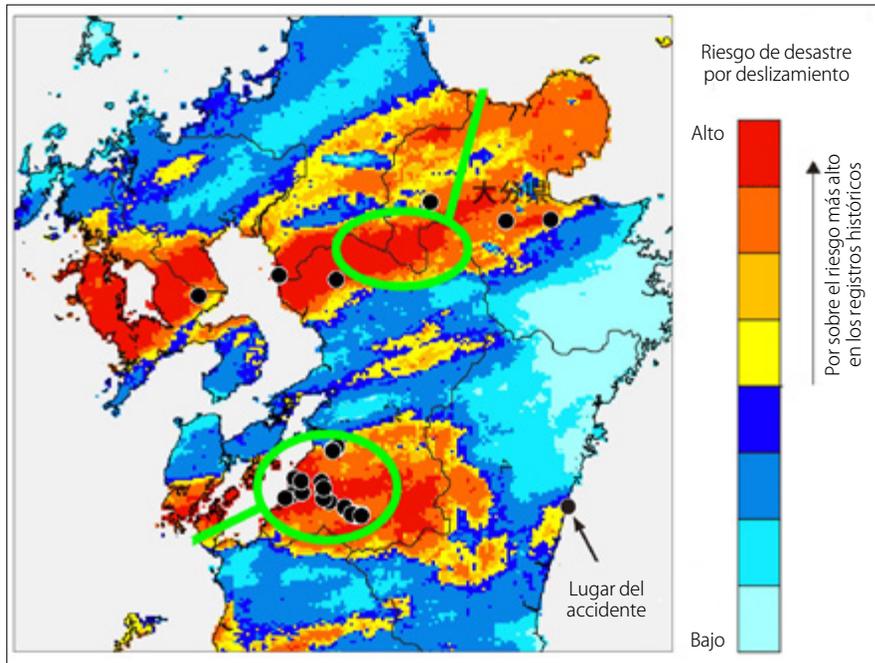


Figura 2. Riesgo de catástrofes por desprendimiento de tierras y lugares donde anteriormente se produjeron daños.

de escenarios obtenido seguramente incluirá uno que esté por encima del umbral de gestión segura de la infraestructura (nivel del río, capacidad de los sistemas de drenaje, etc.), y con ese ejemplo se puede trabajar con la comunidad para reconocer que, si bien no se generaron afectaciones en esa ocasión, bien pudieron haberse presentado. De este modo, el uso de la modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso permite transmitir a las comunidades de forma contundente también la posibilidad de un escenario futuro vinculado a la información real experimentada en el pasado, y reducir las creencias que ralentizan las acciones comunitarias de gestión de riesgos.

Un ejemplo de aplicación de esta metodología se muestra en la figura 1, referida al río Arakawa, que atraviesa Tokio, durante un tifón que azotó Japón en 2019. Cada una de las líneas discontinuas representa el nivel de agua del río a partir de la altura del terraplén y la posibilidad de inundación del río. La línea azul de la figura muestra el nivel de agua real, mientras que las otras representan múltiples predicciones. En particular, la línea roja muestra un escenario en el que el río se desbordó.

En otras palabras, “tuvieron suerte porque había muchas posibilidades de que se inundara”.

Como se muestra en la figura 2, también es posible presentar la información de la modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso cartográficamente mediante una evaluación del peligro por deslizamiento de laderas dado el índice de agua del suelo; el tono del color se basa en la relación entre el valor previsto y el registro histórico que causó un deslizamiento. Como antecedente, se señala que los eventos de deslizamientos de tierra se encuentran a menudo en áreas donde la relación máxima del índice de agua del suelo histórico supera el 100% (Homma y Ushiyama, 2021). De ello se desprende que, incluso en zonas en las que no se han producido deslizamientos, si el índice máximo histórico supera el 100%, es posible describir un suceso “casi catastrófico”, en el que los daños pueden ser de gran magnitud.

El impacto que la información tiene en los individuos está mediado también por el estilo de presentación (como las gráficas y los mapas), por lo que Suzuki (2021) realizó una encuesta con el fin de averiguar qué tipo de información es probable que genere mayor impacto. El resultado es que la información de los mapas, tal como se muestra en la figura 2, fue altamente evaluada por su facilidad de comprensión, en comparación con la información mostrada en las gráficas y, lo que es más importante: la información que incluye criterios para la ocurrencia de fenómenos específicos, como los criterios de “inundación del río” u “ocurrencia de víctimas” también fue evaluada mejor, ya que estos criterios permiten a la gente pensar en la catástrofe en relación con ellos mismos.

Se muestra así que, si bien inicialmente la presentación de gráficas y mapas tuvo una recepción diferente, una vez que se hicieron evidentes los criterios que determinaban la ocurrencia del desastre –como la figura 1–, la información fue igualmente valorada como en su momento la información cartográfica,

mientras que la información como la de la figura 3, que sólo presenta múltiples escenarios, no fue altamente evaluada.

Por qué preocuparse por mejorar la concienciación

Es habitual escuchar a la gente cuando recuerda el evento usar expresiones como: “fue inesperado”, “nunca antes había pasado” o “nunca lo imaginamos”, por lo que la estrategia busca animar a las personas a considerar lo que pudo haber ocurrido en los casos de “casi catástrofe”, aunque de hecho pareciera que no ocurrió nada.

De este modo, al usar ejemplos contrafácticos se alienta a que las personas piensen en “posibilidades” a través de esta información, lo que aumenta la intención de prepararse para situaciones inesperadas. Por lo tanto, una estrategia que tenga en cuenta los casos de casi desastre podría servir de trampolín para promover cambios de actitud como parte de los programas de reducción del riesgo de desastres basados en la comunidad, en previsión de futuros acontecimientos.

Actualmente, la descrita metodología se utiliza en la ciudad de Fukuchiyama, situada en la prefectura de Kioto, Japón, una ciudad con un historial de inundaciones y deslizamientos de

tierra causados por fuertes lluvias en múltiples ocasiones en los últimos 10 años. En la zona de Araki se utiliza la modelación de pronósticos meteorológicos, y sus productos se incluyen en el plan de acción de evacuación por lluvias torrenciales de la comunidad. En la figura 2 se puede observar que la información transmitida refleja el ratio máximo histórico del índice de agua del suelo, y en situaciones reales la información se envía a los residentes a través de redes sociales un día antes de que se prevean fuertes lluvias.

En este punto de la investigación, la información se proporciona solo como información de predicción. Sin embargo, una vez que se produzca un evento meteorológico de suficiente magnitud, la misma información se compartirá con los residentes de nuevo en la forma de modelación de pronósticos meteorológicos en sentido inverso, como se ha descrito anteriormente.

Se espera que, al trabajar repetidamente de esta forma, los residentes reflexionen sobre la experiencia reciente desde un punto de vista diferente que podría ayudar a mejorar las futuras acciones de preparación ◀

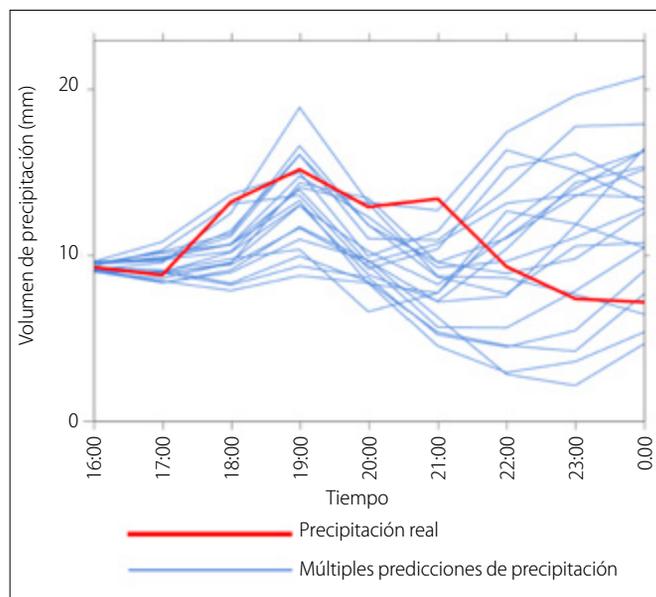


Figura 3. Múltiples escenarios de previsión de la cantidad de lluvia.

Referencias

Asamblea General de las Naciones Unidas (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.

Bello, O., A. Bustamante y P. Pizarro (2020). *Planificación de la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Santiago.

Bubeck, P., W. J. W. Botzen y J.C.J.H. Aerts (2012) A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. *Risk Analysis* 32(9): 1481-1495.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cenapred (2021). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México. Disponible en: www.gob.mx/cenapred/articulos/conoce-el-impacto-socioeconomico-de-los-principales-desastres-ocurridos-en-mexico-durante-2020

Comité Permanente entre Organismos, CPO, y Comisión Europea, CE (2022). *INFORM Report 2022, Shared evidence for managing crises and disasters*. Luxemburgo.

Foro Económico Mundial, FEM (2022). *The Global Risks Report 2022*.

Garibay Rubio, C.R. (2010a). *Alcances y limitaciones de los modelos de procesamiento dual: una propuesta para integrar inferencias abductivas*. UNAM.

Katada, T. y M. Kanai (2016). La educación escolar para mejorar la capacidad de respuesta ante los desastres: Un caso del “milagro de Kamaishi”. *Journal of Disaster Research* 11(5).

Olfert, A., y J. Schanze (2008). Nuevos enfoques para la evaluación ex-post de las medidas de reducción de riesgos: The example of flood proofing in Dresden, Germany. En: *Flood risk management: Research and practice*: 203. CRC Press.

Suzuki, S. (2021). Study on the effectiveness of disaster information focusing on “potential disaster”. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Kioto.

Takenouchi, K. y K. Yamori (2019). Practical research on development of “Disaster Response Switch”. Conference DPR1: 7. Kioto.

Takenouchi, K., y K. Yamori (2020). Integración sinérgica de información meteorológica detallada y comunitaria para la evacuación de desastres relacionados con el clima: Proposal of a “Disaster Response Switch”. *International Journal of Disaster Risk Science* 11(6): 762-775.

Yamori, K., et al. (2019). FACP Model to bring more attention to potential flood disaster cases latent under overtly damaged cases. Informe de catástrofes sobre las fuertes lluvias de julio de 2018. DPR1: 91-92.



Avances en la gestión del agua potable en la Ciudad de México

El problema de la gestión del agua potable en la Ciudad de México es multifacético, pero en general es ocasionado por una gestión inadecuada. En este artículo se analiza este fenómeno a partir de tres apartados: suministro del agua, organización institucional y sistema tarifario.

La Ciudad de México es una de las más pobladas y con mayor estrés hídrico en el mundo. Asimismo, desempeña un papel preponderante en lo político, social, económico y cultural en México. La forma de gestionar el recurso hídrico no ha tenido grandes cambios desde la época colonial, en el sentido de que se continúa en la búsqueda de nuevas fuentes de agua para satisfacer la demanda incesante. Esto ha propiciado la sobreexplotación de acuíferos, a lo que se suma una organización institucional centralizada que dificulta la coordinación entre áreas clave vinculadas con el agua y un sistema tarifario

que no permite cubrir los gastos de operación y las inversiones para mejorar la infraestructura hídrica. De continuar con esta tendencia, se agravarán los problemas relativos a la gestión del agua potable.

En el año 2010, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento, por lo que toda persona cuenta con el derecho a tener agua suficiente, continua, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para uso personal y doméstico. De igual forma, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 se alude a este derecho.



JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL
 Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

En 2017, unos 5,300 millones de personas utilizaron servicios de agua potable ubicados en instalaciones disponibles y libres de contaminación, mientras que 2,200 millones de personas no contaron con esto. El suministro de agua potable en el mundo escasea cada vez más, aunado al crecimiento poblacional, los cambios demográficos y la urbanización. Se estima que para 2025 la mitad de la población mundial vivirá en zonas con estrés hídrico (OMS, 2019).

La Ciudad de México se ubica entre las más afectadas por el estrés hídrico en el mundo (McDonald *et al.*, 2014). Los habitantes de la ciudad dependen para su abastecimiento de agua de dos fuentes principales: un acuífero intensamente sobreexplotado y un sistema de alto consumo energético que bombea agua 1,100 m cuesta arriba en una distancia de 162 km. Además, el hundimiento extremo y desigual de la tierra, debido a la extracción intensiva de agua subterránea, daña continuamente



la red y provoca una pérdida estimada del 25% por fugas, y un 14% adicional que no se mide y en gran parte no se contabiliza (Romero, 2010).

Por otra parte, la ciudad cuenta con una red de organizaciones compleja que dificulta llevar a cabo la gestión, y un sistema de tarifas con el que no se logra recuperar el costo operativo en que se incurre para el suministro de agua potable (Sacmex, 2012).

Suministro de agua potable

La problemática que subyace en el tema del agua se remonta a los orígenes de Tenochtitlan, asentada en el Lago de Texcoco en 1325. No obstante, los aztecas gestionaron el agua de forma eficiente evitando inundaciones y cubriendo las necesidades de su población. En el periodo de la Colonia, en 1493, cuando se fundó la Ciudad de México, se construyeron grandes obras hidráulicas, pero persistieron los problemas con el agua, particularmente los relativos a las inundaciones. Con el pasar de los años se siguieron construyendo grandes obras y se buscaron estrategias para suministrar agua potable a una población que iba en aumento, con lo que se ocasionaron problemas de sobreexplotación de acuíferos.

En la Ciudad de México, los centros de demanda no se ubican cerca de la disponibilidad hídrica, por lo que se torna compleja la gestión. El agua subterránea suministrada representa el 62% del total (Torres, 2017), y gran parte del agua extraída es destinada especialmente al abastecimiento público, mientras que otra parte se destina a la industria. Destacan como fuentes

externas de agua la cuenca del Lerma y el Sistema Cutzamala (Sacmex, 2012).

El consumo ha aumentado dramáticamente en el último siglo, con perspectivas negativas a futuro. Aunque la cobertura de agua potable a los habitantes de la Ciudad de México está por arriba del 94% (Conagua, 2019), con un gasto promedio de 32 m³/s, se presenta un déficit en el orden de los 3 m³/s (Sacmex, 2019). A esto también hay que sumarle que la distribución del agua sigue siendo desigual entre alcaldías, pues las mejor posicionadas económicamente tienen menos problemas de abasto; por ejemplo, la dotación diaria se encuentra en el orden de los 567 litros para las zonas residenciales, mientras que en las zonas populares es de 124 litros diarios, considerando que en algunas se carece de agua por periodos prolongados (Torres, 2017).

Organización institucional

En la Ciudad de México convergen una serie de actores de gobierno de diferentes órdenes políticos que deciden cómo realizar la gestión del agua en esta. En este entramado intervienen autoridades de los gobiernos federal, por medio de la Conagua y el Consejo de la Cuenca del Valle de México; estatal, primordialmente la Comisión de Saneamiento del Estado de México y el Sacmex, y los gobiernos locales de los estados involucrados y de las 16 alcaldías de la ciudad (Legorreta, 2006; Sacmex, 2012, 2020). A lo largo de su evolución, la ciudad se convirtió en el centro financiero, cultural y educativo más importante del país. Esto ocasionó la centralización de las dependencias del gobierno federal en su territorio y una concentración poblacional que incrementa la demanda, por lo que constantemente se busca la forma de abastecer de agua desde diferentes fuentes.

En relación con el aspecto financiero, este se resuelve a través de subsidios o transferencias de índole federal. Las inversiones federales se realizan combinando recursos del gobierno federal con los de los gobiernos estatales y municipales, además de los que ejerce la Conagua de forma centralizada o por medio de sus organismos de cuenca y direcciones locales. El servicio de agua y saneamiento se financia regularmente a través de tres rubros: transferencias, impuestos y tarifas (Conagua, 2019).

No existe una visión integral de largo plazo, lo cual resalta con el trabajo fragmentado que realizan las dependencias de los



La problemática que subyace en el tema del agua se remonta a los orígenes de Tenochtitlan, asentada en el Lago de Texcoco en 1325. No obstante, los aztecas gestionaron el agua de forma eficiente evitando inundaciones y cubriendo las necesidades de su población. En el periodo de la Colonia, en 1493, cuando se fundó la Ciudad de México, se construyeron grandes obras hidráulicas, pero persistieron los problemas con el agua, particularmente los relativos a las inundaciones. Con el pasar de los años se siguieron construyendo grandes obras y se buscaron estrategias para suministrar agua potable a una población que iba en aumento, con lo que se ocasionaron problemas de sobreexplotación de acuíferos.

distintos órdenes de gobierno que tienen injerencia en el tema del agua; a esto se suma a una baja participación en la toma de decisiones por parte de los sectores social y privado. Lo anterior ha tenido como consecuencia, entre otras, la escasez del agua, el agotamiento de las fuentes de suministro y el deterioro ambiental, problemas que se vienen acarreado desde hace décadas y que resentirán las próximas generaciones.

Sistema tarifario

En el artículo 172 del Código Fiscal de la Ciudad de México se establecen los derechos de suministro de agua según la clasificación de la manzana en que se ubique el inmueble y esté instalada una toma de agua (GOCDMX, 2021). No obstante, aún prevalecen bajas tarifas e incluso el no cobro, lo cual ocasiona que no se recuperen los costos en que se incurre durante el proceso de suministro de agua (Sacmex, 2012).

También es importante considerar la desigualdad que existe en torno a los subsidios, porque favorecen a los sectores con alto poder adquisitivo y perjudican a las familias que viven en zonas con mayor marginación (Morales *et al.*, 2018). Esto es debido a la carencia de información para identificar y relacionar las variables socioeconómicas de los diferentes hogares con el consumo de agua potable, pues los hogares que cuentan con menores ingresos económicos no tienen conexiones directas al servicio de agua o son deficientes.

Para ilustrar lo anterior, en la ciudad existen 261,850 mil hogares que no cuentan con agua entubada; destacan los hogares marginados de las demarcaciones territoriales de Iztapalapa, Milpa Alta y Xochimilco, que, al no contar con acceso al agua en su domicilio, no reciben el subsidio (Inegi, 2021). Por otra parte,



la no identificación apropiada del tipo de hogar considerando su situación socioeconómica causa la aplicación inadecuada de subsidios (Revollo *et al.*, 2019).

Recomendaciones

La satisfacción de la demanda de agua potable en la Ciudad de México con la creación de nuevas obras en fuentes ubicadas a las afueras de la ciudad no debería ser prioritario. En lugar de esto, deberían existir restricciones en el consumo de agua potable para evitar usos desmedidos, sobre todo en zonas donde no es justificable. Asimismo, la creación de un sistema que permita medir en tiempo real la cantidad suministrada de agua a los hogares y la detección de fugas debería ser prioritario, para lo cual se necesitaría destinar presupuesto. Igualmente, es necesario



continuar implementando programas de aprovechamiento de agua de lluvia a gran escala.

Respecto a la gestión institucional, es necesario que exista mayor control de las funciones y actividades de las dependencias gubernamentales, mejorar su coordinación y ampliarla a los sectores privado y social. También es imperioso darles prioridad a los planes a largo plazo para evitar que con cada cambio de gobierno se cambie el enfoque de política pública.

Por otra parte, se requiere un sistema tarifario tendiente a repartir un monto diversificado de tarifas de acuerdo con el consumo, en el marco de un sistema hídrico enfocado en la demanda, no en la oferta. Además, es menester priorizar a los hogares marginados de la ciudad, particularmente aquellos establecidos en las demarcaciones territoriales de Iztapalapa, Milpa Alta y Xochimilco.

Las recomendaciones para la gestión del agua potable en la Ciudad de México son generales y brindan una base sobre la cual se podría profundizar en próximas investigaciones ◀

Referencias

- Comisión Nacional del Agua, Conagua (2019). Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Disponible en: www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554702/DSAPAS_1-20.pdf
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México, GOCDMX (2021). Código Fiscal de la Ciudad de México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2021). Panorama sociodemográfico de México 2020.
- Legorreta, J. (2006). *El agua y la Ciudad de México: de Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- McDonald, R. I., et al. (2014). Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change* 27: 96-105.
- Morales, J. A., et al. (2018). Inequality in access to drinking water and subsidies between low and high income households in Mexico City. *Water* 10 (8): 1-16.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2019). Drinking-water. Disponible en: www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water
- Revollo, D. A., et al. (2019). Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México. *Gestión y política pública* 28(1): 39-67.
- Romero, P. (2010). Water in Mexico City: what will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities? *Environment and Urbanization* 22(1): 157-178.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Sacmex (2012). El gran reto del agua en la Ciudad de México.
- Sacmex (2019). Cumbre de fondos de agua: No hay agua que perder. Disponible en: www.fondosdeagua.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/latin-america/aguas.pdf
- Sacmex (2020). Acerca del Sacmex. Disponible en: www.sacmex.cdmx.gob.mx/organo-descentralizado/acerca-sacmex
- Torres, L. (2017). La gestión del agua potable en la Ciudad de México: los retos hídricos de la CDMX: gobernanza y sustentabilidad. Disponible en: halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02055413



AMINCA

Asociación Mexicana de
Ingeniería y Ciencias del Agua

— CONSEJO DIRECTIVO —
2022-2024

QUIÉNES SOMOS:

SOMOS UNA ASOCIACIÓN MULTIDISCIPLINARIA,
SIN FINES DE LUCRO, DEDICADA A LA GESTIÓN INTEGRADA,
LA SUSTENTABILIDAD Y LA SEGURIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.



Dr. Humberto Marengo Mogollón
Presidente del Consejo Consultivo



Ing. Guillermo Leal Báez
Presidente del Primer Consejo Directivo



Dr. Óscar Vega Roldán
Presidente de la Junta de Honor

NUESTRA MISIÓN:

Impulsar, integrar y orientar acciones para una mejor gestión del agua y servicios asociados a ella, procurando el bienestar social, el fortalecimiento económico y la preservación del medio ambiente.

CONOCE MÁS:



Una visión sobre el futuro de la sequía en México



bebbig.com

La continua mejoría de los modelos atmosféricos y de las técnicas de asimilación de datos ha permitido mejorar la estimación del estado de la atmósfera. Esta clase de modelos, basados en leyes físicas fundamentales que gobiernan la evolución de los fluidos tanto en la atmósfera como en los océanos, utilizan una vasta cantidad de información oceánica y meteorológica disponible con el objetivo de reproducir el estado de la atmósfera y su evolución, tan cerca de lo observado como sea posible. En este escrito se presenta una visión, basada en datos de lluvia provenientes del reanálisis Era5-Land, de las variaciones de lluvia de largo plazo que han sucedido en el noreste y centro de México.



BENJAMÍN MARTÍNEZ LÓPEZ

Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar, Departamento de Ciencias Atmosféricas, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM.

El cambio climático y sus efectos son temas de gran importancia y actualidad en todo el mundo, y México no es la excepción. En particular en 2022 estamos siendo testigos de reducciones importantes en el suministro de agua potable en el norte del país, con la ciudad de Monterrey acaparando notablemente la atención de los medios de comunicación.

Si bien la situación actual se explica parcialmente por un déficit prolongado de lluvias en el noreste de México, la escasez del vital líquido también se puede relacionar con un consumo excesivo de algunos cuantos a costa del racionamiento, o incluso la falta, para la mayoría. Paradójicamente, la escasez de agua en el norte contrasta con la abundancia en el sur, situación que ha motivado declaraciones tendientes a incentivar la migración parcial de algunas actividades industriales del seco noreste hacia el lluvioso sur. Algunas veces, sin embargo, nuestra memoria es corta y tendemos a olvidar rápidamente la sucesión de eventos de precipitaciones extremas y grandes sequías que se han presentado a lo largo y ancho de nuestro territorio durante el último siglo.

Hasta hace pocos años, la única manera de responder objetivamente a la cuestión del comportamiento de las lluvias

durante las últimas décadas era analizando las series de datos con los registros de precipitaciones existentes en nuestro país. Estos registros, sin embargo, presentan muchos problemas y son realmente escasos aquellos con pocos datos faltantes y lo suficientemente extensos para poder estimar robustamente la evolución pasada de la lluvia en el largo plazo. De tal manera, estudios de este tipo se podían realizar solo en las localidades que tenían la fortuna de contar con información de calidad. Así que la falta de una base confiable de registros de precipitación con alta resolución espacial ha impedido tener una idea clara y robusta sobre el cambio, o no, de los patrones de lluvia en México.

Afortunadamente, la continua mejoría de los modelos atmosféricos y de las técnicas de asimilación de datos ha permitido mejorar la estimación del estado de la atmósfera. Esta clase de modelos, basados en leyes físicas fundamentales que gobiernan la evolución de los fluidos tanto en la atmósfera como en los océanos, utilizan una vasta cantidad de información oceánica y meteorológica disponible con el objetivo de reproducir el estado de la atmósfera y su evolución, tan cerca de lo observado como sea posible. El uso de estos modelos, conjuntamente con técnicas muy sofisticadas de asimilación de datos, es lo que se conoce como un reanálisis, y es el ERA5-Land, desarrollado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas de Plazo Medio, uno de los más avanzados. En principio se contaba con un reanálisis que cubría el periodo desde 1979, pero en la actualidad este se ha incrementado y se cuenta ya con un reanálisis desde

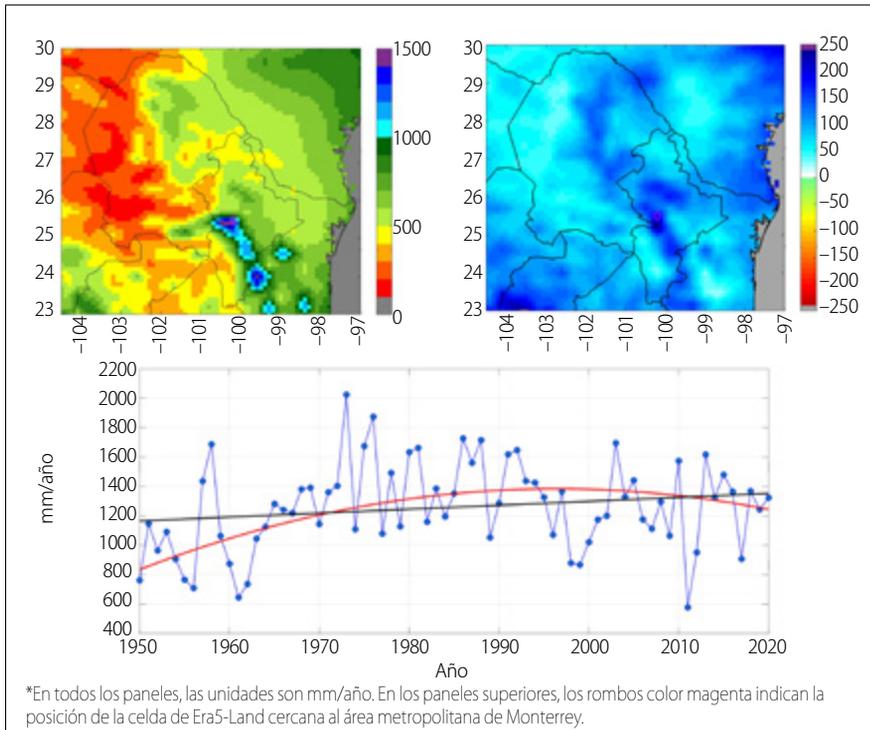


Figura 1. Precipitación anual acumulada promedio (1950-2020) obtenida del reanálisis Era5-Land para el noreste de México (panel superior izquierdo). Diferencia entre la precipitación anual acumulada promedio de los periodos 2010-2020 y 1950-1960 para el noreste de México (panel superior derecho). Valores anuales acumulados en una celda de Era5-Land próxima al área metropolitana de Monterrey (panel inferior, línea azul), su tendencia lineal (línea negra) y su tendencia no lineal (línea roja).

1950 hasta el presente. Tener una estimación robusta del estado de la atmósfera abarcando tal periodo permite, por primera vez, analizar la evolución de la lluvia en México utilizando uno de los mejores productos disponibles a la fecha. En este escrito se presenta una visión, basada en datos de lluvia provenientes del reanálisis Era5-Land, de las variaciones de lluvia de largo plazo que han sucedido en el noreste y centro de México. Algunos trabajos publicados han mostrado que Era5-Land tiene un muy buen desempeño al simular el ciclo hidrológico en algunas regiones, pero falta un estudio similar enfocado en nuestro país; sin embargo, es importante utilizarlo para ir difundiendo lo que se puede hacer con esta información reciente, a la par de trabajar en estudios especializados enfocados en esta problemática.

El caso del noreste de México

La sequía en el noreste de México es un problema muy complejo y resulta tentador achacárselo al cambio climático; pero

hacer esta asociación es muy engañoso, pues se deja de lado que en gran parte del centro y norte de nuestro país el clima es seco o muy seco. Por lo anterior, no debe extrañar a nadie que debido a esta particularidad se disponga, año con año, solo de una cierta cantidad limitada de precipitaciones que recargan de manera natural los acuíferos existentes. Si las lluvias son abundantes a lo largo de un año en particular, entonces es posible que estas sean suficientes para restituir los volúmenes de agua extraídos en los meses anteriores; pero si no es así, se estaría extrayendo más agua de la recargada y, en el largo plazo, esto genera problemas muy serios: degradación de la calidad del agua y, en casos extremos, su abatimiento, con todas las implicaciones que esto conlleva. Así que limitar la extracción de agua de los acuíferos en función de los aportes por lluvias es una acción fundamental para mantener unas “finanzas sanas” en el tema hídrico,

lo cual, desgraciadamente, no se cumple en el noreste de México. Analizando la información disponible de la Conagua, actualizada al 2020, se observa que el acuífero Área Metropolitana de Monterrey presenta un déficit aproximado de 11.5 millones de metros cúbicos anuales. Si esta situación deficitaria se mantiene, se podría disminuir aún más la calidad del agua que se extrae de ese acuífero, la cual ya ronda los límites permitidos en la cantidad de sólidos totales. Aquí es importante considerar que, si en un cierto volumen de agua se encuentra disuelta una determinada cantidad de material perjudicial para la salud, al disminuir el volumen de agua contenida en el acuífero, vía una mayor extracción que su recarga, la concentración de ese material dañino se incrementará; si la recarga es mayor que la extracción ocurre lo contrario, lo cual sería benéfico.

Existe algo en particular que podría ayudar a mejorar la situación de los mantos acuíferos en Monterrey, y ese algo muy esperado en el estado de Nuevo León es una temporada

muy activa de huracanes que generaría lluvias abundantes. Si se presentaran en los años venideros lluvias abundantes, la situación actual del déficit del acuífero se podría mantener por algunos años más sin que merme la calidad del agua extraída para consumo humano. Sin embargo, a juzgar por la información existente, la situación es insostenible en el mediano y largo plazo, como se explica a continuación.

La figura 1 (panel superior izquierdo) muestra la precipitación anual acumulada en el noreste de México, promediada en el periodo 1950-2020, obtenida del reanálisis Era5-Land. En Nuevo León, exceptuando algunas zonas del sur y norte del estado, las precipitaciones anuales sobrepasan los 500 mm, y exceden los 1,000 mm en las zonas serranas del occidente y suroeste. En contraste, en gran parte de Coahuila las precipitaciones no exceden los 500 mm anuales. Aquí cabe preguntarse si esta distribución espacial de la lluvia en el estado de Nuevo León es realista, pero hace falta más información medida para ahondar en ello. Así que por ahora se parte de los valores provenientes de Era5-Land, a reserva de profundizar en ello en algún trabajo especializado. El enfoque en este trabajo es el análisis de cambios, es decir, diferencias entre ciertos estados medios, lo cual elimina los sesgos que podrían tener los valores originales. Por lo tanto, a juzgar por esta nueva información disponible, y con las debidas reservas del caso, Nuevo León podría sustentar su consumo de agua con tales niveles de precipitaciones siempre y cuando se buscara optimizar la captación de agua de lluvia y favorecer su infiltración para la recarga de los mantos acuíferos. Más aun, si se comparan los niveles de precipitaciones anuales promediadas de 2010-2020 con los del periodo 1950-1960 (véase panel superior derecho de la figura 1), resulta evidente que todo el noreste de México presenta un incremento de precipitación.

Nótese que en Nuevo León los incrementos son más grandes en las zonas serranas, particularmente al suroeste de la zona metropolitana de Monterrey. Hasta aquí, uno podría concluir que son buenas noticias. Sin embargo, la conclusión anterior optimista, basada en un análisis muy simple, dista de ser cierta.

En los paneles superiores de la figura 1 se marca una celda del reanálisis Era5-Land que corresponde a una celda cercana a la zona metropolitana de Monterrey, la cual exhibe precipitaciones muy altas que excedieron los 2,000 mm en 1973 (de hecho, en este año se alcanzó su valor anual máximo absoluto). A partir de entonces, no se presentó un valor anual mayor pero sí su valor mínimo absoluto en 2011 (panel inferior de la figura 1). Así que, además de la clara variabilidad interanual (algunos

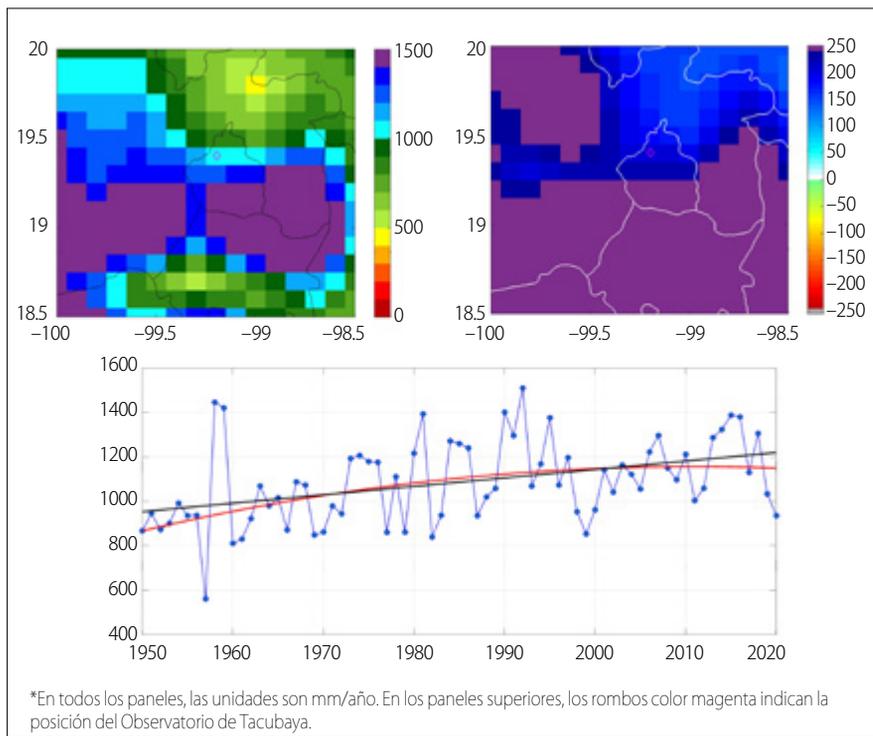


Figura 2. Precipitación anual acumulada promedio (1950-2020) obtenida del reanálisis Era5-Land para la región circundante a la CDMX (panel superior izquierdo). Diferencia entre la precipitación anual acumulada promedio de los periodos 2010-2020 y 1950-1960 para la región circundante a la CDMX (panel superior derecho). Valores anuales acumulados en la celda de Era5-Land más cercana al Observatorio de Tacubaya (panel inferior, línea azul), su tendencia lineal (línea negra) y su tendencia no lineal (línea roja).



años llueve más, otros menos, etc.), es útil determinar si se tiene una tendencia de largo plazo. Un análisis lineal para estimar la tendencia arroja que las lluvias se han incrementado en 2020 con respecto a sus valores de 1950 (línea negra). Sin embargo, un análisis no lineal (línea roja) indica que las precipitaciones se incrementaron desde 1950 hasta el año 2000, y alcanzaron en este año su valor máximo histórico, de largo plazo; a partir entonces, comenzaron a disminuir. Este comportamiento es muy parecido en gran parte de México: varían las fechas de ocurrencia del valor máximo y los niveles del descenso desde que este se alcanzó. Por ejemplo, en Nuevo León en los últimos 20 años se tienen disminuciones de los niveles de precipitaciones que van de un 10 a un 15% (véase panel inferior izquierdo de la figura 3), lo cual debería hacer encender los focos amarillos, o rojos según sea el caso, pues son tendencias de largo plazo que al menos pondrán su huella en la cantidad de lluvia durante las siguientes décadas. En Chihuahua la situación es más crítica, dado que ya van cuatro décadas de disminuciones sostenidas en gran parte del estado, con decrementos de hasta un 40% de sus valores máximos históricos observados (no mostrado).

El caso en el centro de México

En la región central de México la situación no es tan sombría como en el norte, pero no está libre de dificultades. La precipitación anual en prácticamente toda la Ciudad de México, gran parte del Estado de México y norte de Morelos excede los 1,000 mm (véase panel superior izquierdo de la figura 2). Con tales precipitaciones, la recarga de los acuíferos no debería ser mayor problema si se observaran buenas prácticas en el manejo del agua; por conflictos añejos que no vienen al caso, esto no ha sido posible, y la CDMX presenta grandes hundimientos que reflejan la extracción excesiva de agua y son un vivo testimonio de las políticas públicas fallidas para facilitar la recarga de los acuíferos.

Si se consideran los cambios de la precipitación anual promedio entre los periodos 1950-1960 y 2010-2020, se observa que hay incrementos en toda la zona circundante a la CDMX (véase panel superior derecho de la figura 2) marcadamente mayores a los observados en el noreste del país. Sin embargo, aquí es donde es preciso profundizar un poco, al igual que en el caso del estado de Nuevo León. Analizando la celda de Era5-Land más cercana al Observatorio de Tacubaya, que es donde se tiene la serie más

confiable y larga de precipitación, los valores anuales han pasado en el largo plazo de aproximadamente 868 mm en 1950 a 1,150 mm en el año 2020 (véase panel inferior de la figura 2).

Lo anterior representa un incremento de 282 mm en 71 años (estimado burdamente como la diferencia entre los valores iniciales y finales de la línea roja). Un análisis lineal indica que el incremento ha sido de 265 mm (línea negra), pero la ventaja del análisis no lineal es que nos muestra que en el año 2011 se alcanzó en Tacubaya un valor máximo histórico de 1,156 mm, y disminuyó a 1,150 mm en 2020. Esta pequeña disminución de la lluvia anual representa apenas un decremento de aproximadamente medio punto porcentual con respecto a su valor máximo histórico, disminución que podría desaparecer y convertirse en un crecimiento sostenido si en los próximos años se presentaran precipitaciones abundantes. Esto, sin embargo, es incierto y no se puede apostar a ello, por lo que también en la CDMX debería ser prioritario que las autoridades competentes se pongan a pensar en qué medidas de políticas públicas implementar para aprovechar al máximo las abundantes lluvias con la que cuenta aún la zona centro de nuestro país circundante a la CDMX.

El futuro

A juzgar por este breve análisis, la situación es crítica en el norte de México y no lo es tanto en el centro (zona circundante a la CDMX). Sin embargo, analizando todo el territorio nacional la situación podría ser no muy alentadora. Para entender lo anterior, considérese el panel superior de la figura 3. Allí se presenta una situación positiva (línea azul) y una negativa (línea roja) desde el punto de vista de los aportes de las precipitaciones para el balance hídrico en nuestro país. En breve, la evolución positiva indica que en el largo plazo las lluvias van a la alza; por la variabilidad natural se pueden presentar años más lluviosos y otros más secos, pero en el largo plazo, cada año se espera una ligera cantidad mayor de precipitaciones. Por el contrario, en una evolución negativa, las lluvias muestran incrementos sostenidos al principio del registro, pero en algún momento alcanzan, o están por alcanzar, su valor máximo, a partir del cual comienzan a disminuir. Además, se presenta una estimación de lo que arrojaría un análisis lineal sobre gran parte de México (línea negra).

Básicamente, si nos quedamos con el análisis lineal la conclusión es muy simple y engañosa: aproximadamente un 80 o

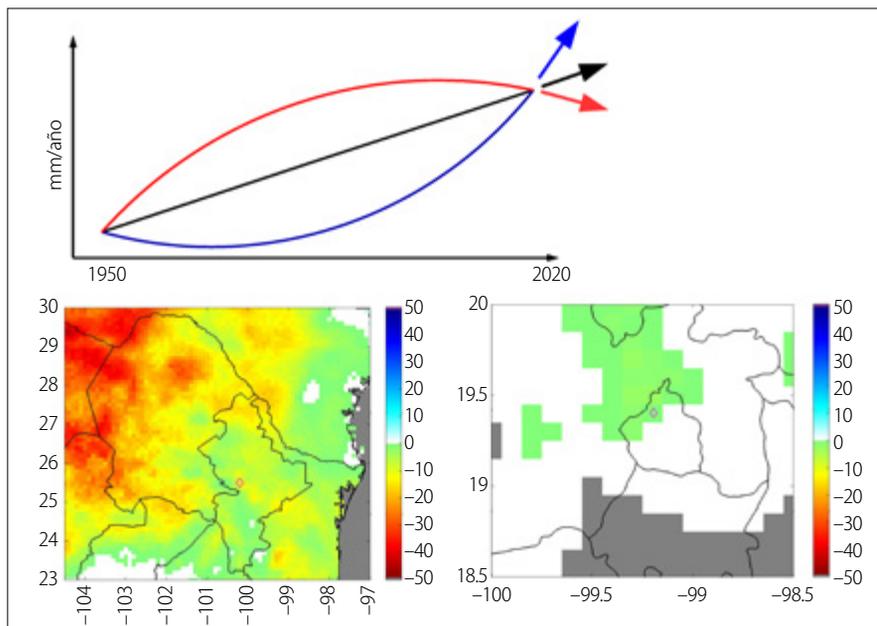


Figura 3. Esquema de una generalización del comportamiento de largo plazo que muestra la precipitación anual en México de 1950 a 2020, basada en un análisis no lineal de los datos de lluvia del reanálisis Era5-Land. La línea azul indica una evolución positiva de la lluvia y la roja una negativa. La línea negra indica lo que se obtendría de un análisis lineal. Las flechas muestran posibles estados futuros más allá del periodo analizado (panel superior). Cambio porcentual de la precipitación anual en el año 2020 en el noreste de México (panel inferior izquierdo) y la región circundante a la CDMX (panel inferior derecho) con respecto a sus valores del año 1950. Unidades en porcentaje de variación. Valores positivos indican incrementos, negativos decrementos. Las zonas grises denotan celdas sin información (panel inferior izquierdo), o lugares en que el comportamiento es positivo y por lo tanto no se calcula el máximo absoluto (panel inferior derecho).

90% de nuestro país muestra incrementos de precipitación en el largo plazo y no habría de qué preocuparse en esas regiones; se esperaría que siguieran presentándose lluvias más abundantes en el promedio hacia el futuro (flecha negra). En cambio, si se hace un análisis no lineal, la conclusión es que aproximadamente un 95% de la extensión de México muestra una evolución de largo plazo negativa (línea roja), la cual implica que en un futuro cercano habrá cada vez mayores decrementos de las precipitaciones (flecha roja). Asimismo, solo un 5% muestra una evolución positiva (línea azul), lo cual implica que en estas regiones se espera que las lluvias se incrementen en el futuro (flecha azul). Aquí es importante enfatizar que la mayor parte de nuestro territorio ya alcanzó su valor máximo histórico en el largo plazo (o está por alcanzarlo) y muestra decrementos con

respecto a ese máximo histórico, los cuales son más marcados en el norte (véase panel inferior izquierdo de la figura 3). En el centro, los máximos históricos en general aún no se alcanzan, e incluso parte del estado de Morelos es una de las pocas regiones con una evolución positiva (véase panel inferior derecho de la figura 3). En contraste (no mostrado), en el estado de Chihuahua se presenta una situación preocupante, pues vastas partes de su territorio exhiben decrementos mayores a un 40% a partir de que alcanzaron su valor máximo histórico.

Como se aprecia, las diferencias son notorias entre el análisis lineal y el no lineal, y debería ser preocupante que en el largo plazo la situación mostrada por el análisis no lineal empeore. Así que, considerando que solo un 5% del país tiene un comportamiento positivo de sus precipitaciones, es prioritario entender a cabalidad qué ha sucedido con la lluvia a lo largo y ancho de nuestro territorio, con la finalidad de identificar los procesos físicos responsables y generar el conocimiento especializado que ayu-

de en la toma de decisiones tendientes a optimizar el uso y el manejo regional del preciado recurso del agua. Y esto debería aplicarse no solo en el sediento norte, sino en todo el territorio, incluyendo al sur, tan pródigo en agua; no vaya a suceder que en algunas décadas más, los futuros estudiosos del tema y los tomadores de decisiones se debatan en críticas sobre la industrialización de tal o cual región, a sabiendas de que el abasto de largo plazo del vital líquido no estaba garantizado del todo. Las autoridades competentes tienen la palabra para ponerse a trabajar en el tema, el cual, sobra decirlo, es de una relevancia e importancia monumental. En este sentido, es muy reconfortante mencionar que el proyecto integral de rehabilitación del Lago de Tláhuac-Xico es un excelente primer paso del gobierno de la CDMX en la dirección correcta ◀

Agua digital: el camino a la transformación

Con el aumento de las presiones del cambio global, las ciudades del futuro tendrán dificultades para gestionar de manera eficiente los recursos hídricos más escasos y menos fiables. Cuestiones como la viabilidad del agua, la escasez, la adaptación frente a los patrones meteorológicos severos del cambio climático y las preocupaciones sobre la calidad del agua están afectando a los sistemas de agua y a los ciudadanos de todo el mundo. Frente a las crecientes presiones globales, los comienzos de la economía digital del agua pueden permitir al sector del agua la transición hacia un nuevo paradigma para la gestión del agua en las zonas urbanas.

La innovación digital está creando oportunidades sin precedentes para aprovechar los datos y los análisis a fin de informar mejor sobre las opciones actuales en escala de sistema y mejorar los próximos resultados para la gestión de las cuencas hidrográficas, el funcionamiento, el mantenimiento, la planificación de capital y el servicio al usuario.

Desde reducir los desbordamientos de alcantarillado en más de 3,700 millones de litros al año hasta reducir drásticamente

las pérdidas de agua no contabilizada, los proveedores de agua están reinventando la gestión del agua, creando rendimientos de agua, energía y reduciendo gastos que hace una década eran inimaginables. La Asociación Mundial del Agua (IWA, sus siglas en inglés) está impulsando al sector internacional del agua a adoptar un enfoque más inteligente para la gestión del agua. Inteligente por diseño: sistemas distribuidos adaptables *off-grid* (autónomos o fuera de la red), que proporcionan diversidad y modularidad, características críticas para la adaptabilidad; uso



bitus.st

inteligente: combinando conceptos de agua apta para el propósito (diferentes grados para diferentes usos) y recuperación y reutilización de recursos (de agua, energía y nutrientes de aguas residuales); y control inteligente (digital): internet de las cosas que soporta modelos basados en datos y puede ayudar a integrar y optimizar bombas, válvulas, sensores y actuadores inteligentes, y permite que cada dispositivo “hable” con otro o con el teléfono inteligente de un cliente, y envíe información en tiempo real para acceder a ella y compartirla a través de la nube.

El agua digital

Muchas empresas de servicios públicos en el mundo han comenzado el camino de la transformación digital. Aunque la transformación no siempre es fácil, con una infraestructura anticuada, inversiones inadecuadas, cambios climáticos y demográficos, el agua digital no se considera ahora como una “opción” sino como un “necesidad”.

Los elementos fundamentales de los servicios de agua –la sostenibilidad de los recursos, la gestión de la infraestructura y



la estabilidad financiera— han estado amenazados durante años. No se puede depender de las prácticas habituales en el sector del agua y las aguas residuales para mantener los servicios. Un futuro más sostenible y seguro para el agua significa pasar a la próxima generación de sistemas de agua, lo que incluye la adopción de soluciones digitales y las condiciones propicias para su aplicación efectiva.

Así como las tecnologías digitales están transformando muchos aspectos de nuestro mundo —desde nuestras ciudades hasta nuestros hogares y nuestras vidas personales—, también están transformando el agua.

Digital water, agua inteligente, internet del agua, agua 4.0... muchos términos se están utilizando para describir la transformación que está teniendo lugar actualmente en el sector del agua. Independientemente del término específico que se utilice, es importante definir este concepto en el sentido más amplio posible para comprender realmente el potencial que se tiene a mano.

Frente a los desafíos extremos en materia de agua, los servicios de agua y aguas residuales se han visto obligados a recurrir a soluciones nuevas e innovadoras: las tecnologías digitales, que ofrecen un potencial ilimitado para transformar los sistemas hídricos del mundo ayudando a los servicios públicos a ser más resistentes, innovadores y eficientes, y a su vez ayudándoles a construir una base más sólida y económicamente viable para el futuro. La utilización del valor de los datos, la automatización y la inteligencia artificial permite a los servicios públicos de agua ampliar los recursos hídricos, reducir el agua no facturada, ampliar los ciclos de vida de la infraestructura, proporcionar la base de la seguridad financiera y mucho más.

La cadena de valor del sector del agua vincula el medio ambiente y los recursos hídricos a una empresa de servicios públicos, las empresas de servicios públicos a sus clientes, y los clientes de vuelta a su entorno. Desde la infraestructura física hasta la calidad del agua, pasando por el servicio al cliente y más allá, el agua digital puede integrarse en cada punto clave del ciclo del agua.

Es importante señalar que la cadena de valor del agua se extiende más allá de los límites de una empresa de servicios públicos para incluir los recursos hídricos (por ejemplo, la cuen-

ca hidrográfica y otras fuentes) y los usuarios (por ejemplo, el sector público y las industrias).

Esto se refleja en el Programa de Acción para las Ciudades Conectadas a la Red, de la IWA, que esboza los fundamentos y proporciona un marco para coordinar las demandas urbanas, industriales, agrícolas y ecológicas dentro de una misma cadena de agua. La implantación de estas soluciones digitales a través de la visión ampliada de la cadena de valor, y dentro de los pasos de ésta, no es nada fácil. Las empresas de servicios públicos son organizaciones complejas, con múltiples departamentos, cada uno con sus propios objetivos, capas organizativas, redes de activos físicos y silos de sistemas de datos. En la figura 1 se pueden observar los componentes clave de los aportes y soluciones tecnológicas dentro de una organización de servicios públicos de agua y aguas residuales.

Con la creciente complejidad de los sistemas y la gestión de los recursos hídricos, existe un potencial y una necesidad cada vez mayores de adoptar soluciones digitales transformadoras. Por ejemplo, la telesupervisión y las tecnologías digitales compartidas proporcionan conectividad entre un servicio público y su suministro de agua diversificado. Diversas tecnologías digitales proporcionan a su vez conectividad dentro de las operaciones de un servicio público. El servicio de atención al cliente y las herramientas analíticas para el cliente están en condiciones de salvar la brecha entre una empresa de servicios públicos y su cliente, e iniciativas como las plataformas de datos abiertas y los proyectos de divulgación científica pueden proporcionar conectividad desde el cliente hasta su suministro de agua. Todas estas soluciones aprovechan lo último en tecnologías facilitadoras: nube, móvil, infraestructura inteligente, sensores, redes de comunicación y analítica y grandes volúmenes de datos.

Las tecnologías facilitadoras del mundo digital

Hay muchas soluciones digitales que forman parte de una empresa de servicios públicos, y aún más proveedores de tecnología y empresas de nueva creación que están facilitando su diseño, instalación y funcionamiento. Muchas de estas soluciones aprovechan las últimas innovaciones que se han visto en todas las industrias, sensores avanzados, análisis de datos, integración de cadenas de bloques e inteligencia artificial.

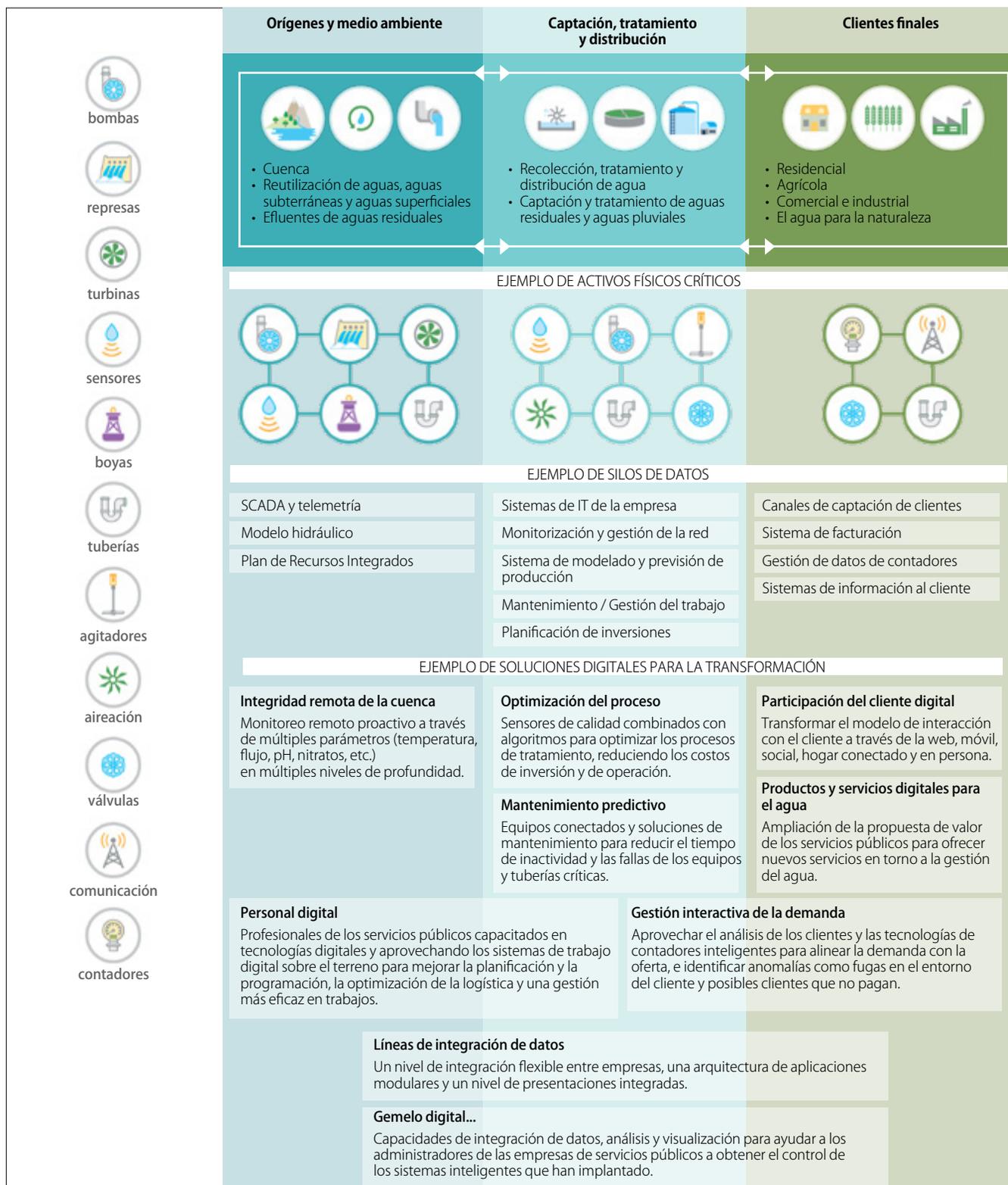


Figura 1. Introducción y soluciones tecnológicas de un servicio digital de agua y aguas residuales.



Sensores, monitorización y previsión

Los sensores, la detección a distancia, las tecnologías de los sistemas de información geográfica (SIG) y las herramientas de visualización se están convirtiendo en elementos clave para la gestión de los recursos hídricos a escala de zona de servicio, cuenca hidrográfica y región. Las tecnologías de teledetección/imágenes, como los satélites y los aviones teledirigidos, utilizados por separado o en conjunto, proporcionan datos para trazar mapas de los recursos hídricos, medir los flujos de agua y gestionar los activos de los servicios públicos. Los datos obtenidos con esas tecnologías pueden preparar mejor a los administradores de los recursos hídricos y a los servicios públicos para hacer frente a las incidencias de fuertes caudales de aguas pluviales (por ejemplo, alterando las operaciones para evitar el desbordamiento de las aguas residuales), indicar cuándo deben aplicarse las prácticas de conservación durante los periodos de sequía y garantizar que toda el agua tratada se entregue a los usuarios. Además, los datos de satélite pueden utilizarse para proporcionar información sobre la calidad del agua (por ejemplo, turbidez, floraciones de algas, etc.) y pronósticos hidrológicos que, cuando se utilizan junto con mediciones *in situ*, permiten a los operadores de los servicios públicos prepararse y reaccionar ante los problemas de calidad del agua y otros desafíos.

Se están utilizando sensores nuevos y ya existentes, tanto fijos como móviles, para proporcionar datos casi en tiempo real

sobre la calidad del agua, los caudales, las presiones y los niveles de agua, entre otros parámetros. Los sensores pueden ser distribuidos por los sistemas para ayudar a las operaciones diarias optimizando el uso de los recursos (por ejemplo, el uso de productos químicos para el tratamiento del agua), detectar, diagnosticar y prevenir proactivamente los acontecimientos perjudiciales (como roturas de tuberías, episodios de decoloración del agua, colapsos u obstrucciones del alcantarillado, etc.), y proporcionar información útil para el mantenimiento preventivo y la mejora de la planificación a largo plazo de los servicios de abastecimiento de agua (ayudando a dar prioridad a las reparaciones y sustituciones de la infraestructura anticuada). Asimismo, los sensores pueden proporcionar pruebas de corrosión de las tuberías y alertar a los propietarios de viviendas y a los servicios públicos cuando no se cumplen las normas de calidad del agua. Además, los contadores inteligentes registran el uso del agua de los clientes, proporcionando una imagen clara del consumo de agua y transmitiendo los datos tanto al consumidor como a la empresa de servicios públicos, lo que permite mejorar la gestión del agua.

El poder del tratamiento de datos

El aprendizaje automatizado y la inteligencia artificial se utilizan para procesar la detección y los datos de otras tecnologías, pero también para optimizar la mano de obra y asegurar que se satisfagan las necesidades de los clientes. La tecnología de la IA puede



inweh.unu.edu

El aprendizaje automatizado y la inteligencia artificial se utilizan para procesar la detección y los datos de otras tecnologías, pero también para optimizar la mano de obra y asegurar que se satisfagan las necesidades de los clientes. En conjunto, las tecnologías de teledetección, los sensores avanzados in situ, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la realidad aumentada y virtual, los dos sistemas digitales y la cadena de bloques son la base de lo que es el agua digital, y a medida que surgen nuevas tecnologías digitales, varios protagonistas del mercado, organizaciones y asociaciones se están convirtiendo en partes protagonistas clave, representando lo que es el agua digital.

reconocer patrones en los datos y “aprender” a lo largo del tiempo, actualizando los algoritmos a medida que se presenta la nueva información. Cuando se combina con plataformas de “software como servicio” (SaaS), sensores y redes de comunicación, la IA permite el funcionamiento estratégico y rentable de las empresas de servicios públicos, incluyendo una mejor planificación y ejecución de proyectos, un mejor seguimiento y comprensión de la pérdida de recursos en tiempo real, redes de acopio y distribución más eficientes y una máxima captación de ingresos y satisfacción del cliente. De este modo, la tecnología de aprendizaje automático/inteligencia artificial ayuda a abordar la cuestión clave de abundancia de datos pero pobreza de información en la industria del agua. Otros servicios de IA incluyen *bots* de conversación que pueden utilizarse para responder a las consultas de los clientes según la demanda, asegurando un servicio fiable 24 horas al día, 7 días a la semana, y mejorando la satisfacción del cliente.

Realidad combinada aumentada, virtual y digital

Las tecnologías de realidad aumentada y virtual (RA y RV) proporcionan sus propias y únicas contribuciones al agua digital. La tecnología de RA y RV tienen el potencial de apoyar la toma de decisiones en el campo proporcionando una representación holográfica de tuberías, cables y otros activos, y ofreciendo a los empleados una formación inmersiva basada en escenarios. Las tecnologías gemelas digitales fusionan aplicaciones de SIG, sensores y RV para generar réplicas funcionales de sistemas físicos que combinan datos físicos (imágenes de satélite) con datos *in situ* en tiempo real (sensores/internet de cosas) para simular funciones de las instalaciones. Los dos sistemas gemelos digitales proporcionan a las empresas de servicios públicos la capacidad de visualizar y supervisar las condiciones actuales, así como de hacer preguntas y predecir escenarios del mundo real.

Aplicaciones de cadenas de bloques para el agua

Las aplicaciones de las cadenas en bloque (*blockchain*) tienen el potencial de realizar transacciones directas y seguras entre los proveedores de recursos y los consumidores, los homólogos, los servicios públicos y otros agentes del sector del agua. Ya hay varios proyectos y ensayos de cadenas de bloques que se están llevando a cabo en la industria del agua, algunos de los cuales están relacionados con aplicaciones energéticas.

En conjunto, las tecnologías de teledetección, los sensores avanzados *in situ*, la IA, el aprendizaje automático, la AR/VR, los dos sistemas digitales y la cadena de bloques son la base de lo que es el agua digital, y a medida que surgen nuevas tecnologías digitales, varios protagonistas del mercado, organizaciones y asociaciones se están convirtiendo en partes protagonistas clave, representando lo que es el agua digital.

Conclusiones

Esta visión ampliada del “agua digital”—que abarca la estructura organizativa de un servicio público digital de agua y aguas residuales, el entorno de los usuarios finales aguas arriba y aguas abajo, y el extenso ecosistema de agua digital— puede a veces parecer desalentador. Sin embargo, a través de la participación en asociaciones profesionales e industriales, y en el diálogo entre expertos con otros servicios de agua y aguas residuales, esta visión amplificada pasa de ser una red compleja a un mapa de oportunidades. Al navegar con éxito por este mapa, existe el potencial de transformar la economía de la gestión del agua y las aguas residuales ◀

Este es un extracto del informe Agua digital. Los líderes de la industria diseñan el camino de transformación, publicado por Asociación Internacional del Agua y Xylem Inc.



Atrapanieblas en el desierto de Atacama

En un contexto de sequía, desertificación y cambio climático, se hace necesario buscar fuentes alternativas de agua. En el desierto más árido del mundo, el desierto de Atacama, en Chile, la niebla ha sido una respuesta.

El agua de niebla como fuente alternativa ha sido estudiada y aprovechada con distintos fines en diversos países y climas del mundo entero.

Siendo Atacama el desierto más árido del planeta, el conocimiento de los recursos hídricos, así como su caracterización, son elementos fundamentales para su gestión y conservación en el tiempo, premisa básica para un adecuado desarrollo de los ambientes desérticos.

La presencia de niebla ha condicionado la existencia de valiosos ecosistemas en ambientes hiperáridos que de otra manera no existirían, y ha dado relevancia y sentido al estudio de este fenómeno climático y novedoso recurso hídrico.

Uno de los elementos fundamentales ha sido la construcción de bases de datos y conocimiento relativo a la variedad y características de los recursos hídricos existentes en el norte de Chile, y un aspecto particular es la investigación de la nube

estratocúmulo y la neblina, como recurso hídrico de relevancia en sistemas naturales y antrópicos en ambientes desérticos. En este ámbito, es de relevancia el desarrollo de nuevo conocimiento, tecnologías de medición y captación, así como la integración con fuentes energéticas que permitan el traslado y gestión del agua.

La producción exitosa de agua de niebla y su continuidad en el tiempo depende de las condiciones y tipo de niebla (frecuencia, contenido de agua, velocidad de viento, etc.) y en buena medida de la participación e involucramiento de las comunidades locales.

Las bases

El clima desértico costero con nublados abundantes está determinado principalmente por la presencia del anticiclón del Pacífico, que condiciona las prácticamente nulas precipitaciones (0.6 mm promedio anual en la ciudad de Iquique, según la Di-



rección Meteorológica de Chile). La subsidencia de aire cálido propia de estas latitudes produce una inversión térmica y genera una primera capa marina húmeda y fría, intensificada por la corriente de Humboldt y las surgencias de aguas profundas. La humedad en ciertas condiciones se condensa y forma una extensa nube del tipo estratocúmulo (Sc), la cual, al entrar en contacto con la costa, forma la niebla o *camanchaca* (en aimará, “oscuridad”: neblina espesa y baja que se produce principalmente en el sur de Perú y el norte de Chile).

En esta zona es posible reconocer dos tipos de niebla: advectiva y orográfica. La primera es transportada por el viento hacia la costa con una altitud entre 500 y 1,000 metros y un grosor de 300 metros en promedio. Por su parte, la niebla orográfica se forma por el ascenso de una masa de aire húmedo por efecto del relieve, en este caso el farallón costero de la cordillera.

En Chile, los estudios pioneros de la niebla comenzaron en el Instituto de Geografía de la Universidad de Chile en la década de

1980. De hecho, la Estación Atacama UC, base de investigación de la universidad en Alto Patache, a 60 km al sur de Iquique, se encuentra en un “oasis de niebla” y su “símbolo” son sus atrapanieblas, estructuras que atrapan gota a gota la camanchaca que cubre completamente el territorio y deja varios litros de agua que pueden ser utilizados tanto para consumo humano como para actividades productivas.

Así nació la idea de crear un mapa de niebla del norte de Chile que permitiera saber dónde se encuentra la niebla y cuánta agua se puede obtener, tanto para las comunidades como para los tomadores de decisiones. El Centro del Desierto de Atacama y el Centro de Derecho y Gestión de Aguas UC concibieron el proyecto “La variabilidad espacio-temporal de la niebla costera del norte de Chile: análisis multifactorial y multiescalar para la construcción del mapa de agua niebla”.

A través de este mapa de toda la costa norte de Chile, desde Arica hasta Valparaíso, se ha buscado determinar la frecuencia

de la presencia de niebla utilizando datos meteorológicos e imágenes satelitales de los últimos 25 a 30 años. Esto ha permitido monitorear la distribución de la niebla en el territorio, tanto en un día como por cada estación del año.

Si bien se trata de promedios y se utiliza una escala de 1 km², el mapa también permite ver tendencias, el aumento o disminución de la niebla en ciertas zonas o los efectos que provocan fenómenos como el anticiclón del Pacífico o la temperatura del mar, que cambia con las corrientes de El Niño o La Niña, así como detectar anomalías o factores que intervienen en su formación.

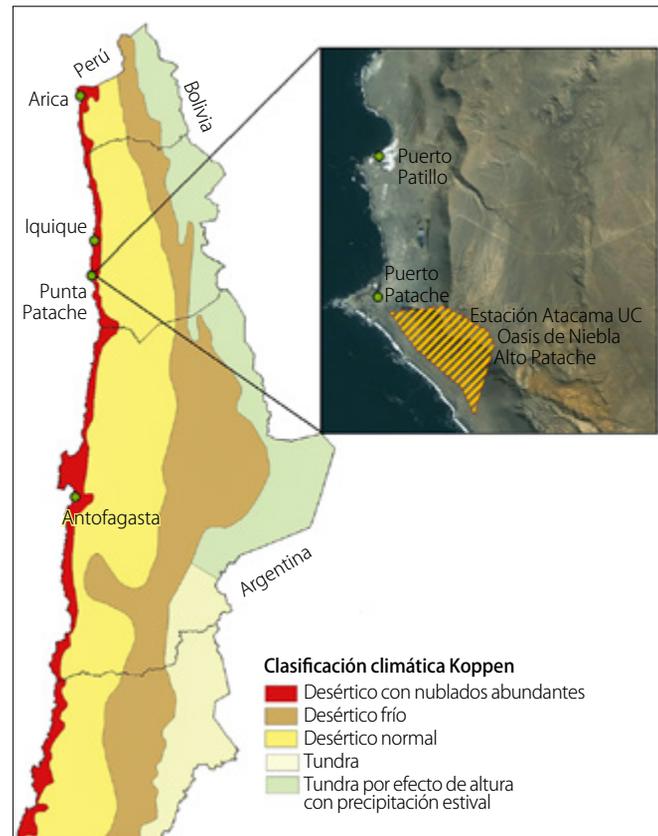
La segunda parte del proyecto es la escala local. Aspectos como la densidad de la niebla, el inicio y “tope” de la nube, y su incidencia en el territorio son muy difíciles de determinar con imágenes satelitales, por lo que acudir al terreno resulta imprescindible. Es por esto que se definieron tres puntos de control o monitoreo: la Estación Atacama UC, en la región de Tarapacá, que representa el Chile superárido; Parque Nacional Pan de Azúcar, en las regiones de Antofagasta y Atacama, que refleja al Chile árido, y Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en la región de Coquimbo, como muestra del Chile semiárido.

La Reserva Ecológica de Cerro Grande

Cuando las temperaturas bajan en el desierto de Atacama, la zona se cubre de niebla. En 2005, afectados por la crisis hídrica producto de la desertificación y de siglos de cultivo extensivo de trigo, un dirigente social y algunos pobladores decidieron crear la Reserva Ecológica Cerro Grande para preservar el último lugar con vegetación endémica de la zona.

Mediante la Fundación Alto en el Desierto, administradora y ejecutora del proyecto, instalaron el sistema de atrapanieblas en la reserva, ubicada a 650 metros sobre el nivel del mar. El proceso consiste en que, a través de paneles de mallas plásticas colocadas de manera vertical, “atajan” la niebla que proviene del océano Pacífico empujada por el viento, hasta que se condensa en gotas de agua que van cayendo a un canal conectado a estanques.

En el año 2006 se instalaron atrapanieblas para el riego de la reserva y para la regeneración natural de la vegetación propia del lugar. Ello dio pie para la regeneración del vauto (*Baccharis concava*), especie nativa que crece en terrenos degradados y permite el desarrollo de otras especies, debido a que sus hojas



funcionan como un atrapaniebla natural, con lo que se mejora además la calidad del suelo y resulta una herramienta muy eficaz contra el avance del desierto.

En 2011 diseñaron su propio atrapaniebla, que denominaron “Comunero”, de 9 m² de superficie de cosecha, resistente a las extremas condiciones atmosféricas, fácil de mantener, barato, transportable, seguro, con materiales que se encuentran en cualquier ferretería y realizado localmente.

Hoy en día, en la Reserva Ecológica Cerro Grande hay 28 atrapanieblas “Comuneros” de 9 m² que al día en promedio pueden cosechar 1,537 litros de agua, lo que equivale casi a 600,000 litros al año –un promedio que lo convierte en uno de los oasis de niebla más importantes de América Latina.

Además, la reserva cuenta con un refugio para realizar educación hidroambiental *in situ*, donde se realizan giras técnicas para estudiantes e instituciones interesadas en conocer téc-

nicas sustentables no tradicionales de captación hídrica; más de 400 estudiantes de educación básica por año visitan el lugar desde 2006. El agua captada se destina para el riego de la vegetación de la misma reserva y también para bebederos de ganado ovino (en situaciones de extrema sequía) fuera de la reserva.

Hasta ahora, el agua acumulada en la reserva de 100 hectáreas ha permitido reforestar un millar de árboles nativos y endémicos, como el quillay, el peumo y el guayacán. También para abastecer de agua al centenar de pobladores de Peña Blanca, dedicados principalmente a la ganadería, cuando no han llegado los camiones cisterna, o para dar de beber a los animales en tiempos críticos de sequía.

Desde sus orígenes, la comunidad de Peña Blanca ha querido que el proyecto mezcle lo ambiental con el desarrollo productivo. Hasta ahora se han financiado principalmente por aportes voluntarios de organismos internacionales, pero no han dejado de trabajar en busca de desarrollar nuevos proyectos. En ese tenor, se impusieron el desafío de embotellar el agua que acumulan. Otro proyecto fue desarrollado por una familia, uno de cuyos miembros es agrónomo. Con la idea de hacer cerveza artesanal, realizó un curso donde le enseñaron que las aguas del norte tienen muchos carbonatos y son muy duras, porque al correr del río van incorporando minerales que no son favorables para hacer cerveza. Entonces, se le ocurrió que cosechando el agua antes de que tocara el suelo podía no tener la dureza o los contaminantes que le impedían servir para su propósito. Los análisis químicos le dieron la razón y crearon la cerveza Atrapaniebla, la primera en el mundo que utiliza el agua extraída con este sistema.

Buscando el microclima idóneo y con el sistema de atrapanieblas ya instalado, en 2011 llegaron a Peña Blanca, donde la comunidad votó a favor de su instalación.

Con el agua obtenida de los cuatro paneles que tienen en la reserva, produjeron 80,000 litros y alcanzaron ventas por 186,000 dólares en 2019.



elpais.com

Creatividad ante la escasez

En el complejo escenario de vivir en el desierto más árido del mundo, la comunidad coquimbana de Peña Blanca está cosechando agua con el sistema de atrapanieblas, un proceso de condensación de la niebla que les ha permitido desde reforestar uno de los últimos pulmones verdes de la zona hasta producir una cerveza única en el mundo.

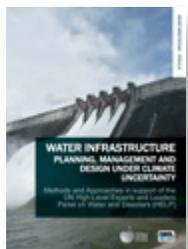
En 2021, el déficit de lluvias en el desierto de Atacama fue superior al 80%, pero un año después, un invierno generoso en lluvias y nieve fue responsable de que las planicies yermas del desierto más árido del planeta se cubrieran de coloridos prados de flores: añañucas, malvillas, huilllis, patas de guanaco, garritas de león y otras especies que solo existen en esos kilómetros cuadrados cubren los prados durante tres meses ◀

Elaborado por Helios Comunicación con base en las siguientes fuentes:
Centro UC. Desierto de Atacama: www.cda.uc.cl/investigacion/agua/
Desierto Florido retorna a Atacama pese a la sequía y el cambio climático. indium-biente.com
elpais.com/america-futura/2022-07-28/la-apuesta-de-chile-por-cosechar-agua-de-niebla-para-combatir-la-mayor-sequia-de-su-historia.html
La Reserva Ecológica Cerro Grande y sus atrapanieblas. Fundación Un Alto en el Desierto. www.unaltoeneldesierto.cl/reserva-ecologica-cerro-grande/
Niebla: La fuente de agua del futuro. Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política. Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
Osse P., et al.(2017). El clima desértico costero con nublados abundantes del desierto de Atacama y su relación con los recursos naturales energía solar y agua de niebla. Caso de estudio Alto Patache (20,5°S), región de Tarapacá, Chile. *Norte Grande* 68, Santiago.



Water infrastructure planning, management and design under climate uncertainty

Eugene Z. Stakhiv (Ed).
IWA Publishing, 2022.



Este libro es producto de una colaboración mundial entre los programas de recursos hídricos de la ONU, destacadas agencias nacio-

nales de recursos hídricos y especialistas académicos seleccionados. Se ocupa directamente de algunos de los problemas más difíciles a los que se enfrentan los ingenieros, administradores y encargados de la adopción de decisiones en el diseño y la aplicación de la infraestructura de recursos hídricos bajo nuevos patrones de variabilidad climática.

La proyección de las probabilidades y los riesgos asociados a tales eventos ha sido tradicionalmente fundamental para la planificación y el modelado de los recursos hídricos. Tales proyecciones han sido claves para la toma de decisiones de inversión social, ambiental, económica y financiera. Sin embargo, nuestro mundo contemporáneo ha puesto en tela de juicio algunos de los métodos y enfoques tradicionales para formular esas proyecciones.

Esta colección proporciona una base práctica de avances seleccionados ya existentes y practicados por instituciones líderes, avances que podrían ser fácilmente adoptados por los

profesionales de ingeniería y diseño de recursos hídricos para tratar mejor el riesgo y la incertidumbre en un mundo de clima no estacionario. Creemos que este libro abre importantes espacios que pueden ayudar a mejorar los diálogos sobre el agua y el clima en todo el mundo ◀

Land Use and Water Quality:

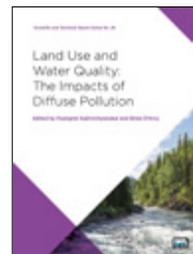
The impacts of diffuse pollution

Puangrat Kajitvichyanukul, Brian D'Arcy (Eds.)
IWA Publishing, 2022

La influencia del paisaje (topografía, suelo, vegetación, geología) en la calidad del agua es una parte sustancial del ciclo global del agua. El uso de la tierra tiene impactos adversos; por ejemplo, cuando los suelos están expuestos, se liberan cantidades significativas de contaminantes (incluidos los materiales antropogénicos agregados a los presentes de forma natural) o los contaminantes se agregan directamente al medio acuático.

Esos impactos van desde el desarrollo industrial hasta la agricultura y la urbanización. Mientras que los efluentes industriales contaminantes ineficientes todavía se toleran en algunos países, y las aguas residuales mal tratadas a nivel mundial siguen siendo un gran desafío para el saneamiento y la salud pública, así como para el medio ambiente acuático, la contaminación difusa es relativamente poco reconocida o comprendida.

El operador de una planta de tratamiento de efluentes comerciales o de



aguas residuales descarga efluentes conscientemente al río local; es poco probable que un conductor de auto esté pensando

cómo el desgaste de las pastillas de freno libera cobre al medio ambiente acuático y al aire; lo mismo sucede con la industria que crea productos químicos ignífugos, solventes, fertilizantes, pesticidas, cosméticos y muchas más sustancias que contaminan el medio ambiente. Nadie tiene la intención de causar la contaminación del medio ambiente... Comprender, y en última instancia minimizar, la contaminación difusa es, en ese sentido, la ciencia de las consecuencias no deseadas. Y las consecuencias pueden ser graves para los recursos hídricos y los ecosistemas.

Este libro consta de 18 artículos, escritos por expertos de todo el mundo, que presentan evidencia de regiones tropicales y templadas, y desafíos de uso de suelo rural y urbano. Explora la naturaleza de la contaminación difusa y ejemplifica los problemas en varias escalas, desde resúmenes nacionales de alto nivel hasta problemas específicos de captación y contaminantes.

El capítulo final analiza cómo los paisajes en general pueden diseñarse para minimizar los riesgos de contaminación desde los usos particulares de la tierra, y argumenta a favor de un enfoque más generalizado para el diseño de paisajes con conciencia del agua, sumado a la resiliencia ante el riesgo de inundaciones, la creación de lugares para las personas y oportunidades para la biodiversidad ◀



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

REVISTA



70%
de descuento

al contratar plan de **5 ediciones** (33, 34, 35, 36 y 37).

Además, pago en tres cuotas y diseño de un anuncio **sin costo** para quienes contraten antes del **9 de diciembre de 2022**.

h2o@heliosmx.org • 55 2976 1222



Puede haber abundantes mundos acuáticos en la Vía Láctea

Un pormenorizado análisis del radio y la masa de los 43 exoplanetas pequeños conocidos alrededor de las estrellas enanas tipo M, que representan el 80% de las de la Vía Láctea y son relativamente más pequeñas que el Sol, revela un sorprendente hallazgo: hay más mundos acuáticos de lo que se pensaba, con aproximadamente la mitad de su masa constituida por agua, aunque no en la superficie.

Un estudio publicado en *Science* da cuenta de estos hallazgos, pero se trata de hallazgos indirectos, analizando la

disminución de brillo que se produce cuando el planeta pasa por delante de su estrella, o bien estudiando el pequeño tirón gravitatorio que el planeta ejerce sobre ella al girar a su alrededor.

Combinando el diámetro y la masa puede medirse la composición del planeta, y determinar si se trata, por ejemplo, de un gigante gaseoso como Júpiter o de uno pequeño, denso y rocoso como la Tierra. Al estudiar los 43 planetas en conjunto emergió una imagen sorprendente: la baja densidad de un gran porcentaje de

estos planetas, lo que sugería que son probablemente mitad roca y mitad agua. Eran demasiado ligeros en relación con su tamaño como para estar formados solo por roca.

Se descubrió que es la densidad del planeta –y no el radio, como se pensaba anteriormente– lo que separa los planetas secos de los húmedos. Esta agua no puede estar en forma de ríos y océanos en su superficie como se pensaba, sino debajo de ella, quizá mezclada con el magma o atrapada en bolsas ◀

Toda el agua de lluvia del planeta está contaminada

Existe una serie de contaminantes que la humanidad ha producido en grandes cantidades, como los compuestos polifluoroalquilados y perfluoroalquilados (PFAS, sus siglas en inglés), agentes químicos, conocidos como “sustancias químicas perennes”, que se pueden encontrar desde en textiles, pinturas, cajas de pizza o productos de limpieza hasta en la espuma para combatir los incendios.

Son peligrosos para la salud humana y los ecosistemas, porque su toxicidad es persistente, se extiende por la atmósfera y pueden encontrarse en el agua de lluvia y nieve de las regiones más recónditas del planeta. Además, si el cuerpo humano los absorbe a través de los alimentos o el agua, este los acumula.

El nivel general de conocimiento de los efectos en la salud humana de la exposición a los PFAS es desigual según el país o la región. En general es bajo y se podría hacer más para comunicar el problema. Es necesario que la gente tenga un nivel de concienciación similar al de la contaminación por plásticos.

Algunas legislaciones sobre estos compuestos no los prohíben totalmente, sino que restringen su uso y contemplan excepciones. Los PFAS son muy persistentes, pero su presencia continuada se debe también a sus propiedades y a los procesos naturales que los devuelven continuamente a la atmósfera desde el medio ambiente ◀

Graves efectos de inundaciones en Pakistán

El saldo de las inundaciones que han afectado a Pakistán este verano de 2022 es ya de unos 1,200 fallecidos en todo el país, sumado a un empeoramiento de la situación sanitaria, hasta el punto de que la Organización Mundial de la Salud (OMS) dio la voz de alarma por la posible aparición de brotes de enfermedades.

La OMS prevé un empeoramiento de los brotes que ya tiene activos Pakistán, entre los que se cuentan la diarrea acuosa aguda, el dengue, la malaria, la polio y la COVID-19. El agua que sigue anegando numerosas zonas puede convertirse en un factor clave para la transmisión si no se toman medidas.

El temporal que azotó a Pakistán desde mediados de julio afectó a unos 33 millones de personas; casi 890 centros médicos sufrieron algún tipo de daño y, de ellos, 180 están totalmente inutilizables.

El director de la OMS para la región, Ahmed Al Mandhari, ha confirmado la movilización de la agencia para facilitar la atención médica de la población afectada y evitar la expansión de enfermedades infecciosas ◀

Noviembre
16-18

XXVI Congreso Nacional de Hidráulica "La innovación y tecnología hacia la seguridad hídrica"

Asociación Mexicana de Hidráulica, A. C.
Mazatlán, México
www.congresoamh.com.mx

Noviembre
21-24

XVI Congreso Nacional de Medio Ambiente, CONAMA 2022

Fundación Conama
Madrid, España
www.conama2022.org

29 noviembre -
2 diciembre

IWA Digital Water Summit

International Water Association
Bilbao, España
digitalwatersummit.org

Enero 2023
15-19

13ª Conferencia internacional de la IWA sobre recuperación y reutilización del agua

International Water Association y Federation of Indian Chambers of Commerce & Industry
Chennai, India
iwareuse2023.com/

Febrero 2023
1-3

XIX Congreso Internacional sobre Sostenibilidad Ambiental, Cultural, Económica y Social

Universidad de Liubliana
Liubliana, Eslovenia
lasostenibilidad.com/congreso-2023

Marzo
7-9

Smagua 2023 26 SalóN Internacional del Agua y del Medio Ambiente

Feria de Zaragoza
Zaragoza, España
www.feriazaragoza.es/smagua-2023

Mayo
3-5

V Congreso Argentina y Ambiente 2023 (AA2023)

4º Simposio Iberoamericano de Adsorción (IBA-4)
Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental y Universidad Nacional de San Luis
San Luis, Argentina
congresoargentinayambiente.org

Junio 2023
6-9

Conferencia Innovaciones WEF/IWA en Ingeniería de Procesos:

Recuperación Sostenible de Recursos Hídricos
Water Environment Federation
Portland, EUA
www.wef.org/processengineering

Junio 2023
26-29

6ª Conferencia Internacional IWA sobre Eco-Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales

International Water Association
Girona, España
www.ecostp2023.org/index.php

XXVI Congreso Nacional de Hidráulica

El evento más importante de la comunidad hidráulica mexicana para la reflexión sobre los recursos hídricos y la presentación de propuestas para el bien de nuestra nación.

A través de este evento bienal, la Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH) promueve el acercamiento, intercambio de experiencias y coordinación de esfuerzos entre sociedad, profesionales y entidades gubernamentales.

Está dirigido y reúne a representantes de los poderes de la unión, dependencias gubernamentales, organizaciones de profesionales, cámaras empresariales, investigadores, docentes y estudiantes, empresas y usuarios del agua, así como a desarrolladores de sistemas y proyectos.

Como parte de los trabajos del XXVI Congreso Nacional de Hidráulica, la Asociación Mexicana de Hidráulica, a través de sus secciones regionales, organiza 14 precongresos nacionales donde los expertos regionales brindan sus conocimientos y reflexiones para lograr "La innovación y la tecnología hacia la seguridad hídrica". Dichos conocimientos, aportaciones y reflexiones se verterán en el XXVI Congreso Nacional de Hidráulica, donde serán expuestos a través de mesas de diálogo.



16 al 18 de noviembre
Mazatlán, México
www.congresoamh.com.mx



Espectáculo

Cirque du Soleil

KOOZA es el espectáculo que regresa a los orígenes de Cirque du Soleil con acrobacias fuera de este mundo y una conmovedora historia ideal para celebrar 20 años desde la primera vez que se presentó en México una de las compañías circenses más famosas del mundo. Este espectáculo lleva 15 años en escena y llega por primera vez a Guadalajara y a la Ciudad de México para festejar el regreso del circo al país después de cuatro años de descanso.

El nombre KOOZA está inspirado en la palabra sánscrita *koza*, que significa “caja”, “cofre” o “tesoro”, y fue elegido debido a uno de los conceptos subyacentes de la producción: la idea de un “circo en una caja”, haciendo referencia a la manera en la que se transportaban los circos originales con carpas y contenedores ◀



18 de noviembre a 25 de diciembre, Carpa Santa Fe, Ciudad de México

Serie



Los Médici, señores de Florencia

Netflix, 2016

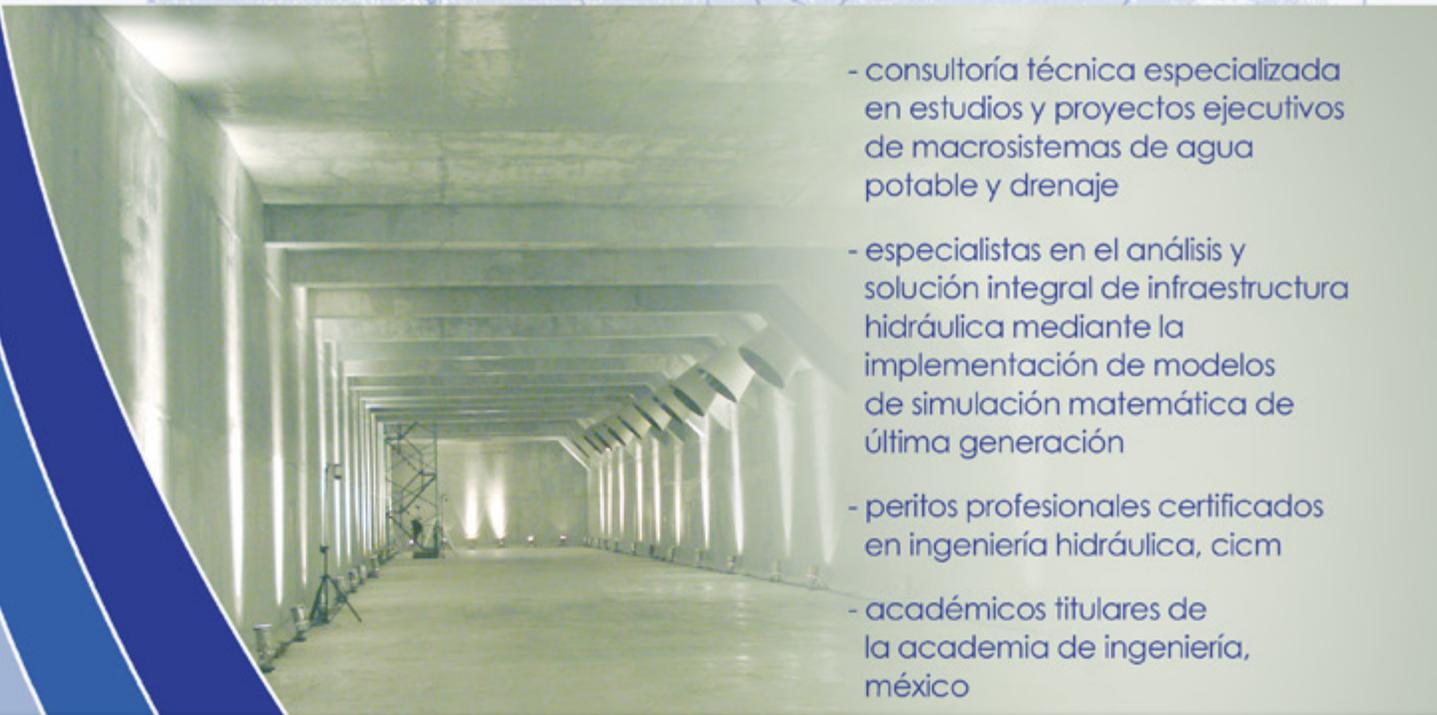
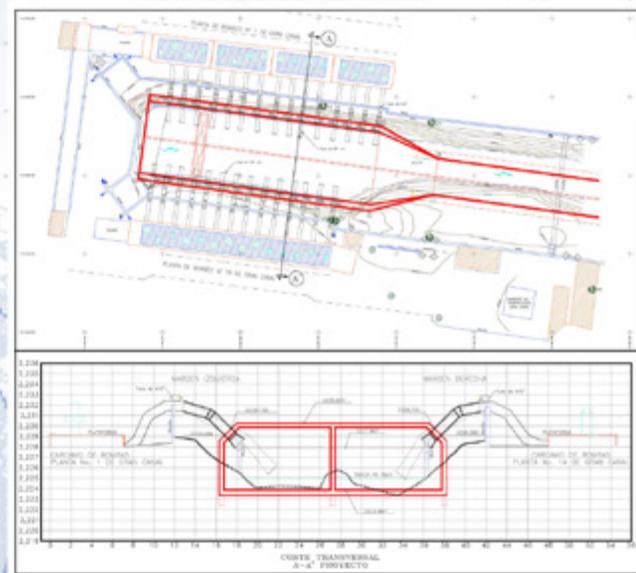
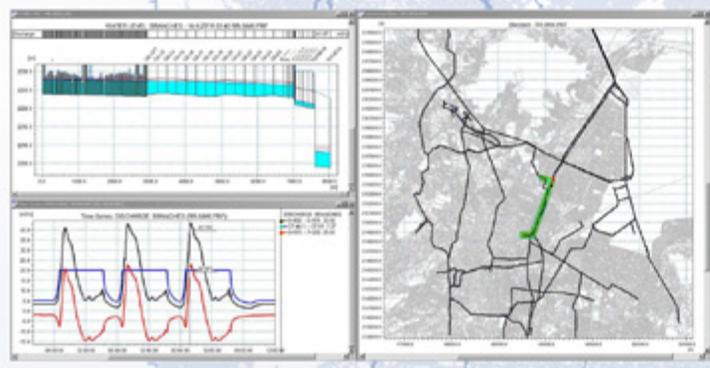
Serie política de época que relata el ascenso al poder de la familia Médici y las consecuencias de la transformación económica, cultural y social que iniciaron. Una revolución que desafió el pensamiento tradicional y cambió la historia, pero que también les trajo numerosos enemigos. La primera temporada se centra en los años de ascenso de Cosimo Médici (Richard Madden), quien se ve

obligado a suceder a su padre Giovanni (Dustin Hoffman) como cabeza de los Medici, después de que éste sea inesperadamente asesinado. Rodeado de adversarios, Cosimo se topa entonces con el reto de mantener a flote el banco de los Médici y preservar la influencia y el poder de su familia en Florencia, mientras no cesa en su empeño por averiguar quién asesinó a su padre ◀

inesproc

s.a. de c.v.

26 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

santa catalina # 318, col. insurgentes san borja, deleg. benito Juárez, ciudad de México, c.p. 03100
teléfonos 55 57 68 60 02, 55 57 68 60 03, 55 78 24 96 59, 55 78 24 96 64, 55 84 36 03 41 al 44,
e-mail: inesproc@inesproc.mx
www.inesproc.mx





Indar

An **Ingeteam** brand

Yucatán No. 1. Col. Santa Clara. Ecatepec
EDO. de MÉX. C.P. 55540
TELS: (55) 5790-5805, (55) 5790-5864 y
(55) 5790- 5874 FAX: (55) 5790-5802
ventas@indaramerica.com.mx

www.indarpump.com

