

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA

AUTORES

Agustín Breña Naranjo

Daniel Vázquez Bado

Fernando González Villarreal

Jorge Alberto Arriaga Medina

José Daniel Rocha Guzmán

Leonardo Alfonso Segura

María Concepción Donoso

Mauro Nalesso

Pedro Vieira

Pilar Conejos

Los autores agradecen a Ana Gabriela Piedra Miranda y a José Antonio Romero Gil por su apoyo en la revisión de los capítulos.

EDITORES Y COORDINADORES

Fernando J. González Villarreal

Coordinador técnico de la Red del Agua UNAM, y
Director del Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de UNESCO

Jorge Alberto Arriaga Medina

Coordinador ejecutivo de la Red del Agua UNAM,
y del Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo
los auspicios de UNESCO

DISEÑO GRÁFICO

Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Lic. Joel Santamaría García

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA

CONTENIDO

- 7 Introducción
- 14 Centro de soporte HYDROBID
- 17 Construyendo la infraestructura digital para distritos de riego del noroeste del México
- 21 Inteligencia Artificial y aprendizaje automático en los servicios de agua y saneamiento
- 25 Gemelos digitales para la gestión del agua urbana
- 29 Ciudad Universitaria: ciudad hidro-inteligente
- 33 La ciberseguridad en la gestión inteligente del agua
- 36 Tecnologías en el Servicio Meteorológico Nacional
- 40 Las TICS en sistemas de alerta temprana de inundaciones
- 44 Anexos

PRESENTACIÓN

La Agenda 2030, a través de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), define metas necesarias para erradicar la pobreza y proteger el planeta, así como garantizar la paz y la prosperidad. En su Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 desafía a lograr el acceso universal y equitativo al agua potable y a los servicios de saneamiento e higiene adecuados, incluyendo el cuidado del agua. La importancia e interrelación del recurso hídrico para el logro de los ODS es evidente y, en julio de 2020, durante el Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sostenible, se puso en marcha el Marco Mundial de Aceleración del ODS 6 con el objetivo de apoyar el progreso acelerado de los países en cinco esferas relacionadas con el ODS 6: financiación, datos e información, desarrollo de capacidades, innovación y gobernanza.

La UNESCO apoya ampliamente la importancia de la hidrología para la utilización racional de los recursos hídricos y, desde 1975, a través de su Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI), dedica recursos a la investigación, la educación y el fortalecimiento de capacidades en esta materia. El Programa, actualmente implementado en fases de ocho años, promueve la investigación hidrológica y respalda a los Estados miembros en materia de investigación y capacitación. En su octava fase (2014-2021), el PHI se centró en la **seguridad hídrica** como respuesta a los retos locales, regionales y globales. A través de la promoción y desarrollo de iniciativas internacionales de investigación en ciencias hidrológicas, y con un enfoque interdisciplinario e integrado para la gestión de las cuencas y acuíferos, buscó fortalecer la gobernanza sustentable del recurso hídrico a todos los niveles. Dentro de este marco y en conjunto con el Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de UNESCO (CERSHI), con la participación de la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA) y el apoyo de Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), tuvo lugar el curso de **“Inteligencia artificial y transformación para la seguridad hídrica” (2021)**. Este curso se planteó a partir de la necesidad de introducir algunas de las principales innovaciones tecnológicas y digitales que están siendo utilizadas en el sector hídrico, para su posible adaptación y uso frente los desafíos que surgen en nuestra región.

Hoy en día, y ante los continuos cambios en nuestros ambientes naturales y urbanos, es preciso comprender las relaciones entre el ciclo del agua y las actividades humanas con mayor precisión. Muchas de las innovaciones en desarrollo pueden colaborar para una mejor información y comprensión. La Cuarta Revolución Industrial, o industria 4.0, está transformando nuestro mundo en varias dimensiones. A través de las nuevas tecnologías se pueden analizar los datos para mitigar errores y generar cambios positivos. Las nuevas tecnologías digitales permiten proyectar ciudades hidointeligentes, con procesos automatizados, monitoreo de consumo y pérdidas, entre otras aplicaciones. La disponibilidad de recursos y herramientas es fundamental para su implementación, y el PHI apoya las acciones a este respecto.

Este año se inició la IX Fase del PHI (2022-2029), que busca reforzar la ciencia para un mundo con seguridad hídrica en un entorno cambiante. Representa una respuesta metodológica dirigida a generar soluciones en un contexto complejo. Recopilar datos y conocimientos científicos permitirá gestionar mejor los recursos hídricos.

Esta publicación es una muestra del trabajo colaborativo para enfrentar estos desafíos y generar nuevas soluciones. Esperamos la disfruten y que les permita conocer nuevas oportunidades en el ámbito de la ciencia del agua para ayudar a nuestra generación y las venideras a gestionar de forma más sustentable el agua, que es un elemento fundamental de nuestras vidas, sociedades y ecosistemas.



Miguel Doria



Camila Tori



Sabrina Cupeiro

**Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe**

INTRODUCCIÓN



La **seguridad hídrica** es definida como la capacidad de las poblaciones para salvaguardar, a nivel de cuenca, el acceso sostenible al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento y la salud de los ecosistemas, así como promover el desarrollo socio-económico y asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres relacionados con los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

En un ambiente de seguridad hídrica:

- Las personas cuentan con **acceso al agua potable en cantidad y calidad adecuadas y a un precio justo**, lo que les permite solventar sus necesidades básicas de consumo, saneamiento, higiene y salud;
- Los **ecosistemas son aprovechados de manera sustentable** para que puedan brindar sus servicios ambientales, de los cuales dependen tanto las personas como la naturaleza;
- Existe un **abastecimiento adecuado de agua** para la producción de alimentos y de energía, así como para la industria, el transporte, el turismo y otras **actividades económicas**; y
- La **población es resiliente** a los efectos relacionados con los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como inundaciones, sequías, transporte de contaminantes, deslaves, entre otros.

Si bien se ha progresado de manera sustantiva en el alcance de la seguridad hídrica, los **retos** han aumentado en las últimas décadas. Entre los factores determinantes se encuentran: el aumento de las presiones provocadas por la rápida urbanización; los efectos asociados al cambio ambiental global; el mantenimiento de un sistema económico basado en la utilización intensiva de energía y materiales; el aumento poblacional sin reducción de la desigualdad; entre otros. Como consecuencia, se observan desafíos en cada una de las dimensiones de la seguridad hídrica.

Para ofrecer **soluciones** significativas a los problemas hídricos, se requiere generar conocimiento científico, tecnológico y social de frontera; fortalecer las interfaces ciencia-sociedad y ciencia-política; integrar equipos interdisciplinarios para adoptar, en el sector del agua, los avances alcanzados por otras áreas del conocimiento;

e implementar soluciones particulares para diversas escalas. Así, es evidente que **la innovación está en el centro de la seguridad hídrica**, particularmente en un contexto de **Cuarta Revolución Industrial**.

De acuerdo con el fundador del Foro Económico Mundial, Klaus Schwab, “la Cuarta Revolución Industrial genera un mundo en el que los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de manera flexible y a nivel global.” Pero agrega que esta revolución “no solo consiste en sistemas inteligentes y conectados. Su alcance es más amplio. Se trata de la fusión o convergencia de tecnologías y su interacción a través de los espacios físicos, digitales y biológicos, lo que la convierte en algo completamente distinto a las revoluciones anteriores”.

En el sector hídrico, las tecnologías de la información y la comunicación tienen el potencial de integrar sistemas más eficientes y resilientes, reducir los costos de construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras verdes y grises, así como mejorar su sustentabilidad. Las soluciones tecnológicas inteligentes deben permitir la integración, en tiempo real, de datos provenientes de múltiples actores y servir para mejorar la toma de decisiones, tanto a nivel personal como de política pública.

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**. Así, 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 organizamos el **Curso “Inteligencia artificial y transformación para la seguridad hídrica”** del 4 al 6 de octubre de 2021.

El **objetivo central** de este curso fue 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. Durante los tres días se analizó la posible aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en diferentes etapas del ciclo hidrológico. El primer día estuvo dedicado al papel de la tecnología digital en la gestión integrada de los recursos hídricos, el segundo a la gestión inteligente del agua potable y el saneamiento y, por último, el tercero a la tecnología digital para la gestión integral de los riesgos hidrometeorológicos y los retos asociados al empleo de las tecnologías digitales en el sector hídrico.

Para alcanzar este objetivo, desarrollamos tres conferencias magistrales y seis casos de estudio. En estas actividades participaron 10 expertos del más alto nivel de toda Iberoamérica, provenientes de España, Paraguay, Estados Unidos, Venezuela, Holanda, Portugal y de prácticamente toda la República Mexicana.

Este evento fue realidad gracias a la intensa cooperación entre las instituciones organizadoras y, en particular, al apoyo de distintos miembros de la Familia del Agua UNESCO.

Estamos seguros que la información contenida en esta publicación, contribuirá a avanzar en la discusión y adopción de un manejo inteligente del agua centrado en las personas y en los ecosistemas.



Dr. Fernando González Villarreal
Director



M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo

Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de UNESCO

Agua digital: el papel de la tecnología para la seguridad hídrica

Leonardo Alfonso Segura

La seguridad hídrica se puede definir como la disponibilidad, en cantidad y calidad, de agua aceptable para la salud, sustento, ecosistemas y producción, donde se gestionan y mitigan los riesgos relacionados con los recursos hídricos para las personas, el ambiente y la economía (Grey & Sadoff, 2007). Este concepto abarca diversos elementos, incluyendo todas las actividades económicas, cuyo principal insumo es el agua. El ejemplo más claro es la producción agropecuaria que, a nivel global, utiliza más del 80% del agua que consume la humanidad. En este sentido, la agricultura debería ser de atención prioritaria para el alcance de la seguridad hídrica.

A pesar de la importancia que ha cobrado el concepto en los últimos años, la seguridad hídrica ha demostrado ser difícil de medir de manera cuantitativa. Algunas propuestas académicas han intentado realizar indicadores por medio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen, entre otros factores, la disponibilidad, la accesibilidad y la calidad del agua. Otras propuestas integran variables relacionadas con la salud, la alimentación, la energía, la gobernanza y la gestión de riesgos, que pueden ser analizados a nivel local y que pueden servir de herramientas para la toma de decisiones en la formulación y ejecución de políticas públicas (GWP,2014).

En todas las metodologías para medir el avance en la construcción de entornos con seguridad hídrica el papel de la tecnología es fundamental. Sin lugar a dudas, la tecnología ofrece una amplia gama de posibilidades en prácticamente todos los sectores. Una manera de analizar estos avances es la llamada "curva de adaptación tecnológica" de la compañía Gartner Co.

Ésta representa gráficamente el ciclo de una nueva tecnología desde el lanzamiento hasta su aplicación comercial. En términos generales, este ciclo cuenta con cinco fases:

1. Lanzamiento. Momento donde se presenta la tecnología.
2. Pico de expectativas. Los beneficios se sobredimensionan.
3. Abismo de desilusión. Después de ser utilizada, la tecnología no logra satisfacer las altas expectativas de los consumidores.
4. Rampa de consolidación. La tecnología se posiciona en el mercado asumiendo sus funciones reales.
5. Meseta de productividad. La tecnología ofrece beneficios y es parte del sistema.

Esta curva, también llamada de sobre-expectación, puede ayudar a explicar diversos fenómenos relacionados con la adopción de tecnologías en el subsector agua y saneamiento. Tradicionalmente, el subsector se ha enfocado en atender y desarrollar infraestructura física, dejando en un segundo plano el entorno digital. Gracias a este comportamiento, la adopción tecnológica suele concentrarse hacia el final de la curva, es decir, cuando ya han pasado las etapas de maduración y adopción comercial. Al analizar las curvas generadas para la década del 2000, se observa que el subsector de agua potable y saneamiento se caracteriza por tener una escasa innovación en el desarrollo tecnológico y por adaptar tecnologías ya desarrolladas. Este comportamiento puede observarse en la adaptación de tecnologías ya existentes como el Internet, las plataformas electrónicas para la toma de decisiones, o incluso las videoconferencias.

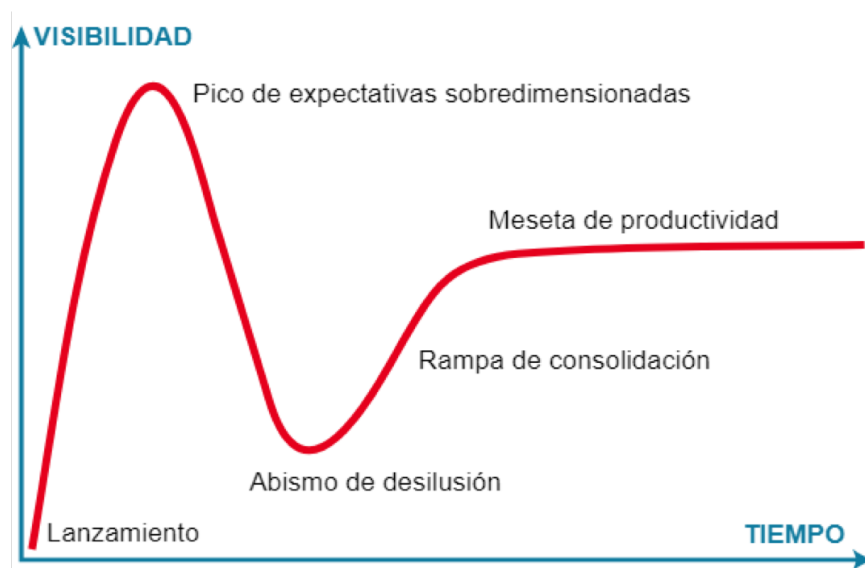


Figura 1.

Curva de adaptación tecnológica o hyper-cycle.

Fuente: Gartner (<https://www.gartner.es/es/metodologias/hype-cycle>)

Actualmente todas estas herramientas son ahora ampliamente utilizadas en el sector del agua, pero fueron desarrolladas y adoptadas con mayor anticipación por otros sectores. Para las curvas de los últimos tres años, la Inteligencia Artificial, los gemelos digitales, el Internet de las Cosas o el *blockchain* también se encuentran en varias fases de esta curva, y el sector hídrico ha estado adoptado estas tecnologías a una velocidad muy lenta.

Considerando los beneficios que ofrecen las tecnologías virtuales para la seguridad hídrica, es necesario fortalecer la gestión digital del agua, que implica una transformación del sector al aplicar y desarrollar tecnologías emergentes en la optimización de los procesos que la conforman. Entre las herramientas de este nuevo enfoque del agua digital se destacan (Dogo et al, 2019):

1. Sensores, monitoreo y pronóstico. Micro sensores, teledetección, sistemas de información geográfica, drones, medidores en tiempo real.
2. Inteligencia artificial. Aprendizaje automático, reconocimiento de patrones en los datos, redes de comunicación, bots de chat.
3. Realidad aumentada, virtual y digital. Gemelos di-

giales fusionados con SIG, sensores aplicados en realidad virtual y aumentada.

4. Aplicaciones de blockchain para agua. Transacciones directas y seguras entre proveedores de recursos, gobierno, empresas de servicios públicos y ciudadanía.

La Hidroinformática es una disciplina científica que puede brindar diversas soluciones. Permite modelar y analizar información incluida en la gestión hídrica mediante la aplicación de tecnologías de la comunicación y ciencias de la computación para lograr un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos (Obregón-Neira & Fragala, 2003). Así, la Hidroinformática se basa en datos para realizar modelos que generen conocimiento y permitan tomar mejores decisiones (Alfonso 2021).

En el sector del agua se pueden encontrar diversos ejemplos de la aplicación de tecnologías digitales. Uno de los casos más destacados es NAIADES, un ecosistema holístico para la digitalización del agua urbana para el periodo 2019-2022. En este proyecto participan ciudades de España, Suiza y Rumania, junto con organizaciones académicas e industrias tecnológicas. La

iniciativa plantea un sistema de inteligencia Hidroinformática que comienza con la producción de datos mediante sensores, continúa con el envío de éstos a los modelos para comprender el contexto, y finaliza con el despliegue de la información para facilitar la toma de decisiones en los prestadores de servicios de agua potable y saneamiento. En cada fase de este sistema tecnológico existe retroalimentación generada por el aprendizaje de la inteligencia artificial (NIADES,2021).

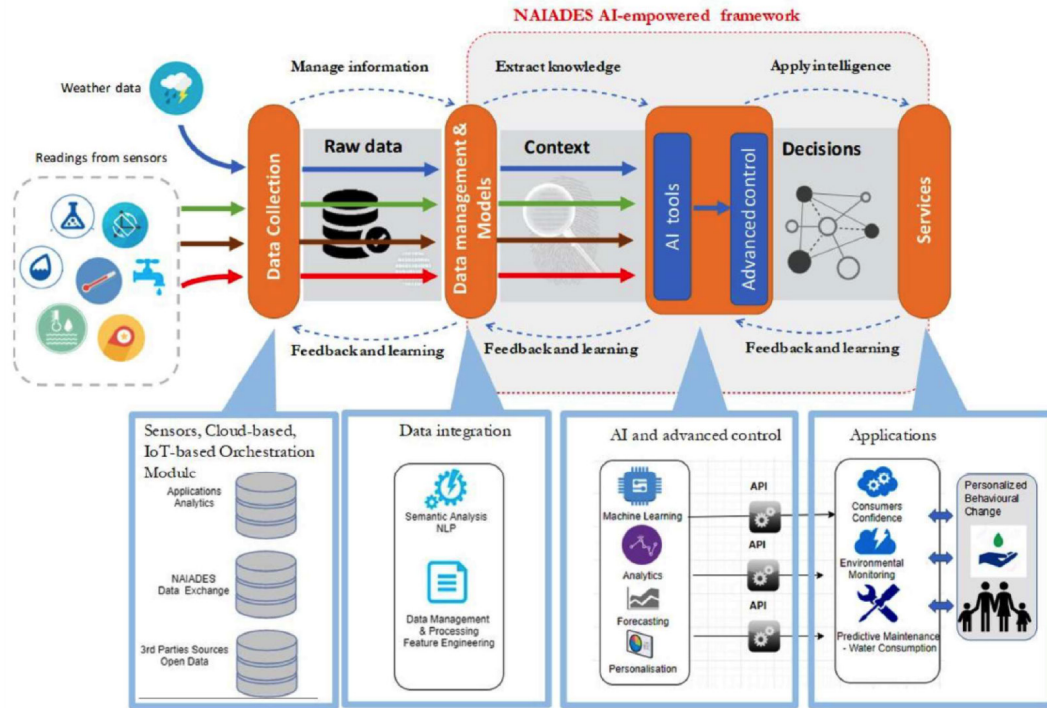


Figura 2.
Esquema de funcionamiento de la plataforma NIADES

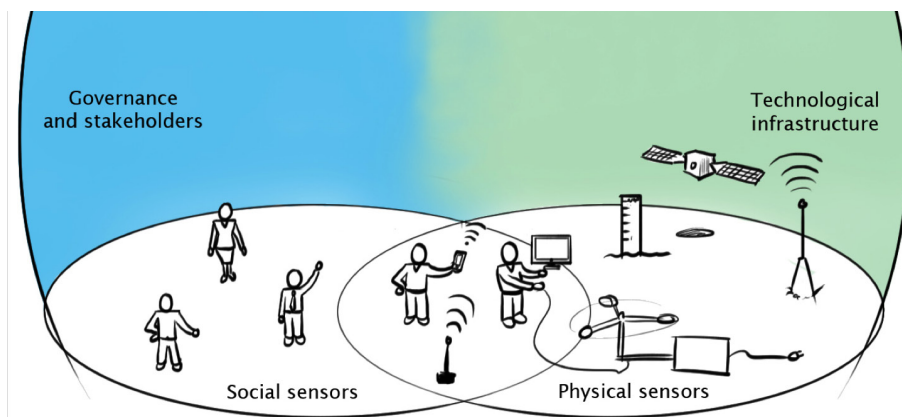


Figura 3.
Integración de Tecnologías. Fuente: Proyecto EU-FP7-WeSenselt

La Hidroinformática apunta hacia la incorporación de los sistemas virtuales con tecnologías como Phytion y EPANET, combinados con sensores sociales que brinden nuevos datos, por ejemplo, sobre la calidad del servicio público, las fugas o la disponibilidad del agua en los hogares. Estos sistemas ayudan a alimentar de mejor manera una solución tecnológica y pueden usarse en Observatorios Ciudadanos para favorecer la gobernanza y la seguridad hídrica.

Al considerar la curva de sobre-expectación, es evidente que el empleo de herramientas digitales dentro del sector hídrico requiere mayor investigación para ser incorporadas a las distintas fases de la gestión. Para ello, se necesita expresar con mayor claridad los diversos beneficios económicos, sociales y ecológicos que su uso implica para todas las partes involucradas, además de reconocer que pueden ser una herramienta clave para apoyar el enfoque de economía circular en el sector hídrico. Otros desafíos que deben ser atendidos son: garantizar que la transformación digital sea una parte fundamental de la estrategia de gestión para las autoridades y empresas del agua, y no simplemente de una tarea con responsabilidades de medio rango, lo cual va muchas veces ligado al desconocimiento de las tecnologías, en especial de la inteligencia artificial; aumentar la generación de datos, su calidad y gobernanza; fortalecer la formación de capacidades dentro del sector con personal experto en Hidroinformática; y fomentar la colaboración ciudadana para crear modelos que den soluciones a los diversos retos que enfrentan el agua y el saneamiento en todas las cuencas del mundo.

REFERENCIAS:

Alfonso, Leonardo (2022) Past, present and future of technologies for Improved Water Management. In Kent, A.J. and Specht, D. (ed.) 2021 (in press). [Routledge Handbook of Geospatial Technology and Society](#). Routledge.

Grey, David & Sadoff, Claudia. (2007). Sink or Swim? Water Security for Growth and Development. *Water Policy*. 9. 10.2166/wp.2007.021.

Global Water Partnership (2014) Assessing water security with appropriate indicators. Recuperado de : https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/p763_gwp_proceedings_paper.pdf

Dogo E.M., Salami A.F., Nwulu N.I., Aigbavboa C.O. (2019) Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. In: Al-Turjman F. (eds) *Artificial Intelligence in IoT*. Transactions on Computational Science and Computational Intelligence. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04110-6_7

Obregón-Neira, Nelson & Fragala, Federico. (2003). Sistemas inteligentes, ingeniería e hidroinformática. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 13. 71-79. 10.18359/rcin.1339.

NAIADES. (2021) NAIADES: The Project. European Union's Horizon 2020. Recuperado de: <https://naia-des-project.eu/about-the-project>

Centro de Soporte HydroBID

Mauro Nalesso

La digitalización dentro del subsector del agua y saneamiento ha ocupado un plano secundario y ha sido utilizada más bien de manera complementaria. Sin embargo, esta herramienta puede ser de gran ayuda para la toma de decisiones y la solución de problemas relacionados con la seguridad hídrica.

En términos generales, los principales problemas técnicos que presenta el sector hídrico de América Latina y el Caribe están relacionados con la falta de información, que es un elemento central de la gobernanza. Por ejemplo, la falta de datos actualizados sobre la disponibilidad del agua en una región específica y su balance en relación con las demandas constituye un problema para la planificación y para la toma de decisiones. En los casos donde existe información, ésta suele presentar disparidad en las escalas espaciales y temporales y falta de continuidad en los registros. El resultado del déficit de información es la dificultad para realizar análisis de la información que permitan desarrollar modelos de pronóstico de corto y mediano plazo, fundamentales en materia de prevención de desastres ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos (BID,2018).

Otra expresión de la falta de información en los diversos ámbitos de la gestión de los recursos hídricos es la imposibilidad de desarrollar planes sectoriales congruentes que favorezcan la eficiencia en la distribución y uso del agua. Este problema afecta directamente a todos los sectores productivos y sociales, al mismo tiempo que limita la capacidad de prevención y mitigación de riegos ante eventos extremos, tales como inundaciones y sequías, cuya ocurrencia y magnitud es cada vez mayor debido a los efectos del cambio climático. De igual manera, sin datos suficientes, se corre el

peligro de invertir en infraestructura o proyectos que no solucionen los problemas locales.

La falta de información sobre los recursos hídricos ha permitido difundir la idea distorsionada sobre la existencia de una gran disponibilidad del líquido en América Latina y el Caribe. Esta idea le restó importancia a la necesidad de planificar y gestionar de manera adecuada al agua, por lo que tampoco se generó una estructura adecuada de gobernanza materializada en leyes, normas y reglamentos de vanguardia (CEPAL,2021). En cuanto al manejo de información, los principales retos que se identifican son: deficiencias en las capacidades para el monitoreo hidrometeorológico; falta de coordinación entre las autoridades que gestionan la información; escasa integración entre sistemas y manejo de información para la toma de decisiones; e insuficiencia en las capacidades técnicas para desarrollar e implementar nuevas herramientas computacionales específicas para el sector hídrico.

Para avanzar en la construcción de entornos con seguridad hídrica se requiere de datos, por tanto, las primeras acciones de cualquier plan deben tener como objetivo medir y monitorear las distintas etapas de la gestión del agua. La segunda fase es generar información útil con los datos recabados, empleando para ello los distintos modelos disponibles. Posteriormente, la información debe permitir un conocimiento de lo que está pasando con los recursos hídricos y, por ende, se deben generar sistemas de información que den soporte a la toma de decisiones. Finalmente, la aplicación efectiva y continua del conocimiento genera experiencia y sabiduría, que permiten mayor eficacia en la planificación sectorial y fortalecen la gobernanza.

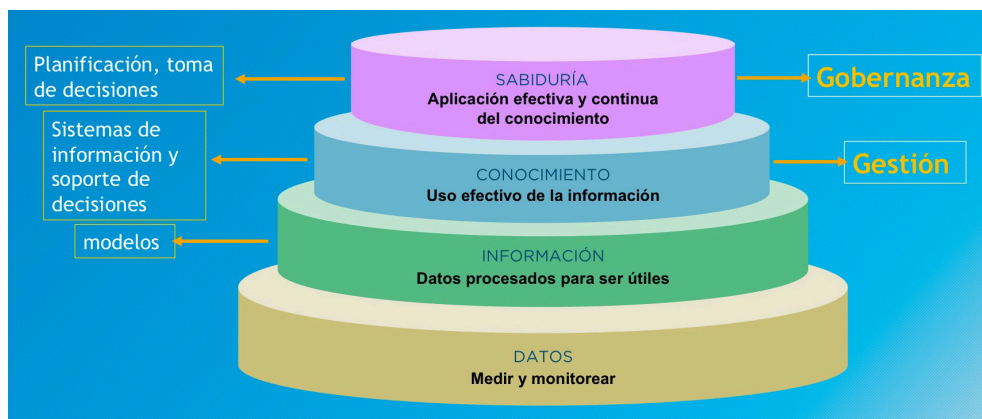


Figura 1.
Esquema del análisis de datos

Desde el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se creó el Centro de Soporte HydroBID (CeSH) para fortalecer técnicamente la gestión integrada de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe, apoyando en la planificación, preparación y ejecución de programas de inversión resilientes y sostenibles (Nalesso & Coli, 2017). Lo anterior, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 13, pero, al mismo tiempo, vinculando los ODS 1, 5, 10, 11, 12, 14 y 15. Hasta el 2020, esta iniciativa tenía presencia en 21 de los 26 países miembros del BID, había transferido tecnología en 18 naciones, había colaborado con 150 instituciones y contaba con más de 2,000 técnicos capacitados, permitiendo el desarrollo de 105 estudios en colaboración con universidades iberoamericanas. El CeSH promueve el desarrollo de capacidades tecnológicas y apoya la preparación y ejecución de planes de inversión y operaciones del BID en proyectos que favorezcan la seguridad hídrica, así como el desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras aplicadas a la gestión del agua y el saneamiento, como los sistemas para promover el análisis y monitoreo continuo de la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Asimismo, brinda apoyo técnico para el diseño y construcción de infraestructura resiliente, incluyendo acciones y proyectos de análisis de impactos y de mitigación y adaptación ante eventos hidrometeorológicos extremos. Igualmente, impulsa la cooperación local y regional a través de las actividades de la Comunidad de Prácticas, con participación de universidades que usan las herramientas de HydroBID. Hydro-BID es un sistema integrado que permite si-

mular la hidrología y la gestión de recursos hídricos en la región de Latinoamérica y el Caribe considerando escenarios de cambio climático; además, evalúa la cantidad y calidad del agua y las necesidades de infraestructura, lo que permite el diseño de estrategias y proyectos de adaptación. Esta herramienta se compone de los siguientes elementos (Nalesso & Coli, 2017):

- Base de Datos Hidrográficos (LAC-AHD). Contiene más de 230,000 cuencas delineadas y cauces fluviales de América Latina y el Caribe.
- Sistema de navegación GIS. Para examinar cuencas y cauces fluviales AHD con la capacidad de navegar aguas arriba y aguas abajo.
- Interfaz de usuario. Para especificar el lugar y período que se quiere modelar y la ubicación en que la disponibilidad de agua será modelada.
- Interfaz de datos climáticos. Para la obtención de datos de precipitación y temperatura en la zona y el período de interés.
- Modelo de lluvia-escorrentía. Basado en la formulación Generalized Watershed Loading Factor (GWLF).
- Esquema de direccionamiento. Para cuantificar el tiempo de viaje y estimaciones de flujo acumulado a través de la cuenca aguas abajo.

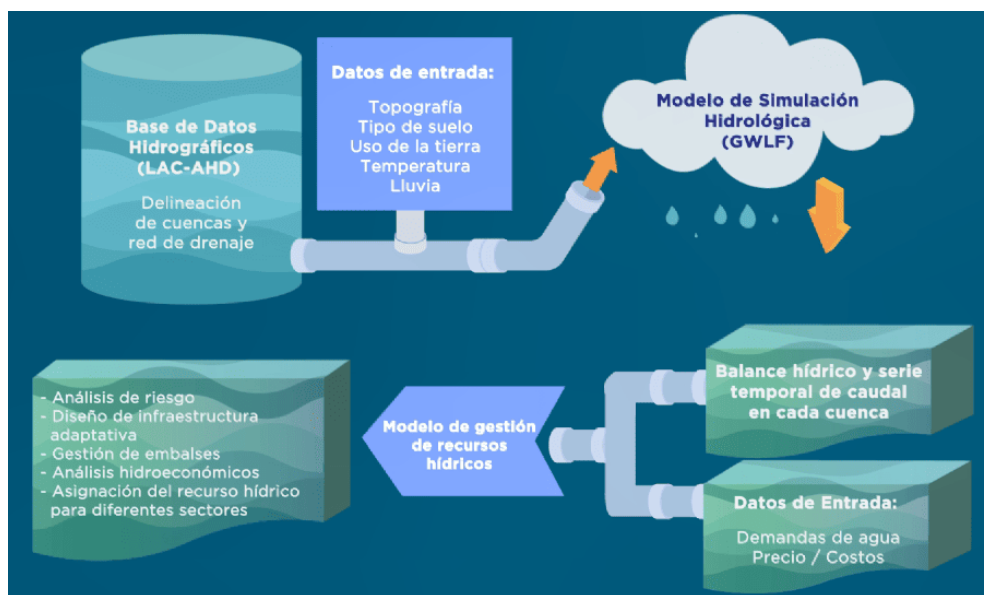


Figura 2.
Estructura y flujo de trabajo de Hydro-BID.

Además, a partir del sistema HydroBID se han desarrollado un grupo de herramientas (HydroBID Alloc y HydroBID Flood) que en conjunto ofrecen oportunidades para apoyar el proceso de toma de decisiones y planificación en los países, por ejemplo: Sistemas de Información Hídrica a nivel nacional, regional o local; Sistemas de Soporte de Operaciones; Sistemas de Alerta Temprana (SAT), y Sistemas de Soporte de Decisiones. El objetivo último de estas herramientas es fortalecer la gobernanza y seguridad hídrica ante los diversos retos que enfrenta el sector mediante el empleo de información y conocimiento que acompañe la planificación e implementación de políticas sectoriales, tanto a las autoridades nacionales, como a los proveedores de servicios a nivel municipal. HydroBID es una muestra de que la tecnología para la gestión de los datos puede ser la base para una mejor toma de decisiones en el sector hídrico (Nalesso,2017).

REFERENCIAS:

Banco Interamericano de Desarrollo (2018). Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible. Centro del Agua para América Latina y el Caribe; Tecnológico de Monterrey. Doi: <http://dx.doi.org/10.18235/0001107>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2021). Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Textos seleccionados 2002-2020. Recuperado de : <http://hdl.handle.net/11362/46792>

Nalesso, Mauro; Coli, Pedro (2017) Guía paso a paso: Manual de Hydro-BID. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de : <https://publications.iadb.org/es/guia-paso-paso-manual-de-hydro-bid>

Mauro Nalesso (2017). HydroBID: una herramienta para mejorar la gestión y planificación de los recursos hídricos. Blog Volvamos a la fuente: Agua, Saneamiento y Residuos Sólidos. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://blogs.iadb.org/agua/es/hydro-bid-una-herramienta-para-mejorar-la-gestion-y-planificacion-de-los-recursos-hidricos/>

Construyendo la infraestructura digital para distritos de riego del Noroeste del México

Agustín Breña Naranjo

El sector agropecuario es el que más demanda agua. En todo el mundo, sin embargo, la aplicación de infraestructura digital durante toda su cadena de valor ha quedado rezagada. En especial se observa un escaso uso de tecnologías emergentes relacionadas a la observación, el procesamiento y la conectividad. No obstante, la digitalización dentro de este sector es de gran beneficio para dar soporte para la planeación y operación de infraestructura física, lo que finalmente contribuye a incrementar su productividad y sostenibilidad (Breña, 2021).

Las bases de la infraestructura digital para las actividades agropecuarias parten de la combinación de fuentes como satélites, drones y sensores. Éstos generan y brindan información oportuna para la toma de decisiones, al tiempo que permiten la detección y control de plagas; el análisis del estrés hídrico y de la calidad de suelos; el monitoreo y predicción de cultivos; por mencionar algunos casos de aplicación (Palacios-Vélez et al, 2011). En este sentido, uno de los principales desafíos que presentan este tipo tecnologías es la forma de validar la información que se produce, particularmente en el caso de sensores remotos. Sin embargo, el desarrollo y aplicación de sensores en sitio durante los últimos años se han vuelto una pieza fundamental para contar con un mayor grado de precisión, misma que llega a escalas menores de 10 hectáreas. Ello, a su vez, ofrece la oportunidad de obtener mediciones detalladas de múltiples variables, como: humedad del suelo, temperatura, conductividad eléctrica, meteorología local, entre otras. El sistema digital integrado envía estos datos en tiempo real a computadoras y/o celulares y podría incluso emitirse recomendaciones con el uso de Inteligencia Artificial.

El uso de satélites para la digitalización del sector agropecuario tiene la ventaja de usarse a gran escala, es decir, más de 10 hectáreas, además de ser de gran utilidad para contar con información, por ejemplo, de la humedad del suelo o del ciclo de carbono. Asimismo, en el proceso de cultivo, brindan datos sobre la biomasa y el crecimiento, a la vez que permiten conocer su balance hídrico y energético (M. Weiss et al, 2019). Estas herramientas satelitales actualmente cuentan con una gran resolución y, en diversas ocasiones, son de uso gratuito o de bajo costo, dependiendo el tipo de tecnología que se requiera. Algunos ejemplos de herramientas con mayor uso son MODIS, Landsat 8, Sentinel 2 y CubeSat. Estos instrumentos permiten incorporar la información en modelos hidrológicos y con algoritmos específicos que ayudan a tomar mejores decisiones.

En Sinaloa, México, donde se desarrolla el 30% de la producción agrícola del país, se lleva a cabo un proyecto piloto para la implementación de infraestructura digital. En el distrito de riego 10 Culiacán-Humaya existen 15 mil hectáreas en las que se cultivan maíz, sorgo, frijol y jitomate, principalmente (CONAGUA, 2019). En esta zona se impulsa un sistema de riego inteligente a nivel parcela que permitirá generar un calendario de riego que informe al campesino en tiempo real, cuándo y cuánto regar, dependiendo de las condiciones ambientales vigentes. Este proyecto de digitalización emplea un modelo de predicción atmosférica de última generación que brinda distribución de frecuencias (probabilidad), pronósticos meteorológicos de siete días y que se actualiza cada 12 horas. La información permite conocer las condiciones de precipitación, humedad del suelo y del aire, evapotranspiración, temperatura, radiación neta, crecimiento del cultivo, entre otros datos que son esenciales para la gestión del sistema.



Figura 1.
Esquema de monitoreo remoto aplicado a la agricultura

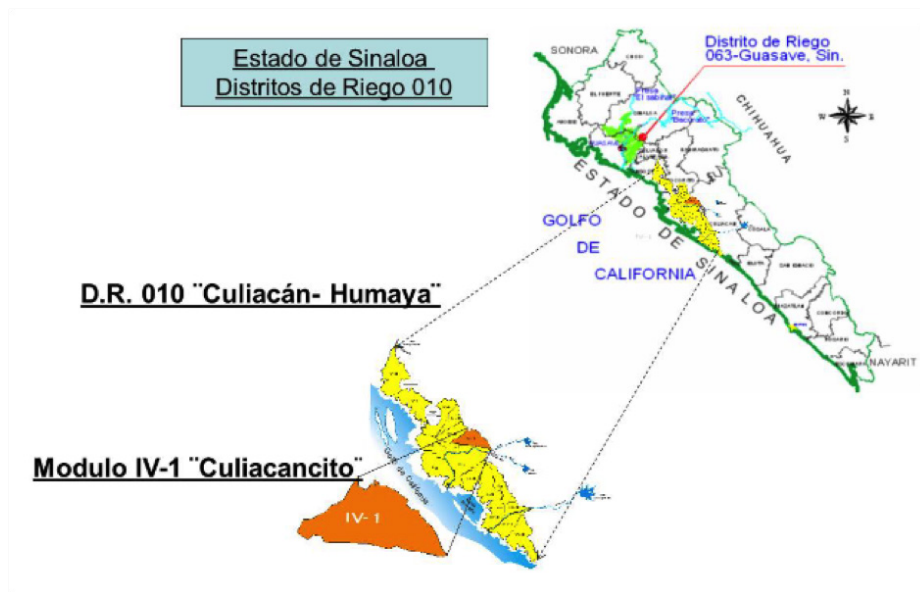


Figura 2.
Ubicación del Distrito de Riego "Culiacán - Humaya"

La información disponible podrá verse a través de una aplicación en celulares con sistemas Android. Cada usuario tendrá una cuenta personal y accederá a la plataforma para indicadores de su parcela, tales como crecimiento de la raíz, calidad de los suelos, necesidad de agua, etc. El objetivo final de esta herramienta digital es lograr eficiencia y ahorro de agua, así como aumentar la productividad y la competitividad del sector agrícola de la zona. Cabe destacar que el distrito de riego donde se desarrolla el piloto utiliza como principal fuente de abastecimiento aguas superficiales, las cuales constituyen el 90%. Considerando esta situación, para otros entornos donde el abastecimiento provenga de fuentes subterráneas, sería necesario instalar la tecnología que permitiera conocer los niveles de extracción dentro de las parcelas.



Figura 3.

Visualización satelital de parcelas.

En cuanto al proceso de capacitación técnica y operativa, cabe mencionar que es una etapa dentro del proyecto en mención, la cual tiene contemplada la instrucción hacia los agricultores para el correcto uso de la plataforma en los celulares, resolviendo todas las dudas que surjan en el proceso. Esta parte será de suma importancia ya que permitirá mejorar el sistema digital dependiendo de las necesidades específicas de los agricultores mediante retroalimentación.

El proyecto es financiado por los usuarios del Distrito de Riego y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La herramienta satelital utilizada -Planet Labs- tiene un precio de un dólar por hectárea al año. A ello se le añaden los costos del procesamiento de datos y de la generación de los mapas, estimando un costo del proyecto de 2.5 dólares por hectárea.

El apoyo a proyectos de digitalización del sector agrícola permite cerrar brechas de producción entre las distintas zonas agropecuarias de México, pues la aplicación de tecnología también ayuda a la sustentabilidad y la seguridad hídrica de las regiones. En México, al ser un país vulnerable a las sequías, particularmente en su zona norte, es imprescindible contar con políticas sectoriales que impulsen el desarrollo y adopción de tecnologías que brinden soluciones a diferentes escalas y que consideren los efectos del cambio climático. Sin duda, estos proyectos permitirán continuar fortaleciendo la aplicación de tecnología digital. Otro reto pendiente es considerar el vínculo Agua- Energía-Alimentos.

REFERENCIAS:

Agustín Breña Naranjo (2021). Hacia una política nacional de datos abiertos e inclusión digital en el sector hídrico. *Perspectivas IMTA* N 38, 2021. DOI: 10.24850/b-imta-perspectivas-2021-38

Palacios-Vélez, Enrique & Palacios-Sánchez, Julio & Palacios, Luis. (2011). Agricultura de riego asistida con satélites. *Tecnología y Ciencias del Agua*. vol. II. 69-82.

M. Weiss, F. Jacob, G. Duveiller (2019) Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment* ,Volume 236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.

CONAGUA (2019) Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Recuperado de : <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>

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

Pedro Vieira

Los prestadores de servicios de agua potable y saneamiento tienen grandes oportunidades para incorporar innovaciones tecnológicas y lograr así una mayor eficiencia, con mejores servicios para la población. Actualmente, la disponibilidad y asequibilidad de tecnologías es cada vez más amplia, lo que ha permitido incorporar herramientas enfocadas hacia la gestión inteligente del agua, con soluciones operativas y ambientales basadas en el uso de herramientas digitales (Sarni, 2021). Ello, a su vez, ha impulsado la transformación digital, la cual es un medio para realizar cambios, tanto al interior de la organización como en la relación con los usuarios. Este enfoque ha sido de gran ayuda para las empresas que brindan el servicio de agua y saneamiento, ya que genera un mayor acercamiento con la sociedad y basa su modelo de negocio en una oferta innovadora y única para los usuarios.

Por otro lado, la introducción de innovaciones tecnológicas dirigidas a la resolución clara y rápida de los problemas de empresas de gestión de agua, es una forma de introducir nuevas formas de cultura empresarial, nuevas tecnologías y nuevas funciones para los trabajadores. La combinación de la innovación, la utilización de nuevos procesos y de nuevas habilidades de las personas es una forma de transformar positivamente organizaciones, utilizando para ello la tecnología como herramienta fundamental (Vieira, 2021).

Para ofrecer un buen servicio, todos los prestadores deben considerar al menos cuatro aspectos fundamentales: 1) favorecer una red de trabajo con diferentes actores; 2) incorporar una gestión integral del ciclo del agua; 3) ser una organización que brinde soluciones reales a la comunidad y; 4) incluir en la gestión

una consciencia y acción sobre el cambio climático. Esto implica cambiar el clásico paradigma, que asume al organismo operador de agua como actor exclusivo dentro del subsector de agua potable y saneamiento, por otro donde se convierte en una organización promotora de la inteligencia urbana, ya que el servicio tiene un amplio alcance espacial, social y económico.

Para desarrollar este tipo de empresa innovadora, la integración y automatización de datos e información es clave. Al unificar las múltiples bases de datos de la empresa en un lugar organizado, se tiene mayor fiabilidad de los datos, una democratización de la información por todas las unidades de negocio de la empresa, control y monitoreo de la gestión de la organización, al mismo tiempo que se ofrece un mayor acceso a la información hacia los usuarios a través de distintas plataformas digitales, por ejemplo, en temas de transparencia y rendición de cuentas, así como en aspectos relacionados con la prestación del servicio, como el consumo, la facturación, entre otros. Estos elementos incrementan la confianza de los usuarios hacia el organismo operador.

Otro ejemplo de herramientas digitales con aplicación en el sector es el uso de *middlewares*, los cuales pueden reunir y procesar distintos tipos de datos e información, como la que proviene de sistemas de información geográfica, datos generados por sensores, datos climáticos, sistemas Scada, equipamiento disponible y otros *softwares* que se pueden vincular operativamente. Esta herramienta permite desarrollar modelos e interfaces para el análisis estadístico de los datos (Senozetnik et al, 2018), así como generar alertas sobre ciertos riesgos en áreas prioritarias (Hughes et

al,2011), lo que, a su vez, hace posible tomar acciones preventivas de forma temprana, ayudando a canalizar adecuadamente los recursos económicos y técnicos para resolver problemas con mayor eficacia, protegiendo la infraestructura hídrica, el ambiente y las finanzas internas. Estas acciones se traducen finalmente en tarifas asequibles para los usuarios y contribuyentes.

La información sobre los servicios de agua y saneamiento tiene una gran utilidad para la sociedad, el gobierno y otras organizaciones, pero también son importantes los datos que generan estos actores para los organismos operadores. Ante esta relación bidireccional, se vuelve necesario desarrollar plataformas abiertas para el intercambio y uso de la información. En el 2016 se comenzó a trabajar en la plataforma tecnológica H2Porto, en la Ciudad de Oporto, Portugal, con el objetivo de optimizar y digitalizar los procesos para un uso eficiente del agua y reducir los tiempos y costos de

la gestión (Malheiro & Cunha, 2020). H2Porto es una plataforma integrada que gestiona el ciclo hidrológico urbano a través de 22 modelos de suministro de agua, un modelo integrado de alcantarillado, manejo de agua pluvial y arroyos, un modelo de circulación costera y un modelo meteorológico de alta resolución. El uso de esta herramienta digital brinda a los operadores una vista de todo el sistema que se actualiza constantemente. La vista incluye alertas de activación que permiten que el soporte de operaciones responda rápidamente ante eventos extraordinarios. El proyecto fue dividido en tres fases fundamentales para la rápida implementación del proceso de transformación y para garantizar la integridad de todos los equipos y datos. La primera etapa es la implementación, después la instrumentación y, por último, la automatización de procesos.

Una de las características principales de esta plataforma es que se pueden visualizar en tiempo real distintos datos, tales como: la ubicación y estado de la infraestructura, la presión del agua en las tuberías, el tratamiento de las descargas residuales, la calidad del agua que llega a los hogares o de los ríos o playas, entre otros. Esto 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.

La plataforma tiene la funcionalidad de generar avisos directamente a los usuarios cuando va a detenerse el servicio por causa 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, por ejemplo, en materia de consumo domiciliar por zonas, asegurando en todo momento la protección de datos personales.

Asimismo, el análisis de los sensores de la red y de los modelos predictivos, que emplean herramientas de inteligencia artificial y *machine learning*, ayuda a comprender el comportamiento futuro de los activos del sistema y a incrementar la eficacia de los equipos operacionales (Vieira, 2021). Un caso emblemático es la

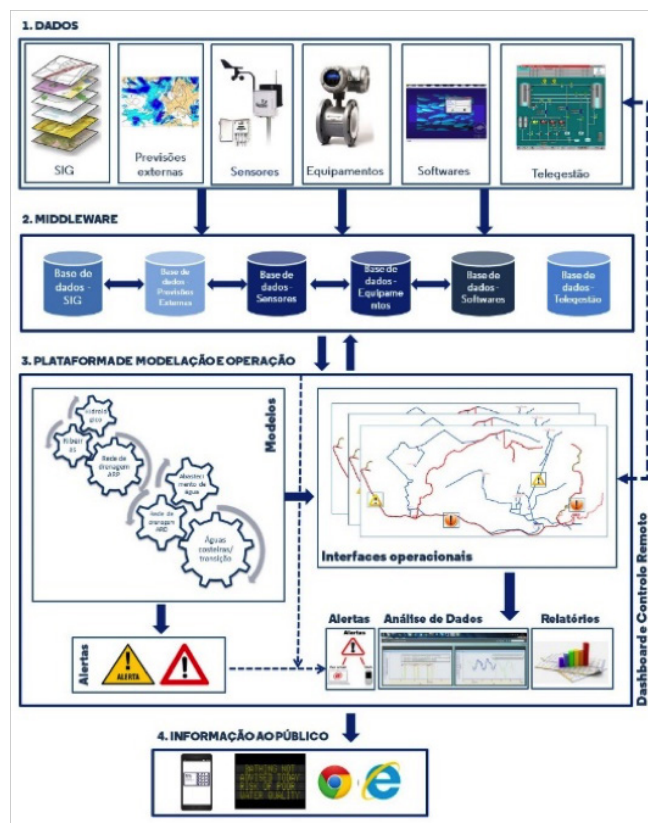


Figura 1. Esquema de funcionamiento de un middleware en Águas e Energia do Porto, Portugal

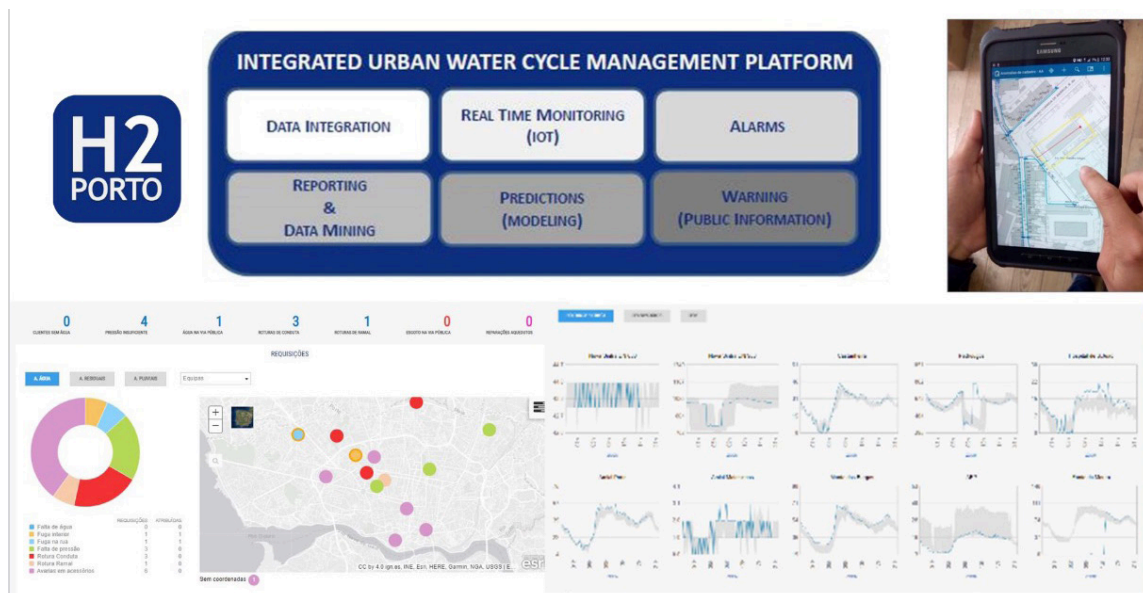


Figura 2.
Herramienta H2Porto, en Águas y Energia do Porto, Portugal

aplicación en modelos para predecir fugas en las redes de tuberías, con base en datos históricos de operaciones, clima y activos. Todo lo anterior genera inteligencia empresarial, en forma de indicadores estratégicos y cuadros de mando, que ayudan a tomar decisiones informadas y eficientes, aumentando la resiliencia e inteligencia de las ciudades.

El principal desafío en la implementación de este sistema fue la escala del ciclo del agua de la ciudad, que requiere una resolución detallada para muchos modelos y dominios, incluida la meteorología, el suministro de agua, el alcantarillado, el drenaje pluvial y las playas. La escala de información requerida para la ciudad también hacía necesaria la capacidad de consumir grandes cantidades de datos de sensores en tiempo real, telemetría y facturación de los consumidores. La implementación de los dominios de modelado y los complementos basados en las capacidades tecnológicas fueron los principales factores que contribuyeron al éxito de la herramienta a escala de ciudad. El sistema facilita la integración de nuevos modelos, fuentes de datos y herramientas, y ayuda a colocar estos com-

ponentes sin problemas en operación y publicación de resultados. Adicionalmente, se puso especial atención a la ciberseguridad de la plataforma mediante el uso de programas adaptados a las características de la información, que ayudan a responder a los riesgos existentes.

Entre los principales resultados que se han logrado en el tiempo de la instauración de H2Porto destacan la reducción de pérdidas de agua, la reducción en un 22.9% en las interrupciones del suministro y de un 54% en el número de fallas de alcantarillado.

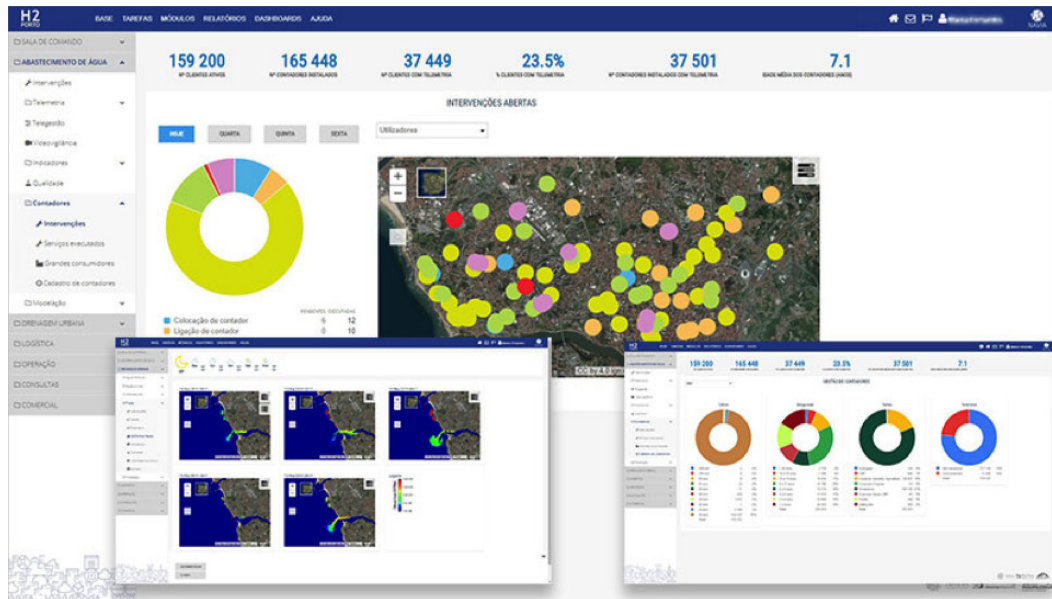


Figura 3.
Dashboard para la visualización de datos en la plataforma H2 Porto

REFERENCIAS:

Will Sarni (2021) . Transformación Digital: poniendo a la gente por delante de la tecnología. Volvamos a la fuente. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://blogs.iadb.org/agua/es/transformacion-digital-poniendo-a-la-gente-por-delante-de-la-tecnologia/>

Senozetnik, M., Herga, Z., Šubic, T., Bradeško, L., Kenda, K., Klemen, K., Pergar, P., et al. (2018). IoT Middleware for Water Management. Proceedings, 2(11), 696. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/proceedings2110696>

Hughes, D., Ueyama, J., Mendiondo. (2011) A middleware platform to support river monitoring using wireless sensor networks. J Braz Comput Soc 17, 85–102. <https://doi.org/10.1007/s13173-011-0029-3>

Paula Malheiro and Rita Cunha (2020) . Basin Stories: Urban Water Cycle Integrated Management. International Water Association. Recuperado de : https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2019/07/AguasdoPorto-Basin-Story_Final.pdf

Pedro Vieira, Moisés Neves, Filipe Costa, Marisa Fernandes, Maria Veiga4, Maria Oliveira. 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: https://www2.isep.ipp.pt/iwa_porto2021/uploads/IWA_21_set.pdf

Pedro Vieira, Catarina Tuna, Moisés Neves, Flávio Oliveira, Marisa Fernandes; H2Porto – from unstructured data to real time decision making central tool, 5th International Conference on Water Economics Statistics and Finance | on Rethinking Treatment with Asset Management. Recuperado de: https://www2.isep.ipp.pt/iwa_porto2021/uploads/IWA_21_set.pdf

Gemelos digitales para la gestión del agua urbana

María Pilar Conejos

Un gemelo digital es una copia virtual del sistema real que replica, en tiempo real, tanto sus elementos físicos como su comportamiento. En esta copia digital permite 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 eficientizar procesos en una organización (Saddik,2018).

Sin embargo, el desarrollo de un gemelo digital conlleva algunos retos importantes. El principal está relacionado con la inversión necesaria para implementarlo, pues requiere del respaldo de una cultura innovadora de la organización que permita la transformación digital. Este último aspecto es, en la mayoría de los casos, el principal obstáculo; pues si se defiende un esquema clásico de la gestión de proyectos y operaciones en la gestión del agua, se vuelve difícil implementarlo. Por ende, es importante comunicar los beneficios de esta tecnología, escuchar y aclarar dudas al personal, así como generar un proceso intensivo de capacitación.

El desarrollo de gemelos digitales en el sector hídrico permite realizar una mejor gestión del complejo sistema de redes de infraestructura. Un gemelo digital podría ayudar a tomar mejores decisiones, por ejemplo, para planificar el mantenimiento preventivo de la red hidráulica o la modificación en su operación para reducir fugas. Asimismo, ante la variabilidad del entorno en el que operan los sistemas de agua potable y drenaje, exacerbado por los efectos del cambio climático, estas herramientas permiten tomar medidas para mi-

tigar sus efectos con una mayor eficiencia y eficacia en tiempo real. Finalmente, estas herramientas coadyuvan a lograr una gestión óptima en la que se aprovechen al máximo los recursos hídricos, sin desperdicios y que permita un uso racional de recursos económicos y humanos, con la finalidad de asegurar y garantizar un servicio esencial para las personas, empresas y ciudades (Valverde et al, 2021).

En los sistemas urbanos de agua y saneamiento, los gemelos digitales ayudan a monitorear y analizar el comportamiento de la operación gracias a los datos e información incorporada y permiten simular comportamientos ante distintos escenarios.

Los gemelos digitales tienen diferentes niveles de madurez. En su fase inicial, ayudan a describir holísticamente al sistema de agua y saneamiento para conocer lo que está ocurriendo. De igual manera, permite generar diagnósticos más detallados, por ejemplo, sobre algún problema de infraestructura en las redes de abastecimiento o en una planta de tratamiento. En un nivel más avanzado, la herramienta tiene la capacidad de predecir escenarios. Finalmente, en su fase más completa, tiene la función prescriptiva, al brindar soluciones más eficientes ante un problema identificado.

Para lograr el desarrollo y la operación óptima de un gemelo digital, se requiere una cantidad importante de datos aportados por la información disponible del sistema físico. En este sentido, es fundamental que los datos puedan integrarse es una plataforma virtual que procese adecuada y sistemáticamente la

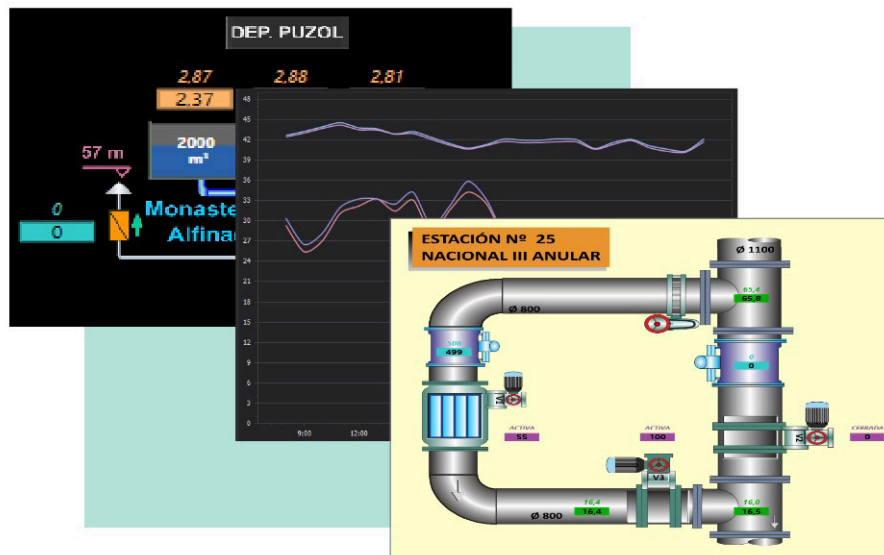


Figura 1.
Operación de un Gemelo Digital

información que alimentará al gemelo digital. Contar con una plataforma virtual permite además incorporar tanto modelos hidráulicos como inteligencia artificial para reproducir los comportamientos físicos del sistema. El gemelo digital tiene que estar continuamente conectado y actualizado con la información procedente del sistema real, así como estar calibrado y validado para comportarse lo más cercano posible al sistema físico.

Los datos son la base de la arquitectura del gemelo digital. Éstos están integrados, por ejemplo, por los Sistemas de Información Geográfica (GIS), la medición y consumo de los usuarios, o los datos generados por sensores o sistemas SCADA. Posteriormente, es necesario concentrar, unificar y normalizar la información en una plataforma virtual, adoptando los modelos hidráulicos más adecuados a la gestión de la organización, y complementando con analítica avanzada con ayuda de la inteligencia artificial y algoritmos. La integración de todos estos procesos es lo que da vida a un gemelo digital (Campbell & Wachal, 2021).

Entre las aplicaciones y beneficios del uso del gemelo digital en los servicios hídricos destacan (Valverde et al, 2021):

1. Desarrollo de planes maestros de infraestructura y diseño de la futura operación
2. Simulación y planificación de trabajos importantes en la red
3. Renovación del sistema y puesta en marcha de nuevas infraestructuras
4. Optimización de caudales, de presión y de consumo de energía eléctrica
5. Localización de fugas
6. Respuesta eficiente y temprana ante emergencias
7. Operación automática remota
8. Confianza y empoderamiento de los empleados para tomar mejores decisiones
9. Mayor seguridad en la operación y en la calidad del agua
10. Disminución de los costos de mantenimiento y mayor efectividad de inversión
11. Control de la demanda a través de la regulación de presión
12. Mejor calidad del servicio

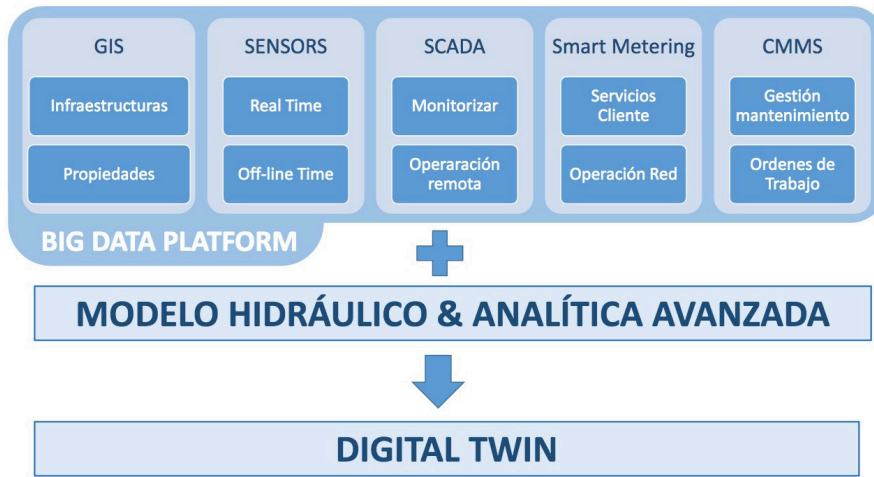


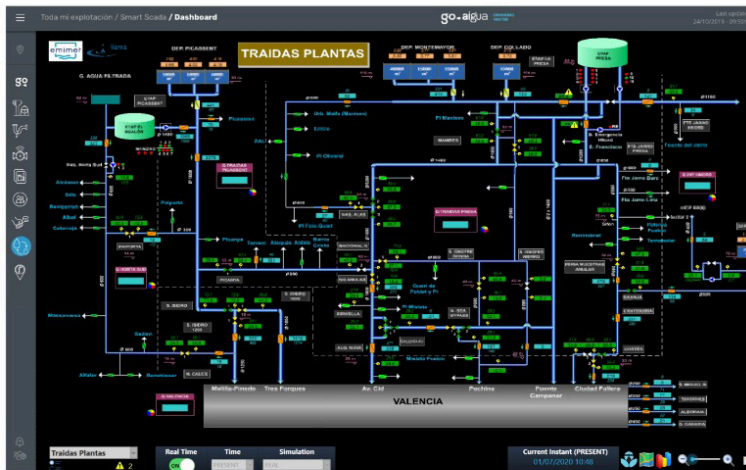
Figura 2.
Integración de un Gemelo Digital

1,700,000 Habitantes

200 km Red de Transporte

2,500 km Red de distribución

3,0 m3/s



© Global Omnium

EL GEMELO DIGITAL

900 km 50 Bombas
30 Depósitos 250 Válvulas

CONECTADO EN TIEMPO REAL CON

430 Sensores de presión
200 Caudalímetros

10,000 sensores virtuales

Figura 3.
Modelo de la red de distribución de agua

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 metros cúbicos de agua por segundo. 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.

El empleo del gemelo digital en Valencia ha permitido un mejor desempeño y resiliencia de la organización, una mejor toma de decisiones y una mayor satisfacción sobre el servicio por parte de los distintos usuarios.

REFERENCIAS:

El Saddik, A. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. *IEEE MultiMedia*, 25(2), 87–92. doi:10.1109/mmul.2018.023121167

Valverde-Peréz, Borja; Johnson Bruce; Wärrff Christoffer; Lumley Douglas; Torfs Elena; Nopens Ingmar; Townley Lloyd (2021). Digital Water: Operational digital twins in the urban water sector. International Water Association. Recuperado de : <https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2021/03/Digital-Twins.pdf>

Christa Campbell: David Wachal (2021) Digital Twins Bring Value to Water Utilities. Arcgis Blog. Recuperado de <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis/water/digital-twins-water-utilities/>

Conejos, Pilar & Martínez Alzamora, Fernando & Hervás Carot, Marta & Alonso Campos, Joan. (2019). Development and Use of a Digital Twin for the Water Supply and Distribution Network of Valencia (Spain).

Ciudad Universitaria: Ciudad hidro-inteligente

Fernando González Villareal, Jorge Alberto Arriaga Medina y José Daniel Rocha Guzmán

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 un área de 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 (UNAM,2017).

Durante 2008 se realizó un primer diagnóstico sobre el estado de la infraestructura hidráulica y de las prácticas de consumo de agua entre la comunidad universitaria. El resultado mostró diversos desafíos. Por ejemplo, no se contaba con un sistema de medición de consumos, los planos de la infraestructura hidráulica eran escasos o inexistentes, las plantas de tratamiento habían rebasado su vida útil y faltaba capacitación del personal de mantenimiento (PUMAGUA,2008). Como respuesta, la UNAM creó el Programa Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM (PUMAGUA) con los objetivos de gestionar de mejor manera los recursos hídricos empleados en Ciudad Universitaria, disminuir al mínimo las pérdidas por fugas, cumplir con los estándares de calidad de las Normas Oficiales Mexicanas y promover la participación informada de toda la comunidad universitaria en su uso responsable y cuidado.

PUMAGUA funciona a partir de tres áreas que funcionan de manera coordinada para lograr mayor eficiencia (González Villarreal et al, 2020):

1. Balance hidráulico. Reducir el consumo de agua en todas las actividades realizadas en los espacios universitarios
2. Calidad del servicio. Asegurar la calidad del agua y renovar la infraestructura
3. Fomento a la participación de la comunidad. Promover la implementación de acciones para el uso responsable del agua de los distintos actores que componen la comunidad universitaria.

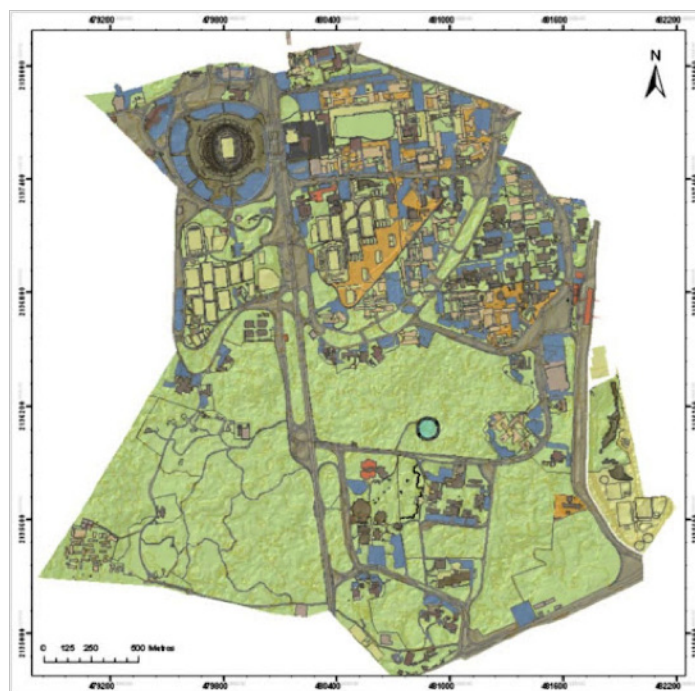


Figura 1.
Mapa de Ciudad Universitaria



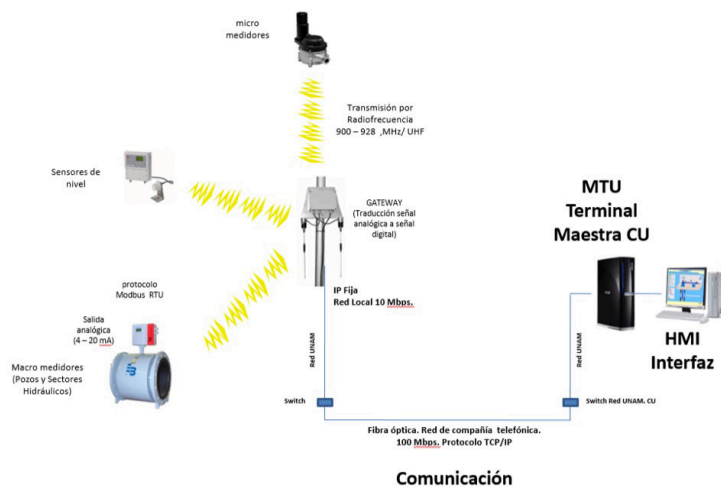
Figura 2.
Beneficios de las Ciudades Hidro-inteligentes

La labor de PUMAGUA en los últimos años se ha orientado a hacer de Ciudad Universitaria una ciudad hidro-inteligente, 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 hidro-inteligentes brinda múltiples 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 (IWA,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 innovación científica y tecnológica es parte esencial de las labores de PUMAGUA. Ésta se emplea en la medición, el modelaje, la transmisión de la información, el monitoreo de la calidad, entre muchas otras labores.

Un ejemplo del empleo de infraestructura inteligente es la medición. El sistema cuenta con una serie de sensores y medidores que envían información por radiofrecuencia a las antenas del campus, la cual es traducida de lenguaje analógico al digital y enviada por medio de fibra óptica hacia el servidor central de la Universidad. A partir de este momento, es posible analizar la información y modelar el comportamiento del agua en las redes de distribución. Finalmente, por medio del Observatorio del Agua, se comparte con la comunidad universitaria aquella información que le permita tomar mejores decisiones de consumo. (PUMAGUA,2017).

M edición Inteligente en tiempo real	250 sensores de macro, micro medición y presiones Transmisión vía radiofrecuencia y GSM
C alidad de agua (Red)	220 sitios para agua potable, residual y residual tratada Sistema de desinfección, monitoreo continuo y puntual
M odelación y localización	Modelación y localización de fugas: red y edificios Medición portátil, geofonos, correladores, detector de tuberías Control de presiones VRP Interfaz de desarrollo propio
O bservatorio	Despliega información de: consumos, alerta de fugas, mantenimiento, calidad de agua y participación de entidades académicas
A cciones	Reparación de fugas; red y edificios Mantenimiento y sustitución de infraestructura hidráulica Renovación de equipos Diseño de campañas de comunicación pública



Sistema de medición automática vía radio frecuencia

Figura 3.
Infraestructura Inteligente en Ciudad Universitaria

Uno de los resultados más importantes de PUMAGUA es la reducción de fugas. En 2008 se perdían 56 litros por segundo y en 2021 la cifra alcanzó un mínimo histórico de 30 litros por segundo. Este logro fue posible gracias a la implementación de una serie de acciones, entre las que destacan: detección de pérdidas, sectorización, control de presiones, estrategias de reducción del consumo, sustitución de seis mil muebles de baño, renovación de plantas de tratamiento, reúso de agua tratada para el riego, sustitución de jardines hacia especies nativas de bajo consumo, entre otras. En el desarrollo de estas medidas, el sistema de medición inteligente de suministros desempeñó un papel sustantivo, pues ha permitido monitorear los resultados y evaluar el desempeño de las diferentes instancias ubicadas en el campus central. También se han instalado más de 180 despachadores de agua, lo que reduce los desechos por las botellas de plástico (González Villarreal et al, 2020).

Un elemento fundamental para PUMAGUA es la participación de la comunidad universitaria. En este eje de acción se ha impulsado la investigación y publicación de artículos especializados y de divulgación (Espinoza-García et al, 2014; González Villarreal, 2015). Además, se han desarrollado diversos talleres de capacitación al personal de mantenimiento y jardineros para reac-

cionar de manera más eficiente ante escenarios de falla de infraestructura y para hacer un uso más racional del recurso. Finalmente, en materia de recursos humanos, se han formado más de 60 becarios de todos los niveles educativos sobre distintos temas de la gestión del agua. Éstos no solo colaboran directamente en el Programa, sino que se han incorporado a otras instituciones del sector hídrico mexicano y han puesto sus conocimientos al servicio de la sociedad.

Aun cuando PUMAGUA ha sido reconocido a nivel internacional como un ejemplo de buenas prácticas en la gestión sustentable del agua (IWA,2018), enfrenta diversos retos para transformar a Ciudad Universitaria en una ciudad hidro-inteligente. El rápido avance tecnológico, la obsolescencia programada de algunos equipos y plataformas, así como el deterioro paulatino de la infraestructura física hacen necesario implementar una serie de acciones. En primera instancia, se requiere modernizar el sistema de adquisición y transmisión de datos, que incluye la medición de flujos, presiones y calidad. Además, se necesita redoblar los esfuerzos para el mantenimiento y la renovación de la infraestructura hidráulica: agua potable, drenaje, pluvial, plantas de tratamiento de aguas residuales y de riego. Asimismo, se deben mejorar y ampliar las funciones del Observatorio del Agua, fomentando

una política de datos abiertos y de fácil accesibilidad. Finalmente, se proyecta convertir a PUMAGUA en un laboratorio donde se ponga a prueba la efectividad de las tecnologías más recientes disponibles en diversas áreas de la gestión del agua.

La experiencia de PUMAGUA demuestra que las ciudades hidro-inteligentes permiten prestar mejores servicios a la sociedad, reducir costos y preservar el ambiente y la infraestructura. 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.

REFERENCIAS:

UNAM (2017) Acerca de la UNAM. Recuperado de ; <https://www.unam.mx/acerca-de-la-unam/unam-en-el-tiempo/cronologia-historica-de-la-unam/1950>

PUMAGUA. (2008). Diagnóstico: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de : http://www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/informes/2009/diagnostico_2008.pdf

PUMAGUA(2017) Informe de Avances 2017. Recuperado de : http://www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/informes/2017/INFORME_2017.pdf

Fernando González Villarreal , Cecilia Lartigue , Josué Hidalgo , Berenice Hernández & Stephanie Espinosa (2020) SWM technology for efficient water management in universities: the case of PUMAGUA, UNAM, Mexico City, Water International, 45:6, 526-551, DOI: 10.1080/2508060.2020.1830588

International Water Resources Association (2018) Smart Water Management Case Study Report. Recuperado de : <https://www.iwra.org/wp-content/uploads/2018/11/SWM-report-final-web.pdf>

Espinosa-García, A. C., Díaz-Ávalos, C., González-Villarreal, F. J., Val-Segura, R., Malvaez-Orozco, V., & Mazari-Hiriart, M. (2014). Drinking Water Quality in a Mexico City University Community: Perception and Preferences. *EcoHealth*, 12(1), 88–97. doi:10.1007/s10393-014-0978-z

González Villarreal, F. J., Rodríguez Briceño, E., Padilla Ascencio, E., & Lartigue Baca, C. (2015). Percepción del servicio y cultura del agua en México. *H2O: Gestión del agua*, 7

La ciberseguridad en la gestión inteligente del agua

María Concepción Donoso

Gestión inteligente del agua

La gestión inteligente del agua se define como una forma de recopilar, compartir y analizar datos de equipos y redes de agua a través del uso integrado de información en tiempo real, con el objetivo de mejorar la gestión operativa y estratégica de los recursos hídricos. Este objetivo se logra mediante la aplicación de soluciones basadas en las tecnologías de información y la comunicación, tales como sensores remotos, monitores, GIS, mapeo satelital, Internet de las Cosas, Big Data, Inteligencia Artificial, entre otros (Ingildsen & Olsson, 2020).

Los principales elementos que componen a la gestión inteligente del agua son (Handerson, 2018):

1. Equipos inteligentes. Incluyen bombas, mezcladores, tecnologías de tratamiento y sensores que pueden automatizarse para mejorar el rendimiento. En gran medida, ayudan a reducir el tiempo y esfuerzo necesarios para monitorear los equipos.
2. Redes inteligentes. Se encargan de recopilar información a través de varias piezas de equipos para proporcionar una gestión reactiva y en tiempo real del sistema. Estas redes permiten monitorear las operaciones de manera remota, continua y en tiempo real.
3. Soluciones digitales. Combinan datos en tiempo real con algoritmos. Su función es llevar a cabo un mantenimiento predictivo, prevenir los desbordamientos de aguas residuales y pluviales, así como revisar las condiciones de los activos.

La innovación tecnológica de los últimos años, así como el desarrollo de soluciones basadas en computación, han contribuido a que este enfoque tenga distintos beneficios, haciéndolo eficaz para atender problemas del sector, que van desde el uso eficiente de recursos económicos hasta la predicción y atención de inundaciones y eventos de escasez, el monitoreo y control sobre la calidad del agua, entre muchos otros. A pesar de las oportunidades, la incorporación de estos elementos genera también un nuevo espectro de riesgos asociado a su funcionamiento; por ejemplo, los relacionados con la intervención o bloqueo en la transferencia de información entre instituciones o para la sociedad.

Durante el periodo 2016-2020, la gestión inteligente del agua creció 19% cada año, en promedio, como resultado de sus importantes beneficios para el sector. Diversos estudios han demostrado que las tecnologías inteligentes del agua podrían ahorrar a las empresas de servicios públicos de agua entre 12.5 y 15 mil millones de dólares al año en todo el mundo. En este sentido, resulta necesario realizar un análisis de los riesgos asociados a la aplicación de estas tecnologías y, en consecuencia, el desarrollo de estrategias para mitigarlos, con el objetivo de avanzar en la garantía de la seguridad hídrica.

Seguridad hídrica

La seguridad hídrica es entendida como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua en calidad suficiente, que permita sustentar tanto la salud humana como la de los ecosistemas, además de garantizar la protección vidas y mitigar o prevenir los riesgos relacionados

con los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como inundaciones, deslaves y sequías (GWP,2010). Actualmente, el subsector agua y saneamiento presenta importantes desafíos para garantizar un acceso universal, pues la prestación de los servicios requiere implementar soluciones técnicas, institucionales, políticas y financieras, pero también tecnológicas y de información, sin embargo, es necesario ofrecer soluciones a estos desafíos para garantizar la seguridad hídrica y, a su vez, las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Debido a la importancia de la seguridad hídrica para la seguridad nacional de cualquier país, contar con medidas concretas para salvaguardar todo el sistema hídrico se convierte en una tarea vital. En este contexto, y aunado al hecho del crecimiento de la aplicación del enfoque de gestión inteligente del agua, es necesario incorporar un nuevo elemento al análisis de seguridad hídrica: la ciberseguridad.

Ciberseguridad

La ciberseguridad es uno de los temas que cobran mayor relevancia en el mundo, por tanto, también se ha generado un crecimiento de una industria especializada. En el caso del sector hídrico, algunos elementos que se encuentran sujetos a riesgos por ataques cibernéticos son:

1. Base de datos. Lista de clientes o cuentas, localización de medidores, planes de servicio o de mantenimiento, distribución de cuadrillas, etc.
2. Información en la nube. De muy diversa naturaleza y que puede abarcar toda la cadena de valor de la gestión de los recursos hídricos.
3. Servicios y productos en línea. Presentación de información en tiempo real, resultados de modelaje numérico, alertas, servicios al cliente, otros.
4. Procesos operativos. Purificación de aguas, redes de distribución, tratamiento de aguas residuales, operación de compuertas, etc.
5. Infraestructura. Maquinaria, tuberías, redes, cisternas, plantas de tratamiento, potabilizadoras, presas, sistemas de riego, vías de navegación, entre otras.

El área más afectada por los ataques cibernéticos es la relacionada con la información de los usuarios, en especial de sus datos, tales como domicilio y números de cuentas bancarias. De igual manera, se están registrando otro tipo de ataques, por ejemplo, las potabilizadoras puede ser alteradas para afectar su capacidad de tratamiento, lo que generaría daños a la salud de la población si el agua es consumida sin recibir un tratamiento correcto. Este caso podría clasificarse como ciberterrorismo.

De acuerdo con el reporte "Ciberseguridad: Riesgos, Avances y el Camino a seguir en América Latina y Caribe", realizado por la Organización de los Estados Americanos (OEA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 17 de 32 países de la región poseen políticas públicas e iniciativas para mejorar su ciberseguridad. Algunas naciones cuentan con mayores avances, como Colombia, Guyana, República Dominicana y Paraguay, mientras que países como Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Guatemala, México y República Dominicana ya han aprobado estrategias en los últimos años.

A pesar de los avances alcanzados, es imperativo aumentar esfuerzos para alertar al sector hídrico sobre la importancia de incorporar principios de ciberseguridad para la protección ante los diversos riesgos que se presenta. La innovación y la incorporación de nuevas tecnologías es clave para alcanzar la seguridad hídrica; sin embargo, es fundamental considerar y atender también los riesgos asociados a su implementación. Para ello, es necesario impulsar políticas y regulaciones para favorezcan la gestión inteligente del agua y atiendan las diversas problemáticas que enfrentan las cuencas y las instituciones hídricas. A la par, se requiere avanzar en la puesta en marcha de procesos de capacitación y vinculación entre instituciones de todos los sectores. Finalmente, debe continuar el apoyo a la divulgación sobre los beneficios y oportunidades de las herramientas tecnológicas para favorecer la ciberseguridad del sector, así como la construcción de espacios de debate sobre el tema.

REFERENCIAS

Pernille Ingildsen & Gustaf Olsson. (2020). Smart Water Utilities : Complexity Made Simple. Denmark: IWA Publishing.

Chad Henderson. (2018). What is smart water management?. 08/1st2021, de Xylem Sitio web: <https://www.xylem.com/en-th/making-waves/commercial-buildings/what-is-smart-water-management/>

Global Water Partnership (2010) La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales . Recuperado de <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/14-water-management-water-security-and-climate-change-adaptation.-early-impacts-and-essential-responses-2009-spanish.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo & Organización de los Estados Americanos (2020) Reporte Ciberseguridad 2020: riesgos, avances y el camino a seguir en América Latina y el Caribe. Doi: <http://dx.doi.org/10.18235/0002513>

Tecnologías en el Servicio Meteorológico Nacional

Alejandra Méndez Girón

La meteorología es la rama de la física que estudia los distintos fenómenos que ocurren en la atmósfera. Analiza la interacción de los distintos fluidos que la componen y el flujo de la energía entre ellos. Esta ciencia es de gran importancia debido a que los fenómenos físicos de la atmósfera afectan un gran número de actividades y sectores. Por ejemplo, gracias al desarrollo de modelos matemáticos de pronóstico, sectores como la agricultura, el turismo, entre otros, pueden tomar medidas de prevención y gestión de riesgos (Willoughby & Rappaport, 2005).

En los últimos años, el avance tecnológico ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de la meteorología. Las innovaciones en el poder de cómputo y el procesamiento de bases de datos han permitido tener un mejor entendimiento de los fenómenos físicos que ocurren en la atmósfera y sus implicaciones, lo que, a su vez, ha permitido generar pronósticos cada vez más precisos que ayudan en la toma de decisiones. Un caso de aplicación se encuentra en el actual monitoreo de

la evolución de los ciclones tropicales. En este caso, es posible generar pronósticos sobre sus trayectorias e intensidad y, así, anticipar las consecuencias que podrían generar y tomar medidas preventivas en zonas de riesgo.

El análisis de ciclones tropicales en México es de particular importancia ya que anualmente impactan al territorio entre cuatro y cinco de ellos, afectando particularmente a regiones vulnerables, como el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. No obstante, gracias al uso de técnicas de análisis de información y a la recopilación de extensas bases de datos, como las provenientes del Centro Nacional de Huracán, es posible inferir el comportamiento de nuevos eventos. Además, estas tecnologías pueden aplicarse para el monitoreo y pronóstico de otros fenómenos que afectan el territorio mexicano, como los frentes fríos, que se vuelven más intensos cuando chocan con sistemas tropicales y que, finalmente, producen lluvias torrenciales que pueden provocar inundaciones (Rosengaus et al, 2021).

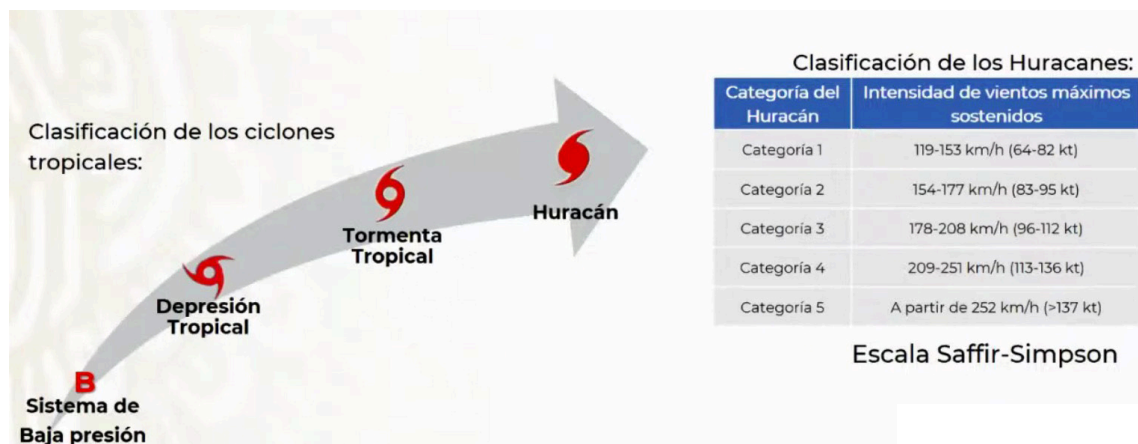


Figura 1. Escala Clasificación de los ciclones tropicales.



Figura 2.
Radar Meteorológico.

Las tecnologías más usadas en los pronósticos del tiempo son las imágenes de satélite, las imágenes de radar, los radiosondeos, las estaciones meteorológicas automáticas, entre otras. Todas éstas, en conjunto, ayudan a analizar las condiciones de la atmósfera. Por ejemplo, los satélites meteorológicos permiten inferir información meteorológica a partir de la medición de radiación visible, infrarroja o de microondas que son emitida desde la Tierra hacia al espacio. Asimismo, las imágenes de satélite permiten detectar descargas eléctricas por medio de sensores de destellos, que son importantes para predecir las tormentas eléctricas. Estas y otras tecnologías ayudan a conocer diversas características de las nubes y condiciones de la atmósfera.

Por otra parte, el sondeo meteorológico consiste en el lanzamiento de una sonda que toma mediciones de la atmósfera y es impulsada por un globo que asciende hasta unos 18 km de altitud. El análisis de los diagramas termodinámicos permite obtener información sobre el comportamiento de la atmósfera, como temperatura, presión, intensidad, velocidad, etc. Esta técnica es usada en todo el mundo al enviar las radiosondas dos veces al día, una a las seis de la mañana y otra más a las seis de tarde. Su envío permite actualizar la información disponible. Ésta se analiza a través de sistemas de cómputo y son asentadas en cartas meteorológicas, las cuales permiten pronosticar distintos fenómenos atmosféricos.

Los modelos de pronóstico se alimentan de toda la información obtenida por las diferentes tecnologías

meteorológicas que, al ser procesadas con sistemas de cómputo y ecuaciones derivadas de la termodinámica, sirven para realizar el análisis y predicciones sobre el clima y otras condiciones de la atmósfera en las próximas 24 o 72 horas, incluso hasta por una semana. Un ejemplo de estos modelos es el modelo GFS (*Global Forecast System*), que considera datos de la atmósfera, del océano, de hielo y de uso de suelo. Otros modelos ayudan a conocer en detalle condiciones de temperatura, humedad e intensidad de los fenómenos, que es información importante para la sociedad, para la economía y para la toma de decisiones (NOAA,2019).

Toda la información meteorológica y climatológica que genera el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) es compartida directamente con funcionarios pertenecientes a diferentes instituciones públicas mediante correo electrónico o alguna aplicación de mensajería instantánea con el objetivo de sumar las capacidades institucionales y, de esta forma, prevenir o alertar tempranamente a las poblaciones que se localizan en zonas vulnerables. Entre las dependencias gubernamentales con las que se comparte esta información se encuentran las siguientes:

1. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
2. Secretaría de Salud
3. Secretaría de Marina
4. Secretaría de Defensa Nacional
5. Guardia Nacional
6. Protección Civil, a nivel nacional, estatal y municipal



Figura 3.
Globo meteorológico

7. Gobierno de las entidades
8. Centro Nacional de Prevención de los Desastres
9. Petróleos Mexicanos
10. Instituciones educativas

Además, la información es puesta a disposición de la sociedad a través de boletines y videos que se publican en las redes sociales, canales de televisión y radios locales. Es necesario destacar que el avance tecnológico y su relación con la mayor la difusión de información en materia meteorológica ha permitido disminuir el número de muertes por ciclones tropicales. Por ejemplo, el acceso a la información ha resultado clave para mitigar y prevenir afectaciones a la población en situaciones de fenómenos extremos (ver figura 4).

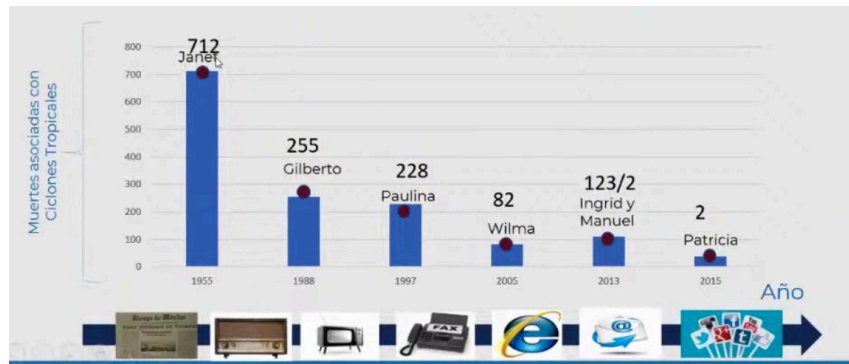


Figura 4.
Disminución de defunciones como respuesta a mejoras en los sistemas de información

Sin duda, las innovaciones tecnológicas han permitido un avance importante de la meteorología, pero es necesario continuar fortaleciendo su aplicación a los sistemas y mecanismos para generar información. A la par, se requiere fortalecer las capacidades del personal involucrado en este subsector, dar mantenimiento a todo el equipo operativo y robustecer los mecanismos de coordinación entre las autoridades que utilizan la información para proteger a las comunidades.

REFERENCIAS:

Willoughby, H. & Rappaport, E. & Marks, Frank. (2005). Hurricane Forecasting: The State of the Art. *Natural Hazards Review*. 8. 10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(45).

Klotzbach, Philip & Blake, Eric & Camp, Joanne & Caron, Louis-Philippe & Chan, Johnny & Kang, Namyong & Kuleshov, Yuri & Lee, Sai-Ming & Murakami, Hiroyuki & Saunders, Mark & Takaya, Yuhei & Vitart, Frederic & Zhan, Ruifen. (2019). Seasonal Tropical Cyclone Forecasting. *Tropical Cyclone Research and Review*. 8. 10.1016/j.tcrr.2019.10.003.

Michel Rosengaus Moshinsky, Martín Jiménez Esponisa, María Teresa Vázquez Conde (2021) Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México . CENAPREd & IMTA. Recuperado de : <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>

Giffard-Roisin Sophie, Yang Mo, Charpiat Guillaume, Kumler Bonfanti Christina, Kégl Balázs, Monteleoni Claire (2020). Tropical Cyclone Track Forecasting Using Fused Deep Learning From Aligned Reanalysis Data . *Frontiers in Big Data*. Volume 3. DOI=10.3389/fdata.2020.00001

NOAA (2019) The Global Forecast System : Documentation . Recuperado de : https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs/documentation.php

Las TICs en sistemas de alerta temprana de inundaciones

Daniel Vázquez Bado

Las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) se han aplicado en diversas áreas, incluyendo el sector hídrico, y han generado múltiples beneficios para la población, entre ellos el desarrollo de sistemas de alerta temprana ante los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (Champanis et al, 2013).

En el año 2017, el Centro Internacional de Hidroinformática inició el desarrollo de TICs para ser implementadas en los sistemas de alerta temprana ante inundaciones en Paraguay. En este país, como sucede en gran parte de Latinoamérica, el acceso a datos hidrológicos presenta limitaciones como su dispersión entre instituciones, la falta de datos a lo largo del tiempo, así como la existencia de diferentes formatos y tiempos de actualización, entre otros. Estas condiciones complican el acceso a información útil y actualizada para el desarrollo de sistemas de monitoreo y análisis de inundaciones (Peña, 2016).

Considerando esta realidad, el Centro Internacional de Hidroinformática, por iniciativa propia, ha impulsado la realización de un Sistema de Información experimental para el Pronóstico de Inundaciones en Paraguay, cuyo principal objetivo es desarrollar herramientas en apoyo a la gestión de riesgos por inundaciones. La herramienta busca centralizar y facilitar el acceso a los datos e información hidrológica para sus diversos usos, además de fomentar la cooperación con universidades para la construcción de modelos y una página web específica para la alerta temprana ante inundaciones (AIP, 2019). El desarrollo de esta herramienta Hidroinformática fue realizado en seis meses y contempló cuatro fases:

1. Recolección y captura de datos en las instituciones con información disponible;
2. Automatización con uso de softwares como Python y de tipo geoespacial (QGIS);
3. Instalación de infraestructura informática para la gestión de datos e información; y
4. Publicación final de los datos e información en la web.

El resultado final disponible en la plataforma web cuenta con las siguientes funcionalidades:

1. Monitoreo hidrométrico unificado
2. Monitoreo de precipitación por detección remota
3. Pronósticos de precipitación, humedad del suelo y temperatura
4. Información del Open Street Map colaborativo
5. Conexión de la Infraestructura de Datos Satelitales con los datos cartográficos
6. Acoplamiento y automatización de modelos hidrológicos e hidrodinámica
7. Previsiones probabilísticas
8. Estadísticas en tiempo real de precipitaciones por estados, ciudades y cuencas
9. Paneles de control y notificaciones con un lenguaje sencillo al público usuario.
10. API's (Interfaz de programación de aplicaciones) para compartir datos a través de servicios Web.

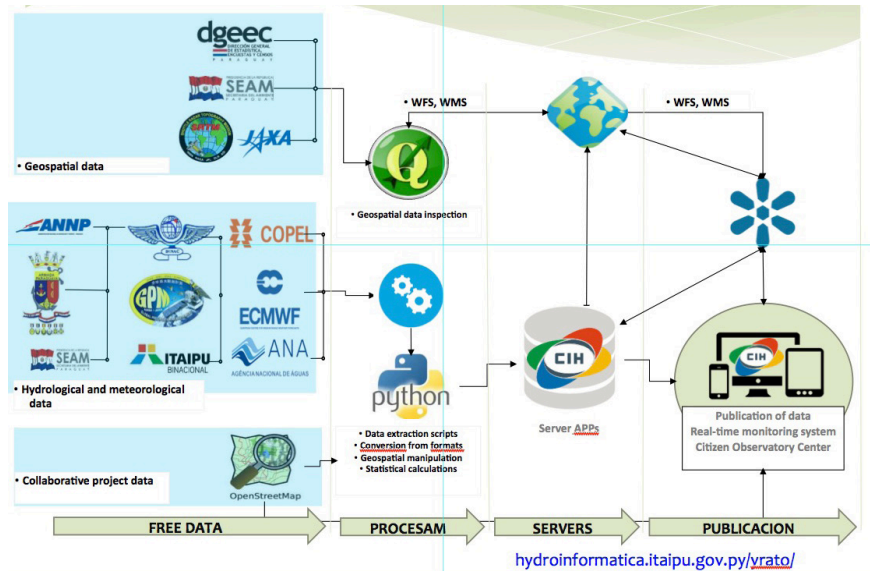


Figura 1.
Integración del Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones

La vinculación interinstitucional fue fundamental para el desarrollo de esta herramienta. El acoplamiento y automatización de modelos hidrológicos e hidrodinámica se realizó con el apoyo de la academia. Los académicos analizaron variables como caudales, lluvia y flujos base para ser utilizadas en la toma de decisiones.

A partir de los datos producidos por los modelos y disponibles dentro de la plataforma es posible identificar puntos de interés para realizar mapas de inundación y conocer las distintas afectaciones en las zonas estudiadas.

Igualmente, esta herramienta cuenta con modelos probabilísticos de simulación para conocer los márgenes de posibilidades de los impactos de las inundaciones en determinados espacios. Los resultados de los modelos pueden verse a nivel geoespacial y por medios gráficos y así aumentar los niveles de confianza asociados a la toma de decisiones.

Uno de los mayores retos que del diseño de este sistema hidroeinformático fue lograr un lenguaje claro y amigable con los distintos usuarios, debido a que la mayor parte de la información disponible es de carácter técnico. La visualización de los datos por medio de paneles para clasificar la información resulta una forma más accesible, al mismo tiempo que se puede visualizar a nivel geoespacial. Un ejemplo de ello es la sección de niveles de caudales que muestra su estado con diferentes colores. Los puntos rojos indican los lugares con elevaciones importantes y que pueden significar cierto riesgo ante inundaciones. Cada sección de la plataforma se actualiza de manera constante y también arroja resúmenes que incluyen gráficos que incorporan los datos estadísticos recabados a lo largo del tiempo, como la precipitación.

La plataforma cuenta con un vínculo a la infraestructura de datos geoespaciales en la que se muestra la información cartográfica y que permite su consulta y



Figura 2.
Visualización de información hidrográfica

descarga en formatos de libre acceso. La base de datos se presenta en forma numérica y vectorial, lo que permite un manejo y uso más amplio por los usuarios. Asimismo, el sitio ofrece geoservicios por medio de consultas que se pueden automatizar y homogenizar con distintos datos cartográficos para unir información de diversa índole.

Para ampliar sus beneficios, el proyecto debe continuar con la adaptación de los datos con estándares, como el WATERML. Igualmente, se planea el uso de la tecnología BIRT (*Business Intelligence and Reporting Tools*) para paneles de control adaptativo que sean más dinámicos y con mayor capacidad de procesamiento de datos. Finalmente, se requiere mejorar las capacidades técnicas de la plataforma, tanto en el ámbito tecnológico como hidrológico, así como mejorar y ampliar la vinculación con universidades e instituciones del sector para adaptarla a las necesidades de las autoridades y tomadores de decisiones, de manera que pueda ser utilizada con mayor intensidad.

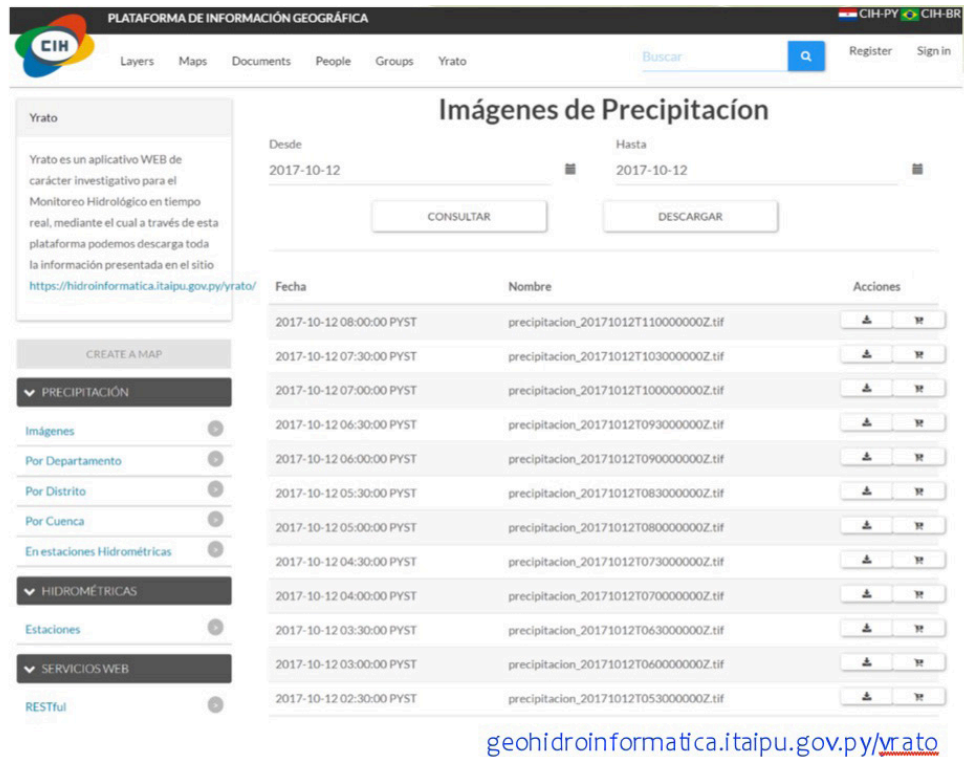


Figura 3.
Visualización de base de datos

REFERENCIAS:

Agencia de Información de Paraguay (2019) Centro de Hidroinformática diseña sistema de alerta temprana de inundaciones. Recuperado de : <https://www.ip.gov.py/ip/centro-de-hidroinformatica-diseña-sistema-de-alerta-temprana-de-inundaciones/>

Michael Champanis, Ulrike Rivett, Saaligha Gool, Mphatso Nyemba-Mudenda (2013) ICTs in the water sector – where do we stand?. Water Research Commission. Recuperado de : <http://greencape.co.za/assets/Sector-files/water/Innovation/WRC-ICTs-in-the-water-sector-where-do-we-stand-2013.pdf>

Humberto Peña (2016) Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. ISSN 1680-9017

ANEXOS

Curso en línea / Online course

Inteligencia artificial y transformación digital para la Seguridad Hídrica

Artificial intelligence and digital transformation for Water Security

4-6 OCT

<https://bit.ly/38zrq9v>

Horario / Time:

- 09:00 - 12:00 (GMT-6) Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua
- 10:00 - 13:00 (GMT-5) Colombia, Ecuador, Jamaica, México, Panamá, Perú
- 11:00 - 14:00 (GMT-4) Bolivia, Cuba, Guyana, Paraguay, República Dominicana, Venezuela
- 12:00 - 15:00 (GMT-3) Argentina, Brasil, Chile, Suriname, Uruguay
- 16:00 - 19:00 (GMT+1) Portugal
- 17:00 - 20:00 (GMT+2) Andorra, España

Logos: UNESCO Programa Hidrológico Inter gubernamental, CODIA Conferencia Iberoamericana de Directores de Agua, Red Iberoamericana Rede Ibero-Americana, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, CERSHI Centro Regional de Seguridad Hídrica Bajo los auspicios de UNESCO, Cooperación Española

Cartel Promocional

Curso en línea. Inteligencia artificial y transformación digital para la Seguridad Hídrica.

