

La digitalización del ciclo integral del agua: hacia la gestión óptima de los recursos hídricos

Pedro Redrado Monforte, licenciado en Economía, máster en Economía Industrial (especialidad en Telecomunicaciones y Transporte) y postgrado en Economía y Gestión de la Innovación y Política Tecnológica. Director de Economía del Sector Público en Novadays



Existe un amplio abanico de tecnologías disruptivas y emergentes que son aplicadas en el proceso de digitalización del ciclo del agua, obteniendo múltiples beneficios e impactos, desde la mejora en el conocimiento y la predicción del ciclo hidrológico, la optimización de la planificación y la gestión de los recursos hídricos, hasta el impulso de industrias enfocadas a desarrollar tecnologías y mercados estratégicos en este ámbito, entre otros aspectos. No obstante, la digitalización del ciclo del agua implica también tener en consideración aspectos sociales, institucionales, legales y financieros que deben ser abordados de manera integral y coordinada, así como el apoyo del sector público para fomentar la aplicación de estas tecnologías y desarrollar mercados estratégicos con capacidades propias. En este sentido, el papel del sector público es fundamental para diseñar e implementar políticas industriales y de innovación que favorezcan la adopción y el aprovechamiento de las tecnologías digitales para la gestión del agua.



INTRODUCCIÓN

La gestión del agua es un desafío global que requiere soluciones innovadoras y sostenibles, especialmente en el contexto del cambio climático, la creciente demanda de agua y la presión sobre los recursos hídricos. La digitalización del ciclo del agua integra el uso de todas aquellas tecnologías digitales para mejorar la planificación, el seguimiento, la operación y la evaluación de los servicios relacionados con la gestión de los recursos hídricos.

Multitud de tecnologías disruptivas y emergentes son aplicadas en el proceso de digitalización del ciclo del agua. En concreto, las tecnologías aplicadas en este ámbito abarcan el uso de sensores, drones, inteligencia artificial, *big data*, *blockchain*, internet de las cosas, realidad aumentada y otras tecnologías para mejorar la eficiencia, la seguridad, la calidad y la sostenibilidad de todas las etapas del ciclo del agua.

TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS Y EMERGENTES EN EL CICLO INTEGRAL DEL USO DEL AGUA: APLICACIONES Y BENEFICIOS

La aplicación de tecnologías es amplia y diversa, abarcando todas las etapas del ciclo de uso del agua.

Captación y tratamiento del agua

En esta primera etapa se extrae el agua de fuentes naturales o artificiales y se somete a procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar las impurezas y garantizar su potabilidad y calidad para el consumo humano, agrícola o industrial. Las aplicaciones tecnológicas más significativas son las siguientes:

- **Sensores:** permiten medir y transmitir datos sobre diferentes parámetros del agua, como el caudal, la presión, la temperatura, el pH, la turbidez, la conductividad, el nivel de oxígeno, el contenido de cloro, nitratos, metales pesados y otros contaminantes.
- **Drones:** pueden sobrevolar las fuentes de captación y las plantas de tratamiento, para realizar tareas de inspección, vigilancia, muestreo, análisis y control del agua.
- **Satélites:** pueden captar imágenes y datos sobre la superficie terrestre, incluyendo las fuentes de captación de agua, como ríos, lagos, embalses, glaciares y acuíferos. Asimismo, pueden proporcionar información sobre el volumen, la calidad, la variabilidad y la disponibilidad del agua, así como sobre los factores que la afectan, como el clima, la vegetación, la ero-

sión, la contaminación y el uso del suelo. Los satélites pueden ayudar a planificar, gestionar y proteger los recursos hídricos, así como a predecir y responder a eventos extremos, como sequías, inundaciones, incendios o deslizamientos.

- **Inteligencia artificial:** se puede aplicar, mediante técnicas de *machine learning* y *deep learning*, para procesar y analizar los datos provenientes de los sensores, los drones, los satélites y otras fuentes, con el objeto de generar modelos, predicciones, recomendaciones y acciones que mejoren la eficiencia, la seguridad, la calidad y la sostenibilidad del agua. La IA también se puede utilizar para automatizar y optimizar los procesos de tratamiento, como la dosificación de químicos, la filtración, la desinfección y la desalación.
- **Big data:** grandes volúmenes de datos se pueden generar a partir de los sensores, los drones, los satélites, la IA y otras fuentes, y se puede utilizar para obtener información valiosa sobre el estado, la calidad, la demanda y el consumo del agua, así como para identificar patrones, tendencias, oportunidades y desafíos en la gestión del ciclo del agua.
- **Blockchain:** esta tecnología permite crear y gestionar bases de datos distribuidas, seguras, transparentes y verificables, que registran las transacciones y los intercambios de información entre diferentes actores. También se aplica a la captación y el tratamiento del agua, para facilitar la trazabilidad, la auditoría, la certificación y el control de la calidad y el origen del agua, así como para promover la colaboración, la confianza, la participación y la transparencia entre los agentes del sector hídrico, como las autoridades, los operadores, los proveedores, los consumidores y la sociedad civil.



La aplicación de nuevas tecnologías es amplia y diversa.



Existen múltiples aplicaciones tecnológicas que ayudan al control y O&M de los sistemas y equipos para el transporte del agua.

Transporte y distribución del agua

Etapa donde se conduce el agua desde las plantas de tratamiento hasta los puntos de consumo, a través de redes de tuberías, válvulas, bombas, depósitos y contadores. Las aplicaciones tecnológicas más significativas son las siguientes:

- **Sensores:** su uso sirve para medir y transmitir datos sobre el estado y el funcionamiento de las redes de distribución, como la presión, el caudal, la temperatura, las vibraciones, las fugas, los robos, las roturas, los atascos y las averías. Los sensores se pueden instalar en las tuberías, las válvulas, las bombas, los depósitos y los contadores, para monitorear el transporte y la distribución del agua en tiempo real, detectar anomalías, alertar sobre posibles riesgos y optimizar los procesos de mantenimiento y reparación.
- **Drones:** pueden realizar tareas de inspección, vigilancia, muestreo, análisis y control de las redes de distribución, para verificar su estado, su funcionamiento, su integridad y su seguridad. Los drones pueden, también, acceder a zonas de difícil acceso, reducir los tiempos y los costes de las operaciones, mejorar la precisión y la calidad de los datos, y prevenir o mitigar situaciones de emergencia, como fugas, roturas, robos o sabotajes.
- **Inteligencia artificial:** se aplica para procesar y analizar los datos provenientes de las redes de distribución, para generar modelos, predicciones, recomendaciones y acciones que mejoren la eficiencia, la seguridad, la calidad y la sostenibilidad de las redes. La inteligencia artificial también se puede utilizar para automatizar y optimizar los procesos de transporte y distribución, como el control de la presión, el caudal, la temperatura, las válvulas, las bombas y los depósitos.
- **Big data:** tecnología clave para obtener información valiosa sobre el estado, el funcionamiento, el rendimiento y el consumo de las redes de distribución, así como para identificar patrones, tendencias, oportunidades y desafíos en la gestión del transporte y la distribución del agua.
- **Blockchain:** puede facilitar la trazabilidad, la auditoría, la certificación y el control del consumo y la facturación del agua, así como de promover la colaboración, la confianza, la participación y la transparencia entre los proveedores y los consumidores de agua.
- **Internet de las cosas:** se puede aplicar para crear redes inteligentes que se adapten a las condiciones y a las necesidades del suministro y la demanda de agua, y que permitan una gestión remota, integrada y automatizada de las redes.



- **Realidad aumentada:** puede aplicarse para facilitar la visualización, la identificación, la localización y la interacción con los elementos de las redes de distribución, como las tuberías, las válvulas, las bombas, los depósitos y los contadores, así como para proporcionar información, instrucciones, asistencia y capacitación a los operarios, técnicos y usuarios de las redes.

Uso, reutilización, reciclaje y devolución del agua

Etapa en la que se consume el agua para diferentes fines, como el doméstico, el agrícola, el industrial, el recreativo o el ecológico, y que se devuelve al medio ambiente, previa depuración y tratamiento, para que pueda volver a ser captada y tratada. Las aplicaciones tecnológicas más significativas son las siguientes:

- **Sensores:** su uso sirve para medir y transmitir datos sobre el consumo, el ahorro, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua, así como sobre la calidad y el impacto ambiental del agua devuelta. Los sensores se pueden instalar en los puntos de consumo, en los sistemas de reúso y reciclaje, en las plantas de depuración y en los puntos de devolución, para monitorear el uso, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua en tiempo real, detectar anomalías, alertar sobre posibles riesgos y optimizar los procesos de ahorro, reúso, reciclaje y depuración.
- **Drones:** se utilizan para realizar tareas de inspección, vigilancia, muestreo, análisis y control del uso, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua, para verificar su eficiencia, su seguridad, su calidad y su impacto ambiental. Los drones pueden acceder a zonas de difícil acceso, reducir los tiempos y los costes de las operaciones, mejorar la precisión y la calidad de los datos, y prevenir o mitigar situaciones de emergencia, como contaminaciones, vertidos o incumplimientos.

- **Inteligencia artificial:** se utiliza la IA para procesar y analizar los datos provenientes del uso, la reutilización, el reciclaje y la devolución del agua, para generar modelos, predicciones, recomendaciones y acciones que mejoren la eficiencia, la seguridad, la calidad y la sostenibilidad del uso, reutilización, el reciclaje y la devolución del agua. La inteligencia artificial también se puede utilizar para automatizar y optimizar los procesos de ahorro, reúso, reciclaje y depuración, como el control de la demanda, el consumo, el reúso, el reciclaje y la calidad del agua devuelta.

- **Big data:** se utiliza para obtener información valiosa sobre el uso, el ahorro, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua, así como para identificar patrones, tendencias, oportunidades y desafíos en la gestión del uso, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua.

- **Blockchain:** puede facilitar la trazabilidad, la auditoría, la certificación y el control del reúso, el reciclaje y la devolución del agua, así como promover la colaboración, la confianza, la participación y la transparencia entre los usuarios, los operadores, las autoridades y la sociedad civil.

- **Internet de las cosas:** se utiliza para crear sistemas inteligentes que se adapten a las condiciones y a las necesidades del uso, el ahorro, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua, y que permitan una gestión remota, integrada y automatizada de los sistemas.

- **Realidad aumentada:** puede facilitar la visualización, la identificación, la localización y la interacción con los elementos de los sistemas de uso, reúso, reciclaje y devolución del agua. La realidad aumentada también puede ayudar a concienciar, educar y sensibilizar a la población sobre la importancia del uso responsable, el ahorro, el reúso, el reciclaje y la devolución del agua, así como de mostrar los beneficios ambientales, sociales y económicos que conllevan estas prácticas.



» La digitalización del ciclo del agua no es solo una cuestión técnica o tecnológica, sino que implica también la consideración de aspectos sociales, institucionales, legales y financieros

Por tanto, la digitalización del ciclo del agua ofrece múltiples beneficios e impactos, tales como:

- Mejorar el conocimiento y la predicción del ciclo hidrológico, mediante la monitorización en tiempo real y la modelización de los fenómenos meteorológicos, hidrológicos e hidrogeológicos.
- Optimizar la planificación y la gestión de los recursos hídricos, mediante la integración de datos de diferentes fuentes, escalas y sectores, y el uso de herramientas de análisis, simulación y optimización.
- Incrementar la eficiencia y la sostenibilidad del uso del agua, mediante la automatización y el control de los procesos de captación, distribución, tratamiento, reutilización y vertido del agua, y la implementación de medidas de ahorro, reducción de pérdidas y mejora de la calidad.
- Potenciar la participación y la transparencia en la gobernanza del agua, mediante la creación de plataformas digitales que faciliten el acceso, la difusión y el intercambio de información entre los actores involucrados, y la generación de espacios de colaboración, consulta y rendición de cuentas.
- Crear, impulsar y desplegar una industria enfocada a desarrollar tecnologías y mercados estratégicos en torno a la digitalización del ciclo del agua, a través de medidas de política industrial y de innovación coordi-

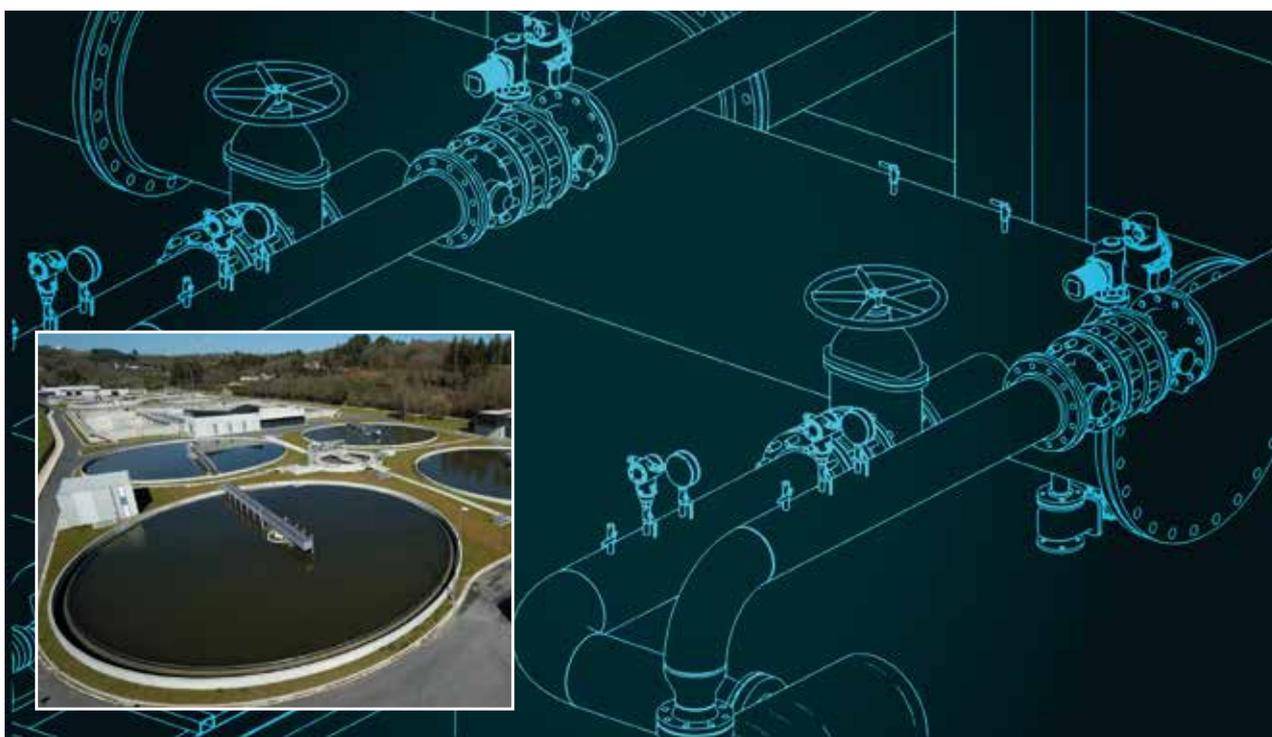
nadas, en el contexto de la nueva política industrial.

- Promover nuevas tendencias tecnológicas en el sector del agua y en otros sectores adyacentes en línea con la transición verde y digital, y la economía circular.

EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS EN LA DIGITALIZACIÓN DEL CICLO DEL AGUA

La digitalización del ciclo del agua no es solo una cuestión técnica o tecnológica, sino que implica también la consideración de aspectos sociales, institucionales, legales y financieros que deben ser abordados de manera integral y coordinada. El papel del sector público es fundamental para diseñar e implementar políticas industriales y de innovación que favorezcan la adopción y el aprovechamiento de las tecnologías digitales para la gestión del agua.

En este sentido, la digitalización del ciclo del agua no solo implica el uso de tecnologías innovadoras, sino también la definición e implementación de políticas públicas que faciliten y fomenten este proceso, y que aseguren que sus beneficios sean compartidos por todos los actores involucrados en el sector del agua. Estas políticas públicas deben tener en cuenta los diferentes niveles y dimensiones de la gestión del agua, desde lo local a lo global, y desde lo técnico a lo social, y deben promover la colaboración, la transparencia, la participación y la rendición de cuentas en el sector.



La IA permite mejoras en la eficiencia energética y en la eficacia de las EDAR.



» La digitalización del ciclo del agua ofrece grandes oportunidades y beneficios para la gestión y el aprovechamiento sostenible del agua

De este modo, es un proceso que requiere de una visión estratégica, una coordinación intersectorial, una inversión continua y sistemática, una regulación adecuada, una capacitación permanente, una participación ciudadana y una evaluación constante, para garantizar su viabilidad, eficacia y sostenibilidad, y para maximizar su contribución al bienestar social.

En esta línea, el Gobierno español puso en marcha el PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua para transformar y modernizar los sistemas de gestión del agua en España en el ciclo urbano, así como en el regadío y la industria, que movilizará en inversión público-privada más de 3.000 millones de euros hasta 2026. Por su parte, las agencias públicas de agua regionales son actores clave en este proceso, ya que tienen la responsabilidad de proveer servicios de agua potable y saneamiento, así como de regular y supervisar el uso del agua en sus territorios.

En este contexto, Novadays (www.novadays.eu) trabaja apoyando a los gobiernos en sus políticas y procesos de digitalización del ciclo del agua. En concreto, ha puesto en marcha para Augas de Galicia, agencia pública del agua dependiente de la Consellería de Infraestructuras e Mobilidade de la Xunta de Galicia, una oficina técnica para gestionar su política pública en este ámbito, en todos los procesos de programación, instrumentación y ejecución de inversiones.

Este apoyo se materializa en Innovaugas 4.0 Inicio | Innovaugas (xunta.gal), que recibió el premio de la Comisión Europea a la mejor iniciativa pública en el sector del agua en los galardones Water Europe Innovation 2022. Un proyecto de compra pública innovadora promovido por Augas de Galicia, que tiene como objetivo la gestión integrada avanzada de las aguas para optimizar los recursos hídricos y dar respuesta a largo plazo a las demandas de los diferentes usos del agua, en equilibrio con el medio natural y los ecosistemas fluviales, respetando el logro de los objetivos medioambientales establecidos para las masas de agua y atendiendo a los nuevos escenarios determinados por el cambio climático. Innovaugas 4.0 se articula sobre los siguientes ejes:

- Eje 1 – Mejora e innovación en la gestión de los recursos hídricos y el medio ambiente.
- Eje 2 – Aumento de la resiliencia al cambio climático.
- Eje 3 – Incorporación del modelo de economía circular a la gestión del ciclo integral del agua.

Se están obteniendo resultados muy importantes en el proyecto, mejorando significativamente la digitalización del ciclo del agua mediante:

- Uso de la IA para una implantación completa de la automatización de procesos y poder tomar decisiones de forma anticipada.
- Sensorización de cuencas y pantanos y explotación de todos los datos mediante inteligencia artificial para prevenir inundaciones y sequías, integrando de forma automática la meteorología en el ciclo del agua.
- Información en tiempo real de los distintos parámetros de los recursos hídricos.
- Digitalización de las plantas de tratamiento de agua con el objetivo de reducir los consumos de energía.
- Aplicación de la inteligencia artificial con impactos y mejoras en la eficiencia energética y en la eficacia depuradora de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

CONCLUSIONES

La digitalización del ciclo del agua es una realidad y una tendencia que ofrece grandes oportunidades y beneficios para la gestión y el aprovechamiento sostenible del agua.

No es fenómeno nuevo, sino que se ha venido desarrollando desde hace varias décadas, con el avance de las TIC y la creciente demanda de información y conocimiento sobre el agua. Sin embargo, en los últimos años, la digitalización ha cobrado un mayor impulso, debido a la emergencia climática, la crisis sanitaria, la presión demográfica y la transformación digital de la sociedad, con la aparición de tecnologías disruptivas y emergentes clave que están optimizando los procesos de captación, tratamiento, transporte, distribución, uso, reutilización, reciclaje y devolución del agua. Estos factores han generado una mayor conciencia y necesidad de innovar, permitiendo adaptarse a los cambios y desafíos del ciclo del agua.

En este contexto, el papel del sector público es fundamental y prioritario. Y, en concreto, es necesario diseñar e implementar nuevas políticas industriales y de innovación, de manera coordinada con los agentes sociales, que favorezcan la adopción y el aprovechamiento de las tecnologías digitales para la gestión de los recursos hídricos. 