

4. Inteligencia artificial en empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL *

CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**

ESTEBAN MARTÍNEZ DÍAZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.04>

Resumen

Las empresas innovadoras de servicios públicos de agua se han vuelto más competitivas gracias a las tecnologías digitales que continúan revolucionando y mejorando su desempeño. Al aprovechar el poder de la inteligencia artificial y el internet de las cosas, las empresas de gestión del agua utilizan datos para mejorar la prestación de servicios, optimizar sus inversiones de capital y reducir los costos operativos. Este trabajo examinó el uso de la inteligencia artificial en las empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos *ProQuest*, *Scopus*, *Nature*, *WATERnetBASE* y *Water*, en los que se obtuvo un total de 43 documentos. De estos 37 fueron seleccionados para el análisis en función de su validez de contenido y relevancia para el tema. Los hallazgos muestran que el uso de inteligencia artificial por parte de las empresas de servicios públicos de agua mejora la competitividad al optimizar los sistemas de apoyo a las decisiones, la inteligencia y los procesos comerciales. Los algoritmos de inteligencia artificial

* Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

*** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-01141>

permiten a las empresas de agua mejorar la previsión y prevenir emergencias, mejorar la eficiencia energética y desarrollar sistemas de agua inteligentes.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, servicios públicos de agua, gestión del agua, competitividad empresarial, internet de las cosas.*

Introducción

Antecedentes, significado y alcance del estudio

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática que simula comportamientos inteligentes en sistemas informáticos, lo que les permite interpretar datos y responder a eventos sin intervención humana. En el contexto de la gestión del agua, la IA se aplica principalmente a las tareas clave, como la gestión de fugas, el control del flujo, el consumo derrochador y la contaminación, y la toma de decisiones estratégicas (Gosavi *et al.*, 2017; Hemdan *et al.*, 2023). El uso de IA está transformando el negocio de los servicios públicos de agua de modelos tradicionales a un nuevo cambio de paradigma conocido como Modelado Hidráulico 2.0 (Jenny *et al.*, 2020). Según el nuevo modelo, diversas tareas, como la conservación de las fuentes de agua, la recolección del agua, la planificación y la distribución, están sujetas a un sistema inteligente que permite a los responsables de la toma de decisiones identificar problemas dentro del sistema y responder a tiempo (Jenny *et al.*, 2020). El uso de IA también ha sido eficaz para reducir las pérdidas atribuidas a frecuentes fugas de agua, uso excesivo y contaminación, conexiones deficientes y uso de agua no contabilizado.

Este documento extrae su importancia del hecho de que la digitalización de la gestión del agua es más una necesidad que una formalidad. La gestión del agua es un sistema complicado que debe satisfacer las demandas de los consumidores, mantener el suministro y la seguridad del agua y monitorear incesantemente la condición de los activos de distribución de agua. El incumplimiento de cualquiera de estas obligaciones puede generar pér-

didadas masivas, interrupciones no planificadas del servicio y daños a la imagen corporativa (Hemdan *et al.*, 2023). Las empresas de gestión del agua ya no pueden ignorar el impacto de la tecnología, especialmente las soluciones de IA, en la mejora de sus servicios y el aumento de la eficiencia operativa (Gosavi *et al.*, 2017). Este artículo se basa en evidencia de estudios anteriores para explicar cómo el uso de la IA entre las empresas administradoras de agua mexicanas se ha convertido en un factor competitivo. El documento explica cómo el uso de la IA hace que las empresas de gestión del agua sean más competitivas que sus contrapartes que todavía están estancadas en los modelos tradicionales. La información obtenida de este documento permitirá a las empresas de gestión del agua en México y en todo el mundo mejorar sus servicios y eficiencia operativa utilizando las soluciones de IA sugeridas. Esto debido a que los datos científicos pueden funcionar como insumo para políticas públicas que aceleren el desarrollo sostenible.

Las secciones principales del documento incluyen una introducción, metodología, resultados, discusión y conclusión. La sección de introducción examina los antecedentes, el alcance y la importancia del tema, analiza las empresas de servicios públicos de agua en México y ofrece un marco de sistemas inteligentes utilizado por las empresas de gestión del agua para optimizar sus operaciones y servicios. La sección de metodología explica los métodos utilizados en la recopilación y el análisis de datos. La sección de resultados mostrará una tabla que contiene resúmenes de los artículos y descripciones de los hallazgos. La sección de discusión proporciona un análisis detallado de los hallazgos, mientras que la conclusión resume los argumentos clave presentados en el documento. Si bien el documento se limita a la evidencia y los argumentos obtenidos de estudios anteriores, se han tomado varias medidas para evitar generalizaciones que puedan afectar la confiabilidad y validez general del estudio.

Empresas de agua en México

El negocio de servicios públicos de agua en México ha estado creciendo constantemente con un mayor consumo. Alrededor del 75% de los ingresos por agua provienen de unos 100 000 clientes en todo el país (Ablanedo-Ro-

sas *et al.*, 2020). Si bien el consumo residencial sigue siendo el mayor, representa una pequeña porción de los ingresos generados por las empresas de servicios públicos de agua (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). México tiene más de 2 400 proveedores de agua municipales, todos administrados por el estado. Hay empresas de servicios públicos más grandes que brindan agua a más de 40 ciudades grandes en todo el país (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). Hay alrededor de 15 ciudades que requieren un suministro especial de agua debido a su gran población (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). El mercado de suministro de agua también está abierto a empresas privadas que han hecho bien en resolver varios problemas que afectan al sector del agua. Los principales reguladores de las empresas de gestión del agua incluyen la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). La Conagua regula tanto a nivel nacional como regional.

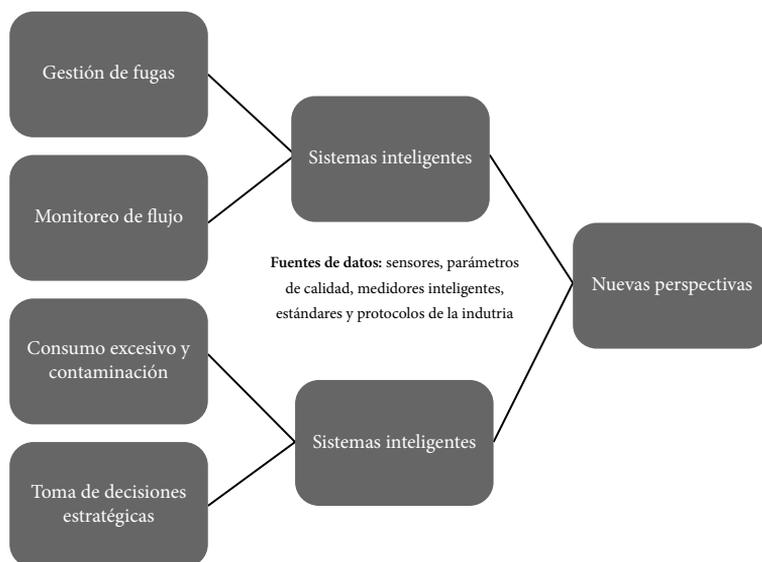
Si bien se han logrado varios logros, las empresas de servicios públicos de agua aún enfrentan varios desafíos, incluida la escasez de agua, la baja calidad del servicio, el envejecimiento de los activos de distribución, las fugas frecuentes y la pérdida masiva de agua, y la baja eficiencia técnica y comercial (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020; Saiteja y Ponnappalli, 2023). La escasez de agua en México es muy frecuente en las partes norte y central del país (Walker *et al.*, 2015). Estas áreas pueden requerir esfuerzos adicionales, incluido el tratamiento y reutilización de aguas residuales para aumentar el suministro. Todavía hay una gran cantidad de agua que no se contabiliza incluso después de que los registros demuestren que se realizó el suministro (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). Además, la adopción de las últimas tecnologías, como la IA, aún está rezagada entre las empresas de servicios públicos (Saiteja y Ponnappalli, 2023). Las pocas empresas de servicios públicos que habían adoptado la IA han sido testigos de beneficios significativos, incluida una reducción de las pérdidas atribuidas a ineficiencias técnicas y comerciales deficientes.

Marco de sistemas inteligentes

El tipo de IA necesaria para la gestión eficiente del agua debe diseñarse para métodos numéricos con calibración y campos de datos. Supervisión de Con-

trol y Adquisición de Datos (SCADA) es la IA preferida utilizada por las empresas de gestión del agua para monitorear su sistema de distribución de agua, monitoreo de flujo y consumo derrochador (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). Un marco típico de sistemas inteligentes se muestra a continuación en la figura 1. Las secciones principales del marco incluyen las tareas clave de toma de decisiones, los sistemas inteligentes y nuevos conocimientos. Las tareas clave para la toma de decisiones incluyen la gestión de fugas, el control del flujo, el consumo derrochador y la contaminación, y la toma de decisiones estratégicas (Jenny *et al.*, 2020). Los datos que respaldan este marco se obtienen de varias fuentes, incluidos sensores, medidores inteligentes, parámetros de calidad y estándares y protocolos de la industria.

Figura 1. Aprovechamiento de los sistemas inteligentes para mejorar la gestión de los recursos hídricos



Nota: Adaptado de Main Components of a Network Analysis System, Including Hydraulic Modeling 2.0 Functionalities, H. Jenny *et al.* (2020).

Metodología

El método de investigación seleccionado para este estudio es una revisión sistemática de la literatura. El método fue elegido porque es integral, preciso al establecer los resultados, explícito en los métodos y fácil de reproducir en estudios posteriores. La revisión sistemática es adecuada cuando los investigadores buscan respuestas específicas de sus fuentes (Dela Cruz *et al.*, 2017). Por ejemplo, los investigadores pueden usar revisiones sistemáticas para determinar si una intervención específica está relacionada con un resultado determinado (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). La revisión sistemática también es exhaustiva tanto en el alcance como en la calidad de la evidencia. Dado que los investigadores obtienen datos de un gran conjunto de datos, es más lógico sacar conclusiones razonables basadas en los hallazgos. Los métodos utilizados suelen ser específicos, claramente planificados y fáciles de repetir en estudios posteriores (Dela Cruz *et al.*, 2017). Si hay un problema en los resultados finales, los investigadores pueden rastrear fácilmente los pasos y hacer las correcciones necesarias.

Formulación de pregunta

Los investigadores eligieron un enfoque exploratorio para desarrollar una pregunta de investigación adecuada. El primer paso consistió en revisar el tema y las cuestiones que lo rodean. En este caso, el tema de investigación se centró en el uso de la IA como factor de competitividad entre las empresas gestoras de agua en México. Los investigadores también exploraron cuestiones relacionadas con el tema que pueden influir en los resultados. El segundo paso consistió en investigar el tema para identificar posibles lagunas que la investigación abordaría. Esto fue esencial porque el papel principal de la investigación es crear nueva información y apoyar el crecimiento de la alfabetización informacional. Como último paso se examinó las necesidades de la audiencia y cómo se pueden incorporar a la pregunta de investigación final. La pregunta formulada quedó así: “¿Cómo las empresas administradoras de agua en México utilizan la IA como factor competitivo?”. La pregunta capturó el objetivo principal de la investigación que es deter-

minar el uso de la IA como factor competitivo entre las empresas administradoras de agua en México.

Selección y análisis de fuentes

La búsqueda booleana y el muestreo de bola de nieve se utilizaron para identificar y seleccionar las fuentes utilizadas en el estudio. La búsqueda booleana implica el uso de palabras clave para buscar estudios anteriores disponibles en bases de datos en línea como *ProQuest*, *Scopus*, *Nature*, *WATERnetBASE* y *Water*. La búsqueda booleana fue el método principal utilizado para obtener más del 80% de todos los estudios utilizados en el documento. El muestreo de bola de nieve implica utilizar las referencias en los estudios seleccionados para encontrar recursos adicionales (Nickum *et al.*, 2020). Esto solo es necesario cuando la búsqueda booleana no puede recuperar todas las fuentes requeridas. El muestreo de bola de nieve se utilizó para obtener alrededor del 20% de las fuentes utilizadas en el estudio. En total, se seleccionaron 40 estudios anteriores para el análisis en función de su validez de contenido, relevancia para el tema, año de publicación y nivel de evidencia.

Análisis de los datos

Se obtuvieron un total de 43 documentos de varias bases de datos en línea. De estos, se seleccionaron un total de 37 para su posterior análisis y discusión. Los resultados resumidos que contienen los principales hallazgos de cada artículo se muestran en la tabla que se muestra a continuación. La tabla también indica evidencia suficiente para respaldar el uso de la IA como factor competitivo por parte de las empresas administradoras de agua en México. Dado que los datos se obtienen de varios artículos, los investigadores pudieron determinar la consistencia general entre los investigadores y las áreas en las que los investigadores parecían diferir. Los puntos de diferenciación entre los investigadores pueden proporcionar direcciones para futuros estudios sobre el tema.

Resultados

La siguiente tabla muestra los 37 estudios anteriores: 36 artículos de revistas y 1 libro. Se seleccionó un modelo narrativo para la exhibición porque brinda respuestas a la pregunta de investigación. Dado que la pregunta de investigación se centró en los aspectos competitivos de la aplicación de IA en la gestión del agua, un modelo narrativo ayuda a proporcionar respuestas detalladas a la pregunta. Se habría adoptado un enfoque diferente, como el análisis de regresión, si la pregunta de investigación exigiera una respuesta numérica.

Tabla 1. *Estudios seleccionados*

<i>Número</i>	<i>Autores y fecha</i>
1	Mounce <i>et al.</i> (2015).
2	Wu <i>et al.</i> (2015)
3	Karwot <i>et al.</i> (2016)
4	Dela Cruz <i>et al.</i> (2017)
5	Gosavi <i>et al.</i> (2017)
6	Howell <i>et al.</i> (2017)
7	Nguyen <i>et al.</i> (2017)
8	Satiya <i>et al.</i> (2017)
9	Radhakrishnan y Wu (2018)
10	Al Aani <i>et al.</i> (2019)
11	Dogo <i>et al.</i> (2019)
12	Jha <i>et al.</i> (2019)
13	Kamienski <i>et al.</i> (2019)
14	Sun y Scanlon (2019)
15	Antzoulatos <i>et al.</i> (2020)
16	Goralski y Tan (2020)
17	Gupta <i>et al.</i> (2020)
18	Jenny <i>et al.</i> (2020)
19	Nickum <i>et al.</i> (2020)
20	Ray y Goswami (2020)
21	Vinod Kumar <i>et al.</i> (2020)
22	Al Masum y Al Noman (2021)
23	Blessy (2021)

24	Mounce (2021)
25	Rahaman y Jamil (2021)
26	Sharma <i>et al.</i> (2021)
27	Singh y Ahmed (2021)
28	Xiang <i>et al.</i> (2021)
29	Yasin <i>et al.</i> (2021)
30	Ashwini <i>et al.</i> (2022)
31	Bhardwaj <i>et al.</i> (2022)
32	Hassan <i>et al.</i> (2022)
33	Krishnan <i>et al.</i> (2022).
34	Lowe <i>et al.</i> (2022)
35	Zekri <i>et al.</i> (2022)
36	Akkem <i>et al.</i> (2023)
37	Zeng <i>et al.</i> (2023)

Discusión

Reducción del agua no contabilizada

El estudio examinó cómo las empresas de gestión de agua en México utilizan la IA como factor competitivo. La pregunta que se hizo fue: “¿Cómo las empresas administradoras de agua en México utilizan la IA como factor competitivo?”. El estudio encontró que la IA promueve la competitividad al reducir las pérdidas atribuidas a una responsabilidad deficiente, satisfacer las demandas de los consumidores, participar en el monitoreo de activos y mantener la seguridad del agua (Mounce *et al.*, 2015; Karwot *et al.*, 2016). La IA permite a las empresas de gestión del agua detectar problemas en sus sistemas y responder a tiempo (Wu *et al.*, 2015; Dela Cruz *et al.*, 2017). Dado que la mayoría de las empresas de gestión del agua tienen activos de distribución de agua antiguos, el riesgo de fugas es muy alto (Dela Cruz *et al.*, 2017). La IA realiza un seguimiento regular del sistema e informa sobre posibles problemas dentro de las tuberías de distribución (Mounce *et al.*, 2015). Esto permite a las empresas de gestión del agua prevenir emergencias que pueden provocar interrupciones frecuentes de los servicios (Gosavi *et al.*, 2017). La IA mejora la competitividad al reducir el agua no contabilizada, optimizar el apoyo a las decisiones y optimizar los procesos comerciales. Los detalles sobre los hallazgos se discuten a continuación.

El agua no contabilizada es uno de los principales efectos de la mala gestión entre las empresas de gestión del agua y representa alrededor del 20% tanto de los ingresos como de la pérdida de agua (Gosavi *et al.*, 2017). Según Kamienski *et al.* (2019), el agua no contabilizada puede ser causado por muchos factores, incluidos medidores rotos o manipulados, mala lectura del medidor, cálculos inexactos y mantenimiento deficiente de registros, y robo de agua. Otras posibles causas de agua no contabilizada son las tuberías rotas y las fugas frecuentes (Wu *et al.*, 2015). El término “no contabilizado” indica que los registros de suministro no se corresponden con los registros de ingresos (Satiya *et al.*, 2017). En otras palabras, la empresa de gestión del agua ha suministrado más agua que los ingresos generados en el mismo período. El agua no contabilizada impacta la competitividad de las empresas de gestión del agua al negarles la compensación que necesitan por sus servicios (Dela Cruz *et al.*, 2017). Sin ingresos, también se vuelve difícil para las empresas de gestión del agua competir de manera efectiva y superar los desafíos potenciales en el mercado.

El uso de IA resuelve el problema al eliminar varias complejidades de la conexión en tiempo real a los sistemas digitales de la empresa de gestión del agua. El uso de IA proporciona una infraestructura digital, incluidos medidores y sensores inteligentes (Wu *et al.*, 2015; Singh y Ahmed, 2021). Los medidores y sensores inteligentes se pueden clasificar en términos generales en el IoT que va junto con el sistema de IA. El IoT es compatible con el sistema de IA mediante la recopilación de los datos necesarios para determinar los posibles problemas en las tuberías de conexión o medidores. Según Goralski *et al.* (2020), el enfoque numérico de la IA bajo SCADA también realiza los cálculos matemáticos necesarios para evaluar el estado de las tuberías de conexión y los medidores inteligentes, brindando informes en tiempo real. Esto permite a los tomadores de decisiones abordar rápidamente los problemas identificados y prevenir pérdidas (Howell *et al.*, 2017; Xiang *et al.*, 2021). Al identificar posibles problemas con la medición o la conexión, el uso de la IA permite a las empresas de gestión del agua evitar pérdidas atribuidas a medidores manipulados, lecturas deficientes o robos directos.

En México, las empresas de gestión del agua atienden a grandes poblaciones y tienen que lidiar con grandes cantidades de datos en un momento

dato. La mayoría de las empresas de gestión de agua del país miden su competitividad por su capacidad para procesar datos en tiempo real y tomar decisiones adecuadas (Al Aani *et al.*, 2019). El uso de IA mejora la capacidad de evaluar el desempeño de la infraestructura de distribución de agua utilizando grandes conjuntos de datos en tiempo real (Dogo *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta la duración limitada que las empresas de gestión del agua pueden tener para evitar interrupciones de emergencia, la tecnología de IA se convierte en una necesidad importante. Las herramientas de IA como SCADA están diseñadas para procesar grandes cantidades de datos y tomar las medidas adecuadas incluso sin intervención humana (Kamienski *et al.*, 2019). Por ejemplo, cada vez que hay una fuga, la IA comprende la válvula específica o la línea de distribución que debe cerrarse rápidamente para evitar la pérdida de agua y de ingresos.

Las empresas de gestión del agua también evalúan su competitividad en función de su capacidad para aprovechar eventos pasados para prevenir problemas futuros. Los eventos pasados ofrecen lecciones importantes que pueden ayudar a las empresas de gestión del agua a mejorar sus servicios y cumplir con las normas y estándares de la industria (Sun *et al.*, 2019). Los algoritmos de IA se basan en patrones como los volúmenes de agua para identificar eventos específicos que condujeron a rupturas de tuberías o interrupciones de sensores anteriores (Dogo *et al.*, 2019). Por ejemplo, algunos de los eventos, como las roturas de tuberías, ocurren durante las estaciones lluviosas cuando hay una gran cantidad de agua fluyendo a través de las tuberías. La presión ejercida por el aumento del volumen de agua puede provocar la explosión de la tubería y la posibilidad de interrupciones en el suministro de agua (Satiya *et al.*, 2017; Xiang *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA son capaces de identificar patrones asociados a eventos particulares y recomendar acciones adecuadas para prevenir pérdidas (Goralski y Tan, 2020). Esto hace que las empresas de gestión del agua sean más competitivas a la hora de detectar problemas en sus sistemas y resolverlos rápidamente sin causar interrupciones innecesarias y evitables.

La IA también ha mostrado un éxito significativo al comparar las estimaciones de agua no contabilizada bajo los algoritmos de IA y las producidas bajo los métodos tradicionales. La comparación simultánea permite a las empresas de gestión del agua determinar la cantidad de agua y los ingre-

sos que perderían con las prácticas convencionales y los que pierden con la tecnología de IA (Antzoulatos *et al.*, 2020). Ser una empresa de gestión del agua competitiva se basa en la capacidad de la organización para prevenir pérdidas en los ingresos y el agua (Kamienski *et al.*, 2019; Goralski y Tan, 2020). Se desaconsejan mucho las pérdidas en el agua por los efectos negativos que puede tener sobre el medio ambiente (Gupta *et al.*, 2020). Al ser un bien escaso, especialmente en el norte y centro de México, el agua debe protegerse del uso excesivo y el desperdicio innecesarios (Howell *et al.*, 2017; Krishnan *et al.*, 2022). Las empresas de gestión de agua ubicadas en las partes norte y central de México tienen la responsabilidad adicional de convertir las aguas residuales en productos significativos, incluida agua limpia y segura para uso doméstico (Rahaman y Jamil, 2021). La prevención de pérdidas es parte de la estrategia general para conservar el agua mientras se fomenta el consumo responsable y responsable.

El agua no contabilizada es uno de los indicadores clave de rendimiento que utilizan las empresas de gestión del agua para medir su rendimiento y su capacidad para cumplir con los estándares y protocolos de la industria. Según Hasan *et al.* (2022), mantener el agua no contabilizada muy bajo es una fuerte medida de competitividad porque demuestra la capacidad de una organización para operar con un desperdicio y un costo mínimos (Gupta *et al.*, 2020). Las soluciones de IA lo hacen posible al permitir que las organizaciones de gestión del agua detecten problemas dentro de los sistemas, incluidos medidores alterados o lecturas deficientes, y tomen medidas inmediatas para evitar pérdidas (Sun *et al.*, 2019). Las empresas de gestión del agua también realizan comparaciones para determinar las pérdidas potenciales que pueden generar bajo métodos convencionales en comparación con las plataformas digitales (Howell *et al.*, 2017). La capacidad de prevenir pérdidas y posibles interrupciones en los servicios es una medida significativa de la competitividad entre las empresas de gestión del agua (Sharma *et al.*, 2021). Además, la construcción de un sistema de gestión del agua sólido y eficaz permite a las empresas de gestión del agua cumplir con los requisitos de los estándares y protocolos de regulación de la industria actual.

Optimización del soporte de decisiones

Los sistemas de soporte de decisiones son herramientas que permiten a los tomadores de decisiones analizar datos y emitir juicios efectivos. Un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) eficiente permite a las empresas de gestión del agua evitar pérdidas al sellar las lagunas potenciales que permiten el fraude y las pérdidas (Jenny *et al.*, 2020). El uso de IA optimiza el sistema de soporte de decisiones mediante el uso de una función objetivo numérica (Satiya *et al.*, 2017). La IA analiza big data y entrena a las computadoras para identificar desafíos dentro del sistema y sugerir formas en que se pueden resolver los problemas (Mounce, 2021). Los sensores, por ejemplo, brindan información sobre el suministro de agua y si hay un aumento o disminución del volumen según los patrones climáticos (Goralski y Tan, 2020). Los algoritmos de IA realizan tanto análisis de observabilidad como análisis operativos para identificar problemas en tiempo real y sugerir soluciones a los responsables de la toma de decisiones (Nguyen *et al.*, 2017). Esto permite a las empresas de servicios públicos de agua evitar posibles interrupciones en sus servicios y mejorar su imagen corporativa ante los clientes.

La IA apoya las decisiones al optimizar el diseño de las redes de monitoreo y control. Uno de los retos que enfrentan las empresas gestoras de agua son las frecuentes fallas en sus redes de monitoreo y control (Antzoulatos *et al.*, 2020). Con base en la alta demanda de agua y una gran cantidad de clientes que reciben servicios, las posibilidades de perder sensores o recopilar datos inadecuados son altas entre las empresas que dependen de métodos de monitoreo y control convencionales (Jenny *et al.*, 2020; Hassan *et al.*, 2022). Los algoritmos de IA proporcionan criterios específicos para definir la ubicación de todos los sensores dentro de la red (Dogo *et al.*, 2019). Esto permite que la empresa de servicios de agua recopile el máximo de datos de sus sensores en toda la red. Los algoritmos también minimizan la necesidad de varias unidades de control ya que pueden monitorear todos los sensores desde una sola interfaz (Blessy, 2021). El uso de una única interfaz de monitoreo y control reduce el costo total de las operaciones y evita errores cometidos por juicios contradictorios obtenidos de diferentes unidades de control (Kamienski *et al.*, 2019). El uso de IA también prio-

riza la instalación de manómetros para reemplazar los costosos medidores de flujo.

Hay varios tipos de pérdida de agua e interrupciones del servicio que la mayoría de las empresas de gestión del agua pueden no entender o tener dificultades para abordar. La detección numérica de pérdidas de agua tanto físicas como aparentes sigue siendo un desafío importante para las empresas de gestión del agua (Gupta *et al.*, 2020). La IA resuelve el problema al asignar un grado de incertidumbre a los datos existentes para permitir el monitoreo en tiempo real del estado de la red (Sharma *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA también realizan una calibración probabilística de la red, que es más efectiva que la calibración determinista que sólo ocurre una vez en un punto determinado (Sun *et al.*, 2019). La calibración probabilística de la red permite a la empresa de gestión del agua determinar la pérdida real de agua que se ha producido en un período determinado (Satiya *et al.*, 2017).

La información también permite a la empresa de gestión del agua desarrollar soluciones más directas y prácticas al problema, en lugar de confiar en conjeturas (Hassan *et al.*, 2022). Al aprovechar el poder de la calibración probabilística de la red y el monitoreo en tiempo real, la IA mejora la competitividad al eliminar los errores comunes que pueden inducir a error a las empresas de gestión del agua a tomar decisiones inexactas.

El suministro de agua es una industria intensiva en energía y uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el uso de la IA está permitiendo a las empresas de gestión del agua reducir sus emisiones de carbono al reducir el consumo de energía en las instalaciones de bombeo y los tanques de almacenamiento (Alam *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA logran este hito al definir los procedimientos operativos más eficientes utilizando los estándares regulatorios y de la industria predeterminados (Lowe *et al.*, 2022). Las configuraciones predeterminadas tanto de las instalaciones de bombeo como de los tanques de almacenamiento también permiten que los algoritmos monitoreen el consumo de energía mientras eliminan los procesos que consumen energía excesiva (Dogo *et al.*, 2019). La tecnología de IA permite a las empresas de gestión del agua tomar decisiones oportunas, como el reemplazo de bombas, cambiar los contratos y tarifas de energía o aumentar la capacidad de alma-

cenamiento de agua (Bhardwaj *et al.*, 2022). Por ejemplo, una bomba envejecida puede convertirse en una fuente importante de consumo de energía, ya que necesita fuerza adicional para bombear agua a los destinos deseados (Akkem *et al.*, 2023). La IA también puede recomendar otros enfoques, incluido el reemplazo de motores de energía fósil con bombas de agua que funcionan con energía solar para reducir tanto el costo de la energía como las emisiones de carbono.

Los algoritmos de IA permiten a las empresas de gestión del agua clasificar con precisión los patrones de consumo y la previsión de la demanda. Según Zeng *et al.* (2023), el consumo de agua cambia a lo largo del año en función de las estaciones, el clima y las fluctuaciones en el número de usuarios. La clasificación de consumo permite a las empresas de gestión del agua identificar áreas específicas con demanda alta, media y baja (Jenny *et al.*, 2020). Las ciudades, por ejemplo, se encuentran entre las áreas de alta demanda donde se deben bombear millones de toneladas de agua todos los días para satisfacer las necesidades diarias (Zekri *et al.*, 2022). Las áreas rurales se clasifican principalmente entre las áreas de bajo consumo porque la mayoría de las personas han cavado pozos u obtenido agua de los ríos, océanos o mares cercanos (Satiya *et al.*, 2017). La tecnología de IA permite a las empresas de gestión del agua optimizar el sistema de distribución y desarrollar pronósticos precisos que eviten la escasez. La previsión adecuada también permite a las empresas de gestión del agua almacenar suficiente agua para la temporada de alta demanda (Antzoulatos *et al.*, 2020). Además, las previsiones a largo plazo permiten a las empresas de agua ampliar sus servicios con un riesgo mínimo de generación de pérdidas.

Las empresas de gestión del agua también deben comprender cómo las condiciones climáticas futuras y los escenarios económicos afectarán sus servicios. Por ejemplo, es más probable que el cambio climático presente varios desafíos, incluido un aumento de la escasez de agua en áreas que ya están experimentando escasez de agua (Antzoulatos *et al.*, 2020). Las empresas de gestión del agua deben desarrollar pasos estratégicos para construir un futuro que sea menos susceptible a los desafíos externos previsibles (Jenny *et al.*, 2020). Los algoritmos de IA pueden hacer coincidir con precisión los datos con eventos potenciales en escenarios económicos actuales y futuros (Al Aani *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2019). Esto permite a las empresas

de gestión del agua planificar pensando en el futuro. Por ejemplo, si hay partes de México que probablemente experimenten sequías significativas en las próximas décadas, las empresas de gestión del agua pueden planificar de manera efectiva mediante la construcción de embalses más grandes y plantas de recuperación de aguas residuales para impulsar los suministros futuros (Vinod Kumar *et al.*, 2020). La planificación orientada al futuro también es adecuada para superar la presión competitiva de los rivales, incluidos los nuevos participantes en el mercado.

La gestión del agua puede obtener el valor de sus inversiones de capital al reducir el costo de las operaciones mientras expande su base de ingresos. El uso de herramientas avanzadas de IA permite a las empresas de gestión del agua identificar las formas más eficientes de configurar sus operaciones comerciales a costos reducidos (Gupta *et al.*, 2020; Bhardwaj *et al.*, 2022). Las herramientas avanzadas de IA son capaces de identificar áreas potenciales donde la expansión comercial debe explotarse para generar más ingresos. Los algoritmos de IA dedicados están diseñados para ayudar a las empresas de gestión del agua a identificar expansiones de red alternativas (Dogo *et al.*, 2019). Esto puede incluir la exploración de pueblos donde el suministro de agua corriente es aún muy limitado. Las poblaciones urbanas y suburbanas de México cuentan con un suministro suficiente de agua corriente, pero se ha hecho muy poco para satisfacer las diversas necesidades de los pueblos (Bhardwaj *et al.*, 2022). Una de las expansiones potenciales puede incluir el tratamiento de aguas residuales para proporcionar agua para riego y nutrientes para productos agrícolas (Jha *et al.*, 2019). La población rural proporciona negocios potenciales para convertir las aguas residuales en productos útiles necesarios para el riego y otros servicios.

El monitoreo y la gestión de activos sigue siendo un desafío importante para la mayoría de las empresas de gestión del agua en México. Proteger los activos clave de distribución de agua de los daños físicos y químicos sigue siendo una de las principales prioridades entre las empresas de gestión del agua (Zeng *et al.*, 2023). Sin embargo, los recursos necesarios para la gestión eficiente de los activos siguen siendo esquivos para la mayoría de las empresas de gestión del agua (Yasin *et al.*, 2021; Zekri *et al.*, 2022). Según Yasin *et al.* (2021), la infraestructura crítica, como las tuberías de distribución de agua, puede ser dañada por humanos en los casos en que están

expuestas sobre el suelo o experimentan daños químicos debido al envejecimiento y otros factores ambientales. El uso de IA permite a las empresas de gestión del agua mapear los activos de distribución clave y los posibles desafíos que enfrentan (Satiya *et al.*, 2017). El uso de sensores permite que las empresas de agua identifiquen posibles problemas, como roturas, grietas o corrosión, y sugieran formas de abordar el problema (Alam *et al.*, 2021). La IA también puede sugerir áreas seguras donde se pueden construir futuras tuberías sin exponerlas a un peligro potencial en el entorno externo.

Optimización de procesos de negocio

La IA mejora y optimiza los procesos comerciales de muchas maneras, incluida la automatización, la inteligencia comercial, la gestión del conocimiento, la imagen corporativa y la ciberseguridad. La automatización de procesos es una de las principales características que la IA aporta a los negocios (Radhakrishnan y Wu, 2018). Las tareas que la IA puede automatizar incluyen la entrada de datos, la recopilación de datos, la programación de tareas, el procesamiento de nóminas, la copia de seguridad de archivos y el envío de recordatorios por correo electrónico. En la entrada de datos, por ejemplo, los sensores habilitados para IA recopilan datos de varias herramientas y equipos, incluidos tanques de almacenamiento, tuberías de agua, manómetros y cualquier otra herramienta de monitoreo y control (Sun *et al.*, 2019; Alam *et al.*, 2022). Al automatizar los procesos, la IA permite a las empresas de gestión del agua mejorar la eficiencia operativa y reducir el costo total de las operaciones (Ashwini *et al.*, 2022). La automatización de procesos también elimina errores y previene pérdidas que pueden ocurrir debido a errores en la recolección y análisis de datos (Dogo *et al.*, 2019; Jha *et al.*, 2019). Además, la automatización de procesos mejora la competitividad general de una organización al aumentar la productividad y el valor general derivado de cada inversión en el negocio.

La IA impulsa la inteligencia comercial a través de la integración, el pronóstico de tendencias y la visualización inteligente. La IA consolida datos de varias fuentes dentro e incluso fuera de la empresa de servicios públicos de agua (Al Aani *et al.*, 2019). Las fuentes de datos incluyen clientes, finanzas, operaciones, rivales en el mercado, marketing y agencias guber-

namentales (Xiang *et al.*, 2021). Los datos obtenidos de diversas fuentes permiten a la empresa realizar un seguimiento de las tendencias y determinar la capacidad para cumplir con los indicadores clave de rendimiento. Por ejemplo, si la empresa planea aumentar su base de clientes en un 20 por ciento durante los próximos cinco años, la IA puede desglosar el progreso en informes diarios y mensuales, colocando a la empresa en una mejor posición para realizar los ajustes oportunos necesarios para lograr el objetivo general. objetivos (Antzoulatos *et al.*, 2020; Yasin *et al.*, 2021). Los indicadores clave de rendimiento promueven la competitividad al ayudar a las empresas de gestión del agua a mapear el progreso de su negocio y hacer los ajustes necesarios para lograr sus objetivos.

Otros aspectos significativos de la inteligencia empresarial incluyen la visualización inteligente y la previsión de tendencias. La visualización inteligente implica la creación de gráficos, paneles y personal de operaciones que permitan a los gerentes mapear el progreso del negocio hacia el logro de los objetivos generales (Jenny *et al.*, 2020). El pronóstico de tendencias implica el análisis de datos para identificar relaciones entre tendencias y variables (Radhakrishnan y Wu, 2018). Por ejemplo, las empresas de gestión del agua pueden combinar datos sobre población y demanda para desarrollar pronósticos precisos sobre futuros patrones de consumo (Dogo *et al.*, 2019). El uso de algoritmos hace que el análisis de datos sea más preciso y completo al detectar patrones en los negocios y su influencia en las tasas de consumo (Ray y Goswami, 2020). La creación de una inteligencia empresarial sólida permite a las empresas de gestión del agua evitar desafíos en sus operaciones comerciales y lograr un crecimiento significativo de los ingresos (Nickum *et al.*, 2020). La inteligencia comercial permite a las empresas de gestión del agua mantenerse a la vanguardia al planificar de manera efectiva y responder rápidamente a los desafíos potenciales.

La IA juega un papel importante en la construcción de una gestión eficaz del conocimiento. Según Ablanedo-Rosas *et al.* (2020), la gestión del conocimiento implica recopilar, analizar y preservar los activos de datos de una organización. La gestión del conocimiento ayuda a construir una cultura y prácticas organizacionales sólidas (Al Aani *et al.*, 2019). Varios componentes de la plataforma de gestión del conocimiento de IA incluyen gestión de recursos humanos, colaboración e intercambio de conocimientos y plata-

formas de aprendizaje electrónico. La IA ayuda a evaluar e identificar las brechas de conocimiento entre los empleados y su impacto en los proyectos de la organización (Radhakrishnan y Wu, 2018). Una vez que se identifican las brechas de conocimiento, la IA puede programar capacitación regular en el trabajo para equipar a la fuerza laboral con las habilidades requeridas. El propósito de las plataformas de aprendizaje electrónico es permitir el aprendizaje continuo y el desarrollo de habilidades. Las empresas de gestión del agua deben capacitar a su fuerza laboral en diversos temas, nueva información y formas en que pueden superar diversos desafíos (Alam *et al.*, 2021). Cerrar las brechas de conocimiento también eleva la moral entre la fuerza laboral y los motiva a lograr varios objetivos comerciales.

La IA también se ha convertido en una herramienta esencial para construir una imagen corporativa poderosa y protegerse contra la ciberseguridad. La digitalización del suministro de agua también expone a varias empresas de gestión del agua a varios desafíos en el mercado (Gupta *et al.*, 2020; Hmoud Al-Adhaileh y Waselallah Alsaade, 2021). Uno de los desafíos más serios que pueden enfrentar las empresas de agua son los ataques cibernéticos. En 2021, por ejemplo, un grupo de ciberataques intentó envenenar el suministro de agua de California, exponiendo vulnerabilidades potenciales que deberían abordarse (Radhakrishnan y Wu, 2018; Dogo *et al.*, 2019). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos se movió rápidamente para prevenir futuros ataques cibernéticos en las instalaciones de agua sellando varias lagunas (Jha *et al.*, 2019). Los ciberataques siguen siendo una amenaza importante para las empresas de gestión del agua y deben someterse a una evaluación y mitigación periódicas. Las empresas de gestión del agua pueden confiar en la IA para identificar posibles debilidades dentro de su infraestructura de tecnología de la información y sugerir formas en las que se pueden abordar los desafíos (Ray y Goswami, 2020). Los algoritmos de IA también permiten un sistema de copia de seguridad automatizado que protege los archivos confidenciales de posibles daños en caso de ataques cibernéticos (Sun *et al.*, 2019; Antzoulatos *et al.*, 2020). La realización de actualizaciones periódicas del sistema también protege contra los ataques cibernéticos al reemplazar los paquetes de datos viejos o dañados que los ciberdelincuentes pueden usar para atacar el sistema de suministro y distribución de agua.

Conclusiones

Las empresas de gestión de agua en México están experimentando transformaciones digitales para minimizar el desperdicio, mejorar la productividad y reducir el costo de las operaciones. Como factor competitivo, el documento descubrió que el uso de IA permite a las empresas de gestión del agua reducir los desechos asociados con el agua no contabilizada, optimizar los sistemas de apoyo a las decisiones y optimizar la inteligencia comercial. Los algoritmos de IA se basan en patrones en las operaciones comerciales para identificar posibles problemas en las operaciones comerciales y sugerir soluciones adecuadas. Una de las ganancias competitivas claves encontradas en la investigación es la previsión y la prevención de emergencias. Las empresas de artículos están más acostumbradas a reaccionar ante emergencias que a desarrollar mecanismos de prevención eficaces. El uso de algoritmos de IA permite a las empresas de agua recopilar datos de sus grandes redes de distribución, identificar posibles debilidades en los sistemas y prevenir emergencias causadas por roturas de tuberías o escasez de agua. La IA logra pronósticos precisos al categorizar el consumo y analizar patrones para determinar duraciones anuales específicas en las que es probable que el consumo sea alto o bajo. Esto permite un suministro eficiente de agua y contribuye a construir una imagen corporativa positiva.

La IA habilita sistemas de agua inteligentes, prioriza la conservación y mejora la eficiencia energética. Los sistemas de agua inteligentes son una fuerte capacidad competitiva que permite a las compañías de agua evitar la pérdida de miles de millones de galones cada año. El envejecimiento de la infraestructura es una causa importante de fugas en las tuberías y pérdidas masivas de agua. Las estimaciones deficientes de la demanda de los consumidores también pueden conducir a casos en los que se consume una cantidad significativa de agua sin rendir cuentas. La naturaleza competitiva de las empresas de gestión del agua depende de su capacidad para evitar pérdidas, impulsar la producción, crear flujos de ingresos adicionales y diferenciar sus servicios del resto del mercado. La IA permite que las empresas de agua satisfagan las necesidades de sus clientes mediante la recopilación periódica de datos y el ajuste en función de las demandas. La IA también

maximiza la productividad al identificar oportunidades de crecimiento potencial que pueden impulsar los ingresos futuros. Al aprovechar el poder de la IA, las empresas de servicios públicos de agua también están en una mejor posición para cumplir con los estándares regulatorios y de la industria. La IA también ayuda a construir una infraestructura resistente que sea capaz de superar los desafíos climáticos y económicos.

Bibliografía

- Ablanedo-Rosas, J. H., Guerrero Campanur, A., Olivares-Benitez, E., Sánchez-García, J. Y., y Nuñez-Ríos, J. E. (2020). Operational efficiency of Mexican water utilities: results of a double-bootstrap data envelopment analysis. *Water*, 12(2), 553. <https://doi.org/10.3390/w12020553>
- Akkem, Y., Biswas, S. K., y Varanasi, A. (2023). Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>
- Al Aani, S., Bonny, T., Hasan, S. W., y Hilal, N. (2019). Can machine language and artificial intelligence revolutionize process automation for water treatment and desalination? *Desalination*, 458, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.005>
- Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., y Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130011>
- Alam, M. N., Shufian, A., Al Masum, M. A., y Al Noman, A. (2021, July). Efficient smart water management system using IoT technology. En *2021 International Conference on Automation, Control, and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACMI53878.2021.9528202>
- Antzoulatos, G., Mourtziotis, C., Stournara, P., Kouloglou, I. O., Papadimitriou, N., Spyrou, D., Mentas, A., Nikolaidis, E., Karakostas, A., Kourtesis, D. y Vrochidis, S. (2020). Making urban water smart: the Smart-Water solution. *Water Science and Technology*, 82(12), 2691-2710. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.391>
- Ashwini, B. P., Savithamma, R. M., y Sumathi, R. (2022, May). Artificial Intelligence in Smart city applications: An Overview. In *2022 6th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 986-993). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICCS53718.2022.9788152>
- Bhardwaj, A., Kumar, M., Alshehri, M., Keshta, I., Abugabah, A., y Sharma, S. K. (2022). Smart water management framework for irrigation in agriculture. *Environmental Technology*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2039783>
- Blessy, J. A. (2021, February). Smart irrigation system techniques using artificial intelligence and IoT. In *2021 Third International Conference on Intelligent Communication*

- Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)* (pp. 1355-1359). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICV50876.2021.9388444>
- Dela Cruz, J. R., Baldovino, R. G., Bandala, A. A., y Dadios, E. P. (2017, May). Water usage optimization of Smart Farm Automated Irrigation System using artificial neural network. In *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoICT.2017.8074668>
- Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., y Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. En F. Al-Turjman (Ed.), *Artificial intelligence in IoT* (pp. 129-150). Springer. <https://doi.org/10.2166/wpt.2012.089>
- Goralski, M. A., y Tan, T. K. (2020). Artificial intelligence and sustainable development. *The International Journal of Management Education*, 18(1), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100330>
- Gosavi, G., Gawde, G., y Gosavi, G. (2017, May). Smart water flow monitoring and forecasting system. En *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology (RTEICT)* (pp. 1218-1222). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256792>
- Gupta, A. D., Pandey, P., Feijóo, A., Yaseen, Z. M., y Bokde, N. D. (2020). Smart water technology for efficient water resource management: A review. *Energies*, 13(23), 6268. <https://doi.org/10.3390/en13236268>
- Hassan, A. M., Ayoub, M. A., Mohyadinn, M. E., Al-Shalabi, E. W., y Alakbari, F. S. (2022, March). A new insight into smart water assisted foam SWAF technology in carbonate rocks using artificial neural networks ANNs. En *Offshore Technology Conference Asia*. OnePetro. <https://doi.org/10.4043/31663-MS>
- Hemdan, E. E. D., Essa, Y. M., Shouman, M., El-Sayed, A., y Moustafa, A. N. (2023). An efficient IoT based smart water quality monitoring system. *Multimedia Tools and Applications*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14504-z>
- Hmoud Al-Adhaileh, M., y Waselallah Alsaade, F. (2021). Modelling and prediction of water quality by using artificial intelligence. *Sustainability*, 13(8), 4259. <https://doi.org/10.3390/su13084259>
- Howell, S., Rezgui, Y., y Beach, T. (2017). Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions. *Automation in Construction*, 81, 434-448. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.004>
- Jenny, H., Alonso, E. G., Wang, Y., y Minguez, R. (2020). Using artificial intelligence for smart water management systems. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/614891/artificial-intelligence-smart-water-management-systems.pdf>
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., y Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Kamienski, C., Soinenen, J. P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., y Torre Neto, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, 19(2), 276. <https://doi.org/10.3390/s19020276>

- Karwot, J., Kaźmierczak, J., Wyczółkowski, R., Paszkowski, W., y Przystalka, P. (2016, June). Smart water in smart city: a case study. En *Proceedings of SGEM 16th International Scientific Conference on EARTH/GEO SCIENCES*, book (Vol. 3, pp. 851-858). <https://doi.org/10.5593/sgem2016B31>
- Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chengoden, R., Koppu, S., Iyapparaja, M., Sadhasivam, J., y Sethuraman, S. (2022). Smart water resource management using Artificial Intelligence—A review. *Sustainability*, 14(20), 13384. <https://doi.org/10.3390/su142013384>
- Lowe, M., Qin, R., y Mao, X. (2022). A review on machine learning, artificial intelligence, and smart technology in water treatment and monitoring. *Water*, 14(9), 1384. <https://doi.org/10.3390/w14091384>
- Mounce, S. R. (2021). Data science trends and opportunities for smart water utilities. En A. Scozzari, S. Mounce, D. Han, F. Soldovieri, D. Solomatine (Eds.), *ICT for Smart Water Systems: Measurements and Data Science* (pp. 1-26). Springer. https://doi.org/10.1007/698_2020_482
- Mounce, S. R., Pedraza, C., Jackson, T., Linford, P., y Boxall, J. B. (2015). Cloud based machine learning approaches for leakage assessment and management in smart water networks. *Procedia Engineering*, 119, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.851>
- Nguyen, K. A., Sahin, O., Stewart, R. A., y Zhang, H. (2017, February). Smart technologies in reducing carbon emission: Artificial intelligence and smart water meter. En *Proceedings of the 9th International Conference on Machine Learning and Computing* (pp. 517-522). <https://doi.org/10.1145/3055635.3056566>
- Nickum, J. E., Kuisma, S., Bjornlund, H., y Stephan, R. M. (2020). Smart Water Management: the way to (artificially) intelligent water management, or just another pretty name? *Water International*, 45(6), 515-519. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1830581>
- Radhakrishnan, V., y Wu, W. (2018, June). IoT technology for smart water system. En *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)* (pp. 1491-1496). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00246>
- Rahaman, S. A., y Jamil, H. A. (2021). An Efficient Low-Cost Smart Water Monitoring System Based on the Internet of Things and Artificial Intelligence Techniques. En M. Elhoseny, K. Shankar y M. Abdel-Basset (Eds.), *Artificial Intelligence Applications for Smart Societies: Recent Advances* (pp. 33-47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63068-3_3
- Ray, A., y Goswami, S. (2020, February). IoT and cloud computing based smart water metering system. En *2020 International Conference on Power Electronics y IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)* (pp. 308-313). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PARC49193.2020.236616>
- Saiteja, S., y Ponnappalli, V. S. (2023). A review on smart water management in various domestic areas: an approach for water consumption and leakage perspectives. *International Journal of Critical Infrastructures*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.1504/IJ-CIS.2023.129063>

- Satiya, N., Varu, V., Gadagkar, A., y Shaha, D. (2017, July). Optimization of water consumption using dynamic quota based smart water management system. En *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070075>
- Sharma, A., Singh, P. K., Hong, W. C., Dhiman, G., y Slowik, A. (2021). Introduction to the Special Issue on Artificial Intelligence for Smart Cities and Industries. *Scalable Computing: Practice and Experience*, *22*(2), 89-91. <https://doi.org/10.12694/scpe.v22i2.1939>
- Singh, M., y Ahmed, S. (2021). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 5211-5218. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>
- Sun, A. Y., y Scanlon, B. R. (2019). How can Big Data and machine learning benefit environment and water management: a survey of methods, applications, and future directions. *Environmental Research Letters*, *14*(7), 073001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1b7d>
- Vinod Kumar, T. M., Mohammed Firoz, C., Bimal, P., Harikumar, P. S., y Sankaran, P. (2020). Smart water management for smart Kozhikode metropolitan area. En T. M. Vinod Kumar (Ed.), *Smart Environment for Smart Cities* (241-306). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6822-6_7
- Walker, D., Creaco, E., Vamvakeridou-Lyroudia, L., Farmani, R., Kapelan, Z., y Savić, D. (2015). Forecasting domestic water consumption from smart meter readings using statistical methods and artificial neural networks. *Procedia Engineering*, *119*, 1419-1428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1002>
- Wu, Z. Y., El-Maghraby, M., y Pathak, S. (2015). Applications of deep learning for smart water networks. *Procedia Engineering*, *119*, 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.870>
- Xiang, X., Li, Q., Khan, S., y Khalaf, O. I. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, *86*, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106515>
- Yasin, H. M., Zeebaree, S. R., Sadeeq, M. A., Ameen, S. Y., Ibrahim, I. M., Zebari, R. R., Khalil Ibrahim, R., y Sallow, A. B. (2021). IoT and ICT based smart water management, monitoring, and controlling system: A review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, *8*(2), 42-56. <https://doi.org/10.9734/AJRCOS/2021/v8i230198>
- Zekri, S., Jabeur, N., y Gharrad, H. (2022). Smart water management using intelligent digital twins. *Computing and Informatics*, *41*(1), 135-153. https://doi.org/10.31577/CAI_2022_1_135
- Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., y Tselykh, A. (2023). An IoT and Blockchain-based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, *40*(4), e12892. <https://doi.org/10.1111/exsy.12892>