

REALIDAD Y REFLEXIÓN ES UNA PUBLICACIÓN PERIÓDICA DE CARÁCTER SEMESTRAL DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA.
AÑO 24, N° 59, ENERO-JUNIO 2024. SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

REALITY AND REFLECTION IS A BIENNIAL PERIODICAL PUBLICATION OF THE FRANCISCO GAVIDIA UNIVERSITY.
YEAR 24, N° 59, JANUARY-JUNE 2024. SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRAL AMERICA.

¿Es IA lo que se necesita para la seguridad y protección del agua?

Is AI what is needed for the safety and security of water?

Alicia Urquilla Castaneda

Licenciatura en Administración de Empresas, Universidad Dr. José Matías Delgado, El Salvador
Maestría en Creación y Dirección de Empresas, Universidad Antonio de Nebrija, España
Estudiante de Doctorado en Innovación en Ciencias Sociales, Universidad Pontificia de Salamanca, España
Investigadora Asociada del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador
aliciaurquicasta@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9502-5830>

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2023
Fecha de aprobación: 05 de febrero de 2024
DOI:



RESUMEN

El agua es el medio clave para abordar el significado real de la acción climática. Las consecuencias inevitables del cambio climático, los desastres naturales y los eventos extremos han cuestionado nuestra existencia y no podemos negar la verdad. Hay una necesidad urgente de acción para salvar a la Madre Tierra, para que se pueda sobrevivir y prosperar. La seguridad hídrica en términos de cantidad y calidad es imprescindible para alcanzar los objetivos globales de desarrollo y sostenibilidad. Este artículo examina el papel y el potencial de la tecnología y la innovación (TI) como facilitadores clave del cambio catalítico en el logro global del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 de las Naciones Unidas, sobre garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Se exponen algunas alternativas viables para superar estos desafíos con un enfoque en la distribución y suministro de agua potable y saneamiento, la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA), soluciones al agua basadas en la IA, algunas tecnologías y prácticas innovadoras para los retos del agua y saneamiento implementadas, dando como resultado que, sin una gestión integrada de los recursos hídricos, será muy difícil salir adelante.

Palabras clave: tratamiento del agua, sector del agua, seguridad hídrica, protección hídrica, inteligencia artificial, El Salvador.

ABSTRACT

Water is the key medium for addressing the real meaning of climate action. The inevitable consequences of climate change, natural disasters, and extreme events have called our existence into question, and we cannot deny the truth. There is an urgent need for action to save Mother Earth so that we can all survive and thrive. Water security in terms of quantity and quality is essential to achieve global development and sustainability goals. This article examines the role and potential of technology and innovation (TI) as key enablers of catalytic change in the global achievement of the United Nations Sustainable Development Goal (SDG) 6, on ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all. Some viable alternatives to overcome these challenges are exposed, with a focus on the distribution and supply of drinking water and sanitation, the application of Artificial Intelligence, AI-based water solutions, some innovative technologies and practices for water challenges and sanitation implemented, giving us as a result that without an integrated management of water resources it will be very difficult to get ahead.

Keywords: *water treatment, water sector, water security, water safety, artificial intelligence, El Salvador.*

Introducción

En todo el mundo, la seguridad del agua se ve afectada negativamente por factores como el crecimiento de la población, la migración rural-urbana, el clima, las condiciones hidrológicas, la extracción excesiva de agua subterránea y el aumento del uso de agua *per cápita*. El modelado de la seguridad del agua es una de las estrategias clave para gestionar mejor la seguridad del agua y desarrollar políticas adecuadas para mejorar la seguridad. En vista de la creciente demanda mundial de agua potable, se deben desarrollar métodos y algoritmos inteligentes (Davison *et al.*, 2005).

El agua es el recurso esencial para la existencia de la civilización humana y el ecosistema natural. Cubre alrededor del 71 % del planeta, pero el agua dulce que se puede usar para beber, bañarse e irrigar las tierras de cultivo es muy limitada. Solo alrededor del 2.5 % del agua de la Tierra es agua dulce, y la mayor parte no está disponible, ya sea encerrada en glaciares, casquetes polares, atmósfera y suelo; altamente contaminada, o se encuentra demasiado bajo la superficie de la tierra para ser extraída a un costo asequible, dejando solo el 0.5 % del agua dulce de la Tierra a nuestro alcance (Labrador, 2010).

Las instalaciones de agua dulce y saneamiento limpias son vitales para una vida saludable. El acceso a estas instalaciones juega un papel crucial en el desarrollo social y económico general de una comunidad y una nación. Alrededor de 1,100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso al agua, luego 2,400 millones de personas enfrentan problemas de saneamiento inadecuado y un total de 2,700 millones encuentran escasez de agua durante al menos un mes al año. Alrededor de 2 millones de personas, en su mayoría niños, mueren cada año solo por enfermedades diarreicas (Assessment, 2005).

La mayoría de los países en desarrollo están sufriendo por la falta de un monitoreo regular y efectivo de la cantidad y calidad del agua para apoyar las decisiones y acciones necesarias. La práctica participativa, el uso adecuado de las tecnologías modernas y la creación de espacios saludables para la innovación en el sector del agua y el clima pueden llevar al mundo a ser inclusivo, seguro y sostenible (Bonadonna *et al.*, 2017).

Si se incentiva la capacidad de conectar este ciclo desde el comienzo en los líderes emergentes del agua, es decir, enseñando a los jóvenes (desde la escuela secundaria hasta el nivel universitario) una comprensión real y el trabajo de la gestión y el monitoreo del agua utilizando las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se podrá apoyar el desarrollo sostenible del sector, la seguridad hídrica y abrir las puertas del futuro a las innovaciones y tecnologías del agua.

La digitalización está impregnando la sociedad de muchas maneras y se espera que aumente el papel de las tecnologías digitales. Si bien la digitalización se presenta de muchas formas, en los últimos años la Inteligencia Artificial (IA), incluido el aprendizaje automático, ha cobrado un enorme impulso. Los dominios de aplicación notables incluyen el transporte (automóviles autónomos), la energía, la

atención médica y la manufactura. En comparación con estos otros campos, el uso de la IA en el ámbito del agua sigue siendo relativamente modesto. Aunque la IA en sí misma no es nueva (Crevier, 1993), su uso e impacto actuales no tienen precedentes. Con eso, la IA también se ha convertido en un tema sobre el que la gente tiene opiniones firmes. Algunos presentan puntos de vista distópicos sobre los sistemas autónomos que toman el control, mientras que otros ven a la IA como una panacea para muchos de los desafíos sociales actuales (Russell, 2021). Si bien ninguno de estos extremos parece ser constructivo, con el auge actual de las técnicas de IA es importante pensar en el papel deseado de la IA en la sociedad (How, 2018).

En todo el mundo, numerosas organizaciones y partes han tomado iniciativas y resoluciones para mejorar la seguridad del agua, incluido el Foro Mundial del Agua, el Grupo de los Ocho (G8), las Naciones Unidas y muchos investigadores (Karas, 2003).

La relación de la IA con el agua

Últimamente, parece que la sociedad se ha obsesionado con el tema de la IA con opiniones que a menudo van de un extremo al otro: cómo la IA podría resolver una variedad de problemas mundiales actuales y futuros, o cómo podría potencialmente ser muy peligrosa para la humanidad. Pero, ¿realmente se entiende qué es la IA, cómo se relaciona con la inteligencia humana y cómo/dónde podría ser implementada por la comunidad hidro ambiental para mejorar el medio ambiente y el avance de la sociedad? Por esta razón, se amerita profundizar un poco en este tema para poder determinar algunas aplicaciones en la gestión del agua que se brindan más adelante (Toryila Tiza *et al.*, 2023).

La característica clave de la inteligencia humana es la capacidad de aprender de la experiencia, ello implica el pensamiento inteligente. La pregunta entonces es si se pueden hacer máquinas para llevar a cabo un pensamiento inteligente similar al de los humanos. Aunque hoy en día las técnicas de IA han avanzado hasta el punto de, por ejemplo, vencer a uno de los jugadores más fuertes del mundo en el juego Go¹, superar a los profesionales médicos en el diagnóstico de enfermedades mortales² o hacer posibles los coches autónomos, el objetivo general de la IA, de las máquinas pensantes todavía parece estar muy lejos. Sin embargo, ¿qué puede hacer la IA para ofrecer beneficios en la gestión del agua? (Jeong, 2020).

Fundamentos de la IA en el sector hídrico

Si aceptamos que el objetivo clave de las tecnologías de IA es permitir el aprendizaje (a partir de datos), en el caso, desarrollar un modelo para detectar una enfermedad en pacientes, recomendar productos a compradores en un sitio de compras en línea o predecir si el solicitante podrá pagar un préstamo a

¹ Más información: <https://www.bbc.com/news/technology-35810133>

² Más información: <https://www.docwirenews.com/post/deep-learning-ai-outperforms-pathologists-in-diagnosing-cancer>

un banco; en la gestión del agua, eso equivaldría, por ende, a predecir el riesgo de inundaciones más allá de un umbral socioeconómico aceptable, pronosticar la demanda en un sistema de distribución de agua o estimar las tasas de transporte de sedimentos en un río. El punto clave aquí es que la IA puede considerarse una forma de crear modelos o métodos útiles para realizar una tarea compleja que normalmente llevan a cabo los humanos (Vekaria y Sinha, 2024).

Otra característica importante de la IA es que, al crear un modelo, normalmente utiliza un algoritmo. Sin embargo, los modelos de IA emplean en gran medida la llamada metáfora de la *caja negra*, lo que implica que un modelo creado por IA no permite un escrutinio fácil de su funcionamiento interno. Para algunas personas, esto representa un gran obstáculo para aplicar técnicas de IA a problemas del mundo real. La otra característica importante de la IA es que el proceso de creación de un modelo a menudo está automatizado, es decir, el usuario no necesita asumir la forma del modelo, por lo que comúnmente se lo conoce como *Machine Learning* (ML)³ (Lowe *et al.*, 2022).

Machine Learning es el estudio de métodos y algoritmos informáticos que mejoran automáticamente a través de la experiencia. El aprendizaje automático generalmente implica construir algún modelo de computadora a partir de datos con la capacidad de hacer predicciones más adelante sin la necesidad de programación de *software* adicional. Uno de los métodos de aprendizaje automático más conocidos es la Red Neural Artificial (ANN) que funciona imitando las redes neuronales biológicas que existen en un cerebro humano. Las ANN aprenden de los datos de entrenamiento que se les presentan para capturar las relaciones funcionales entre los datos, incluso si las relaciones subyacentes no se conocen o el significado físico es difícil de explicar. Esto permite que las ANN descubran patrones en los datos que a menudo son desconocidos, incluso para los mejores expertos en el campo. *Computer Vision* denota un conjunto de métodos de tipo IA que se utilizan para entrenar computadoras para interpretar y comprender esencialmente imágenes y videos digitales. Los ejemplos de aplicaciones de visión por computadora incluyen sistemas de reconocimiento facial, diagnóstico médico y automóviles sin conductor (Savic, 2019).

IA en la investigación y la práctica del medio ambiente hidráulico

La investigación y la práctica hidroambientales se han beneficiado de la aplicación de técnicas de IA (Solomatine y Ostfeld, 2008). Existe una tendencia creciente en el número de publicaciones encontradas al buscar en *Web of Science*⁴ utilizando las palabras clave «aprendizaje automático» o «algoritmo genético con agua». Las aplicaciones iniciales de las técnicas de ML se han centrado en el uso de un solo algoritmo (más a menudo una ANN) en el modelado de procesos físicos complejos, es decir, la transformación lluvia-escorrentía (Minns y Hall, 1996). Más recientemente, una encuesta de métodos de ML para la predicción de inundaciones indicó una tendencia a pasar a métodos de

³ Aprendizaje automático.

⁴ Más información: <https://www.webofknowledge.com/>

conjunto y enfoques híbridos en los que se utilizan dos o más técnicas de ML para predecir la variable de salida (Mosavi *et al.*, 2018). El despliegue generalizado de sensores y la disponibilidad de datos de teledetección también ofrecen nuevas oportunidades a los profesionales del medio ambiente hidrológico.

Pueden ayudar a identificar mejores parámetros del modelo, integrar ML con modelos mecánicos tradicionales (basados en la física) (Vojinovic *et al.*, 2013) o, incluso, reemplazarlos cuando se requiere una alta velocidad de ejecución del modelo (Sayers *et al.*, 2019). El uso de métodos de aprendizaje profundo en la práctica hidroambiental se encuentra en una etapa relativamente temprana de desarrollo, sin embargo, la mayor disponibilidad de datos (y en particular de grandes datos a través de la teledetección) brinda más oportunidades para este tipo de métodos de IA (Shen, 2018).

Enfoque participativo y tecnologías emergentes

Las TIC son un medio conveniente para proporcionar servicios significativos y otras funciones, como redes de sensores inalámbricos, aplicaciones de teléfonos móviles, etc., a los esquemas de gestión agrícola. En los últimos años, estos sistemas han mejorado considerablemente y se han utilizado en muchos sectores, incluido el control y la gestión ambiental⁵. Estas TIC generalizadas en el mundo en desarrollo han transformado los costos de oportunidad de la comunicación al minimizar en gran medida el tiempo y el costo de la recopilación, el almacenamiento, el procesamiento, la difusión y la visualización de información a través de medios electrónicos (Faustine y Mvuma, 2014). Además, las TIC tienen el potencial de conectar a personas que están aisladas por ubicación y situación socioeconómica, lo que puede ayudar a mejorar la seguridad al ayudar en la gestión de riesgos.

Por lo tanto, varios profesionales del agua y el saneamiento han comenzado a mejorar los respectivos servicios aprovechando la ubicuidad de los teléfonos móviles, las interfaces web y las aplicaciones (Hutchings *et al.*, 2012).

Sin un vínculo claro entre las tecnologías emergentes para monitorear la perspectiva de los problemas de calidad del agua, la política y la cooperación con las partes interesadas locales desde el principio (Nare *et al.*, 2011), cualquier red de monitoreo del agua deseada en los esquemas de suministro de agua que se base en los resultados será ineficaz. La calidad del agua es una dimensión vital de la seguridad hídrica, y agua potable y bienestar humano es una sección esencial de la definición de seguridad hídrica de ONU-Agua, que establece que las poblaciones tienen acceso a agua segura, suficiente y asequible para satisfacer las necesidades básicas de agua potable, saneamiento e higiene para salvaguardar la salud, el bienestar y cumplir los derechos humanos básicos (Mehta y Nagabhatla, 2017).

⁵ Más información: <https://kathmandupost.com/climate-environment/2019/08/15/nepal-should-reconsider-water-consumption-patterns-and-protect-its-resources-new-study-warns>.

La participación de la comunidad en las actividades de monitoreo desde el principio es vital para ganar la confianza del público en los datos resultantes, los cuales brindan información creíble y justificación tanto para el público como para las autoridades, facilitando una mejor ejecución de cualquier trabajo de desarrollo (Conrad y Hilchey, 2011).

Purificación de agua usando coagulantes naturales

Proceso de tratamiento de agua. La fuente y la calidad del agua determinan el tipo de tratamiento y el proceso requerido. En general, el tratamiento del agua potable implica dos pasos principales: coagulación/floculación y desinfección. El objetivo principal de estos dos pasos es eliminar la turbidez y la carga microbiana (Merlin *et al.*, 2018). La turbidez es una medida de los sólidos en suspensión en el agua; al respecto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que para que el agua se considere desinfectada, la turbidez debe ser inferior a 5 NTU₁ (Hersch, 2012). Mientras que algunos tipos de sólidos en suspensión en el agua pueden asentarse por sí solos, las partículas finas de arena, arcilla o algas necesitan un catalizador externo para apoyar el proceso de sedimentación. Las cargas superficiales negativas de estas partículas finas evitan que se aglomeren y formen partículas más grandes que finalmente se asienten (Jha y Jha, 2020).

El sulfato de aluminio es un denominado coagulante. Se agrega al agua porque tiene una carga positiva que puede neutralizar la carga superficial de los sólidos en suspensión y permitir que se aglomeren entre sí y formen partículas más grandes que pueden asentarse por gravedad por sedimentación (Meza Leones *et al.*, 2018). Aunque el sulfato de aluminio es eficiente, es relativamente caro y tiene que ser importado en muchos países en desarrollo (Ramavandi, 2014). También puede sintetizar subproductos que pueden contaminar el medio ambiente. Además, los residuos de sulfato de aluminio que quedan después del proceso de tratamiento pueden causar varios efectos en la salud. Se informó que los coagulantes a base de aluminio están relacionados con el estreñimiento intestinal, pérdida de memoria, convulsiones, cólicos abdominales, pérdida de energía y dificultades de aprendizaje (Upadhyay, 2018). Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar coagulantes naturales como sustitutos potenciales de los coagulantes actualmente en uso. Estos coagulantes naturales serían biodegradables, baratos, seguros y respetuosos con el medio ambiente (Singh y Choubey, 2014).

De acuerdo a Singh y Choubey (2014), estos coagulantes naturales se pueden extraer de animales, microorganismos y plantas. El uso de materiales a base de plantas en el tratamiento del agua tiene una larga historia y se ha utilizado en los países en desarrollo durante muchos siglos para la purificación del agua turbia. Para el tratamiento del agua en el hogar, los materiales a base de plantas se pueden utilizar en forma de polvo o pasta.

Ejemplos de coagulantes naturales. La aplicación de semillas de Rajma o frijoles rojos en el tratamiento de aguas superficiales fue examinada por Merlin *et al.* (2018) mostrando una eficacia de eliminación del

48.80 % para una dosificación óptima de 0.5 g/l. Otro estudio analizó el potencial de Acacia Catechu, un árbol espinoso de hasta 50 pies de altura que es común en las partes central y norte de la India. El extracto de Acacia Catechu derivado del duramen del árbol se secó al aire, se molió en polvo y se tamizó. El polvo ha reducido en un 91 % la turbidez de una muestra de agua de estanque (Singh y Choubey, 2014). Otro coagulante natural potencial es *Dicerocaryum Eriocarpum* (DE), una especie de planta que se encuentra en los pastizales y conocida por su nombre común «espinas del diablo». La planta DE tiene una amplia gama de aplicaciones con una característica antibacteriana y partes de la planta se han utilizado para tratar enfermedades en las áreas rurales del distrito de Vhembe, Sudáfrica, donde está disponible localmente. Además, si la planta se tritura y se deja toda la noche en agua, el mucílago resultante de las hojas se convierte en un sustituto útil del jabón y el champú. En un estudio, se suspendieron hojas frescas de DE en agua desionizada caliente y soluciones de sales para extraer el mucílago de las hojas. La solución de mucílago transparente final se recuperó por filtración y ha demostrado tener el potencial de reducir la turbidez con una eficiencia de hasta el 99 % (Odiyo *et al.*, 2017).

También se ha examinado *Plantago Ovata*, una planta abundantemente disponible, de bajo costo y de rápido crecimiento que se encuentra desde la región mediterránea hasta el este de Asia y la India. Se extrajo un biocoagulante de *Plantago Ovata* y se probó su potencial como coagulante natural para el tratamiento de aguas turbias de un río. Los resultados lograron una eficiencia de eliminación de más del 95.6 % de todas las concentraciones iniciales de turbidez (Ramavandi, 2014).

Roselle, o *Hibiscus Sabdariffa*, cultivada en África tropical central y occidental es rica en proteínas que son solubles en agua y tienen una carga positiva general. Estas proteínas de carga positiva se unirían a las partículas cargadas negativamente de los sólidos en suspensión. Un estudio demostró que el coagulante natural extraído de las semillas de Roselle tenía un rendimiento comparable al del sulfato de aluminio. La eficiencia de eliminación de la turbidez del sulfato de aluminio estuvo entre el 82.9 % y el 99.0 %, mientras que la eficiencia de eliminación de las semillas de jamaica estuvo entre el 81.2 % y el 93.13 % (Upadhyay, 2018).

Moringa Oleifera es un árbol tropical originario de la India, pero se cultiva ampliamente en todo el mundo, ya que puede soportar sequías severas y condiciones forestales suaves (Gopalakrishnan *et al.*, 2016). Tiene muchos usos interesantes en nutrición humana y animal, farmacología y cosmética. El tratamiento de agua es una de las aplicaciones más importantes de *Moringa Oleifera*. Las semillas de este árbol tropical tienen una alta cantidad de proteínas que actúan como polielectrolitos catiónicos una vez que se agregan al agua cruda. Se encontró que el agua clarificada bajo parámetros óptimos usando *Moringa Oleifera* es competitiva con otros coagulantes bien conocidos y su calidad está dentro de los rangos estándar para el agua clarificada (Sánchez-Martín *et al.*, 2012).

Omer *et al.* (2013) probó la eficacia de la goma guar como coadyuvante coagulante con sulfato de aluminio. La goma guar se extrae de las semillas de guar que se encuentran en el este de Asia y la India.

Se utiliza como estabilizante y espesante en diversos productos alimenticios. Los resultados mostraron que el uso de goma guar junto con sulfato de aluminio disminuyó la turbidez de 12050,0 NTU a 3,8 NTU en comparación con 192,0 NTU cuando se usa solo sulfato de aluminio. Otro estudio analizó la planta Okra, *Cassia Auriculata*, que se encuentra en el rango de Asia oriental, India, Sri Lanka y Myanmar, y *C. Procera*, que se encuentra en el rango de África tropical a través de Arabia hasta el subcontinente indio y Malasia por su potencial para eliminar la turbidez. Las eficiencias máximas de eliminación de turbidez usando Okra, *Cassia Auriculata* y *C. Procera* fueron 58 %, 52 % y 62 % para agua con poca turbidez y 83 %, 68 % y 73 % para agua con mucha turbidez, respectivamente (Ramesh *et al.*, 2016).

Finalmente, los investigadores también estudiaron algunas cáscaras de frutas comunes como el plátano, el mango y la naranja. Los resultados mostraron que las cáscaras de plátano logran una mejor eficiencia de eliminación de turbidez que las cáscaras de mango y naranja. Esto se atribuyó al contenido de humedad más bajo de las cáscaras de plátano que tiene un contenido de humedad de alrededor del 63 % en comparación con el 78 % de las cáscaras de naranja (Zaidi *et al.*, 2019).

Tabla 1

Soluciones al agua basadas en la IA

Soluciones	Descripción	Fuente
Detección en tiempo real de roturas de tuberías en redes de distribución de agua. Sistema de detección de eventos (EDS) comercial	Las fugas son un problema importante en los sistemas de distribución de agua en todo el mundo. Este ejemplo presenta un sistema basado en IA que detecta roturas/fugas de tuberías, pero también equipos y otras fallas en estos sistemas. El sistema de detección funciona procesando automáticamente las señales de los sensores de presión y flujo casi en tiempo real para pronosticar los valores de la señal en el futuro cercano (usando ANN). Luego, estos se comparan con las observaciones entrantes para recopilar diferentes formas de evidencia sobre el evento de falla que se está produciendo. La evidencia recopilada de esta manera se procesa utilizando redes bayesianas para estimar la probabilidad de que ocurra el evento y generar las alarmas correspondientes. El sistema aprende efectivamente de los estallidos históricos y otros eventos para predecir los futuros.	Romano <i>et al.</i> , 2014
Evaluación automatizada del estado de los activos mediante inteligencia y visión artificiales	La inspección de las tuberías de los sistemas de drenaje urbano (es decir, alcantarillado) es importante ya que las fallas estructurales y de otro tipo no detectadas (por ejemplo, juntas desplazadas, grietas, etc.) pueden provocar graves incidentes de contaminación y/o inundaciones. Esta inspección se realiza generalmente grabando videos de CCTV y luego analizándolos manualmente. Este proceso lleva mucho tiempo (es costoso) y es de naturaleza más bien subjetiva/incoherente, por lo que no siempre es necesariamente fiable.	Murayama <i>et al.</i> , 2015

Soluciones	Descripción	Fuente
Control predictivo de plantas de tratamiento de aguas residuales	El software Aquasuite® de Royal Haskoning DHV se implementó en la planta de validación integrada de PUB Singapur en la planta de recuperación de agua de Ulu Pandan en marzo de 2019. Se introdujo para proporcionar a los operadores y gerentes información predictiva mientras se mejoraba la actuación de la planta. Aquasuite PURE recopila datos en tiempo real sobre los flujos de la planta y las mediciones cualitativas, incluidas las de amoníaco, nitratos, oxígeno, fosfatos y sólidos secos, y crea una base de datos histórica. Luego, el <i>software</i> utiliza análisis avanzados y algoritmos de aprendizaje automático para predecir los flujos y las cargas de aguas residuales de la planta, las necesidades de oxígeno, las necesidades de dosificación de productos químicos y otros requisitos.	https://aquasuite.ai/en/
Alarmas inteligentes para la gestión proactiva de redes de aguas residuales	Aquasuite FLOW es una herramienta de análisis predictivo impulsada por IA para redes de aguas residuales que permite la predicción y la alerta temprana de niveles de agua críticamente altos en alcantarillas, posibles eventos de contaminación y detección de niveles anómalos que podrían indicar bloqueos en la red.	https://aquasuite.ai/en/
Pronóstico en tiempo real de las corrientes marinas	En las últimas décadas, las ANN se han convertido en una popular herramienta de estimación y pronóstico, que se utiliza con frecuencia en una variedad de problemas y áreas de aplicación. En esta solución, se utiliza una ANN recurrente para crear un sistema híbrido de asimilación de datos en tiempo real que da como resultados pronósticos extremadamente precisos de las corrientes superficiales del mar. Esta solución se desarrolló para respaldar la construcción de Øresund Link que conecta la capital danesa, Copenhague, y la ciudad de Malmö en Suecia.	Babovic <i>et al.</i> , 2001
Redes bayesianas para la gestión proactiva de activos	Los costos económicos y sociales asociados con las roturas de tuberías y las fugas en los sistemas modernos de suministro de agua están aumentando a niveles inaceptablemente altos. El desafío para el tomador de decisiones es determinar qué tuberías de la red rehabilitar, mediante qué método de rehabilitación y en qué momento dentro del horizonte de planificación. Se utiliza IA avanzada, aprendizaje automático y métodos estadísticos para establecer los riesgos de rotura de tuberías.	Economou <i>et al.</i> , 2014
Visión por computador para el monitoreo oportunista de lluvias	La cantidad y calidad de los datos de precipitación son cruciales en las aplicaciones meteorológicas y de gestión de recursos hídricos. Los pluviómetros son un enfoque clásico para medir la lluvia. Sin embargo, a medida que ingresamos en la era de la Internet de las Cosas (IoT) en la que cualquier cosa puede convertirse en datos, la llamada detección oportunista que utiliza fuentes de datos no convencionales ofrece la promesa de mejorar la representación espacio temporal de las redes de observación existentes. Un área particular que llama la atención es la estimación de la intensidad de lluvia cuantitativa y analítica a partir de señales de video adquiridas por teléfonos inteligentes o cámaras de vigilancia CCTV.	Allamano <i>et al.</i> , 2015

Fuente: elaboración propia con base en las soluciones consultadas individualmente.

Agua segura y saneamiento

El acceso a agua potable y saneamiento es un desafío en los países en desarrollo, pero diferentes países y áreas dentro de los países tienen prioridades particulares. En algunos, existe la necesidad de aumentar la infraestructura relacionada con el agua o encontrar recursos hídricos debido al estrés hídrico y, en otros, puede haber recursos hídricos disponibles, pero existen desafíos relacionados con activos de infraestructura obsoletos, niveles excesivos de consumo de agua y problemas de contaminación. El acceso al saneamiento presenta una imagen más uniforme y depende significativamente menos del contexto, lo que requiere sobre todo el establecimiento de instalaciones de saneamiento adecuadas. Esto puede ser costoso y la mejor manera de hacerlo, particularmente en lo que respecta al tratamiento de los desechos, varía según el contexto. Múltiples tecnologías y prácticas innovadoras actualmente disponibles pueden ayudar a abordar los desafíos relacionados con el agua y el saneamiento; algunos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Algunas tecnologías y prácticas innovadoras para los retos del agua y saneamiento implementadas

Accesibilidad al agua limpia	Se ha logrado un progreso significativo en la mejora del tratamiento del agua mediante el uso de nanotecnología, filtros cerámicos y diseño inteligente de procesos, así como una mayor eficiencia en el uso de energía y productos químicos. Sin embargo, en muchas partes del mundo, el acceso a estos recursos tecnológicos e innovadores no es posible.
Accesibilidad al saneamiento	<p>Terminar con la defecación al aire libre es determinante para lograr con éxito las metas relacionadas con el saneamiento del Objetivo 6. Es una tarea desafiante en muchos países en desarrollo, particularmente en las zonas rurales, debido a las dificultades para financiar la construcción de retretes debidamente equipados y la falta general de conciencia entre las comunidades de las implicaciones ambientales y relacionadas con la salud de la defecación al aire libre.</p> <p>Una empresa nueva en Suecia inventó una solución de inodoro portátil fácil de instalar, sin olor, sin agua, sin aguas residuales, sin energía y de bajo mantenimiento que se puede utilizar temporal o permanentemente y emplea un cultivo bacteriano especialmente formulado para tratar los desechos humanos y transformarlos en fertilizante líquido natural que se puede usar para mejorar los resultados agrícolas.</p> <p>Los sanitarios e instalaciones reinventados representan soluciones a este problema.</p>
Impactos del cambio climático en el suministro de agua: mitigación y adaptación	<p>Las inundaciones y sequías provocadas por el cambio climático, que, como se muestra en 2022, ahora afectan a todos los continentes, se encuentran entre los eventos más críticos que influyen en la disponibilidad de los recursos hídricos y, a su vez, en el suministro adecuado de agua limpia para beber y saneamiento. Se prevé que la escasez de agua aumente debido al cambio climático.</p> <p>En Austria, el análisis geoeléctrico se usa en áreas en las que el conocimiento del suministro de agua del subsuelo y sus cambios es relevante, incluida la demarcación de áreas de deslizamientos, el desarrollo de sistemas de alerta temprana y la exploración de aguas subterráneas. Se está explorando una combinación de herramientas analíticas meteorológicas-climatológicas y geológicas-geofísicas a través del programa Geo Sphere.</p> <p>En Brasil, se han implementado políticas públicas e iniciativas dedicadas a reducir las pérdidas en el sistema de suministro de agua.</p> <p>En India, el gobierno ha implementado la iniciativa de Tecnología del Agua, para promover el suministro de agua de fuentes sostenibles, el reciclaje y la reutilización del agua, beneficiando a 200.000 personas hasta la fecha.</p>

Recopilación de datos y pronósticos para la seguridad del agua y el saneamiento	La calidad inadecuada del agua sigue planteando importantes amenazas para la salud humana. El monitoreo continuo es necesario para controlar las diferentes características.
	En Egipto, se ha establecido un sistema en línea para monitorear las cargas de contaminación en la descarga de aguas residuales de las empresas.
	Los sistemas de monitoreo en línea alivian la carga de las autoridades competentes que necesitan monitorear regularmente la calidad del agua potable y ambiental; facilitar la previsión y gestión de incidentes que afecten la calidad de las cuencas; y reducir los tiempos de respuesta de la intervención.
	En China se ha introducido un enfoque sistemático centrado en la tecnología para proteger las fuentes de agua, que incluye estudios ambientales de las zonas de origen, análisis de los orígenes y riesgos de la contaminación y el uso de métodos de delimitación de zonas.
	En Hungría, se ha desarrollado un sistema de monitoreo de precipitaciones urbanas de quinta generación de alta resolución, informado por estudios en sistemas fluviales y lacustres, que abarca la red de suministro de agua junto con modelos hidrodinámicos, para controlar los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: *Commission on Science and Technology for Development* (2023).

Ventajas de utilizar el enfoque Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH)

Una de las razones principales por las que se introdujo el marco de la GIRH fue pasar del mando y control a un enfoque de gestión más flexible y adaptativo, donde se abordaron los suministros de agua, la disponibilidad, la infraestructura, la demanda, los factores ecológicos, las necesidades sociales, las medidas de conservación y las consideraciones ambientales de manera holística. Esto requiere un enfoque más participativo y transdisciplinario (Schneider, 2011). Esto sugiere que el conocimiento científico no debe ser independiente del conocimiento cultural, histórico y ambiental (Alaerts y Kaspersma, 2009). Estos autores afirman que los científicos deben participar en un diálogo con la sociedad sobre incertidumbres, valores y creencias (Medema *et al.*, 2008). Además, para abordar todos estos temas, se escogieron las cuencas de los ríos o cuencas hidrográficas como unidades naturales, lo que permite la medición de procesos, ayuda a integrar las actividades de uso de la tierra y facilita la evaluación de la salud de los ecosistemas. Esta es también una forma eficaz de fomentar las interacciones sociales entre las actividades de uso de la tierra, la gestión del agua y la evaluación científica dentro de una unidad de paisaje natural que afecta a todos.

A continuación, se enumeran algunas de las ventajas que los autores arriba mencionados, consideran importantes en relación con el enfoque de GIRH:

La cuenca fluvial como unidad natural idónea para comprender los procesos. Las mediciones cuantitativas y el análisis de procesos pueden examinarse fácilmente en una cuenca fluvial. Es una buena manera de facilitar la toma de decisiones basada en la ciencia. Facilita la creación de modelos que simplifican la complejidad y ayudan a comprender los procesos clave dentro del sistema. Los procesos como la entrada, la absorción, la detención y la liberación pueden evaluarse fácilmente tanto espacialmente como a lo largo del tiempo, y esto nos permite examinar las relaciones de causa y efecto. Vincula la actividad humana con las respuestas naturales y facilita la medición de las interacciones entre las actividades humanas y el entorno natural.

La cuenca fluvial como herramienta de integración. La unidad de cuenca sirve como una herramienta de integración que vincula toda la actividad humana con las respuestas naturales. Es una plataforma donde las actividades humanas, el clima, el agua, los sedimentos, la ecología, los nutrientes y los contaminantes pueden examinarse de manera interdisciplinaria utilizando un enfoque basado en sistemas. Las partes interesadas locales pueden desempeñar un papel activo al presentar datos y conocimientos locales que a menudo no están disponibles cuando los expertos evalúan los problemas. También, permite determinar el efecto acumulativo de todas las actividades y procesos naturales.

La cuenca del río facilita la evaluación de la salud del ecosistema. La salud del ecosistema se puede identificar fácilmente midiendo la abundancia, el vigor, el cambio y la diversidad de plantas y organismos acuáticos. El impacto de las actividades de uso de la tierra en la salud del sistema acuático se puede monitorear e identificar fácilmente.

Un marco para comprender sistemas complejos y dar cuenta de las acciones. El conocimiento científico obtenido al cuantificar procesos, determinar cambios, modelar y desarrollar escenarios ayuda a comprender sistemas complejos. También proporciona una base para el seguimiento de la eficacia de la gestión a lo largo del tiempo y proporciona una medida de responsabilidad.

Participación de las partes interesadas y procesos de toma de decisiones. Reunir a todas las partes interesadas en la mesa brinda la oportunidad de comprender todos los problemas de manera integral. Las partes interesadas locales aportan conocimientos locales y pueden hacer una contribución importante en los esfuerzos de generación, monitoreo y rehabilitación de datos. Esto proporciona una plataforma donde se consideran los problemas locales y se pueden negociar compensaciones. El principal desafío es cómo llegar a un consenso y cómo establecer prioridades. Tener a todos los interesados involucrados ayuda a construir un puente entre los enfoques de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba para la toma de decisiones (Warner, 2007).

Conclusiones

Encontrar una solución al problema del control de la IA es una tarea importante y podría ser un reto esencial para afrontar. Se trata de construir sistemas que son mucho más poderosos que nosotros mismos y, al mismo tiempo, garantizar que esos sistemas permanecerán impotentes para siempre.

El mundo tiene suficientes problemas con los que lidiar, pero cada desafío también puede ser una oportunidad para la innovación y el crecimiento. Los recursos de agua dulce del planeta, si se gestionan de forma sostenible y eficaz, pueden satisfacer la demanda de agua de la creciente población mundial con agua de buena calidad.

Es evidente, a partir de los estudios, que el sector del suministro de agua y saneamiento continúa

enfrentando presiones cada vez mayores, especialmente, debido a los impactos del cambio climático, y que los gobiernos en el mundo en desarrollo deberán ser proactivos y mejorar la resiliencia y sostenibilidad del sector. Por lo tanto, la innovación y la tecnología tienen un papel vital que desempeñar en la escasez de agua, la seguridad y la protección, la eficiencia del agua, las operaciones de los servicios públicos, el monitoreo y el tratamiento, y los datos y análisis.

Los investigadores, profesionales y legisladores de todo el mundo necesitan colaborar y trabajar con las comunidades locales para identificar problemas relevantes, generar conciencia y crear espacios para innovaciones que puedan brindar soluciones sostenibles. Si se quiere lograr un cambio real, no hay atajos. Se necesita trabajar a nivel de línea base y tener suficiente paciencia para transformar las comunidades en el contexto del desarrollo de recursos, la inclusión, la distribución equitativa y la práctica sostenible.

Hasta ahora, la investigación de IA se ha centrado en sistemas que son mejores para tomar decisiones, pero esto no es lo mismo que tomar mejores decisiones. No importa cuán excelentemente maximice un algoritmo, y no importa cuán preciso sea su modelo del mundo, las decisiones de una máquina pueden ser inefablemente absurdas, a los ojos de un humano común, si no logra comprender las preferencias humanas.

Este problema requiere un cambio en la definición de la propia IA: de un campo relacionado con una noción unaria de inteligencia como la optimización de un objetivo dado, a un campo relacionado con una noción binaria de máquinas que probablemente son beneficiosas para los humanos. Parece probable que tomar el problema en serio genere nuevas formas de pensar sobre la IA, su propósito y nuestra relación con ella.

Aunque todavía se está muy lejos de las máquinas inteligentes que exhiban una inteligencia similar a la humana, la IA y el aprendizaje automático están comenzando a encontrar aplicaciones en el mundo de la gestión del agua, lo que abre una gran cantidad de oportunidades y beneficios para los profesionales de la gestión del agua. Por ejemplo, las herramientas IA/ML se están implementando con éxito para localizar fugas en redes de distribución de agua reales, predecir la demanda de agua doméstica y agrícola, o gestionar el consumo de energía en un sistema de agua.

Además de brindar oportunidades, la proliferación de varios sistemas de recopilación de datos (sensores e instrumentación), tecnologías de almacenamiento de datos, redes informáticas locales y basadas en la nube y entornos de visualización de datos, incluida la realidad virtual/aumentada, junto con nuevas tecnologías IA/ML, presentan también algunos de los mayores desafíos para la comunidad hidroambiental.

Referencias

- Alaerts, G. J. y Kaspersma, J. M. (2009). *Progress and challenges in knowledge and capacity development*. Publisher: Taylor and Francis.
- Allamano, P., Croci, A. y Laio, F. (2015). Toward the camera rain gauge. *Water Resources Research*, 51, pp. 1744–1757. <https://doi.org/10.1002/2014WR016298>
- Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Summary for Decision Makers*. OAS, 5, 1–25. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Babovic, B. V., Canizares, R., Jensen, R. H. y Klinting, A. (2001). Neural Networks as Routine for Error Updating of Numerical Models. *Journal of Hydraulic Engineering*, pp. 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2001\)127:3\(181\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:3(181))
- Bonadonna, L., de Grazia, M. C., Capolongo, S., Casini, B., Cristina, M. L., Daniele, G., D'Alessandro, D., De Giglio, O., Di Benedetto, A., Di Vittorio, G., Ferretti, E., Frascolla, B., La Rosa, G., La Sala, L., Lopuzzo, M. G., Lucentini, L., Montagna, M. T., Moscato, U., Pasquarella, C., Veschetti, E. (2017). Water safety in healthcare facilities. The Vieste Charter. *Annali Di Igiene Medicina Preventiva e Di Comunita*, 29(2) pp. 1–11. <https://doi.org/10.7416/ai.2017.2136>
- Commission on Science and Technology for Development. (2023). *Ensuring safe water and sanitation for all: a solution through science, technology and innovation*. Economic and Social Council United Nations. https://unctad.org/system/files/official-document/ecn162023d3_en.pdf
- Conrad, C. C. y Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1–4), pp. 273–291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>
- Crevier, D. (1993). Ai: The tumultuous history of the search for artificial intelligence. In *AI Communications* (Vol. 8, Issue 1). <https://doi.org/10.3233/AIC-1995-8108>
- Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., Deere, D. y Bartram, J. (2005). *Water Safety Plans Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. World Health Organization Geneva, 1–244. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp170805.pdf
- Economou, T., Bailey, T. C. y Kapelan, Z. (2014). MCMC implementation for Bayesian hidden semi-Markov models with illustrative applications. *Statistics and Computing*, 24(5), pp. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11222-013-9399-z>
- Faustine, A. y Mvuma, A. N. (2014). Ubiquitous mobile sensing for water quality monitoring and reporting within lake Victoria Basin. *Wireless Sensor Network*, 6, pp. 257–264. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=52076>
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K. y Kumar, D. S. (2016). Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), pp. 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>
- Hersch, R. W. (2012). *Water quality for drinking: WHO guidelines*. In Encyclopedia of Earth Sciences Series. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_184
- How, J. P. (2018). Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with

- Artificial Intelligence and Autonomous Systems. *IEEE Control Systems*, 38(3), pp. 3–4. <https://doi.org/10.1109/MCS.2018.2810458>
- Hutchings, M. T., Dev, A., Palaniappan, M., Srinivasan, V., Ramanathan, N. y Taylor, J. (2012). *mWASH: Mobile phone applications for the water, sanitation, and hygiene sector*. In Report for Nexleaf Analytics. http://www.indiasanitationportal.org/sites/default/files/Full_Report_MWASH.pdf
- Jeong, S. I. (2020). *A Study on the Introduction of Artificial Intelligence Technology in the Water Treatment Process*. In KDI School of Public Policy and Management. <https://archives.kdischool.ac.kr/handle/11125/34620>
- Jha, J. y Jha, D. S. K. (2020). *Water Chemistry Practices in Thermal Power Stations*. Ion Exchange, 1–236.
- Karas, T. H. (2003). Global climate change and international security. *Sandia National Laboratories*, 1–37. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.616-618.1490>
- Labrador, G. of N. and. (2010). *Water Use and the Environment*. Toward a sustainable future. Challenges, changes and choices. https://www.gov.nl.ca/education/files/ENVIR001_Unit_4_lorez.pdf
- Lowe, M., Qin, R. y Mao, X. (2022). A Review on Machine Learning, Artificial Intelligence, and Smart Technology in Water Treatment and Monitoring. *Water* (Switzerland), 14(9), pp. 1–28. <https://doi.org/10.3390/w14091384>
- Medema, W., McIntosh, B. S. y Jeffrey, P. J. (2008). From premise to practice: A critical assessment of integrated water resources management and adaptive management approaches in the water sector. *Ecology and Society*, 13(2). <https://doi.org/10.5751/ES-02611-130229>
- Mehta, P. y Nagabhatla, N. (2017). *Without Water, Nothing is Secure*. UNU-INWEH Policy Brief. <https://collections.unu.edu/view/UNU:6369>
- Merlin, S. B., Abirami, M. y Kumar, R. S. (2018). Studies on the treatment of surface water using rajma seeds. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 13(s1), pp. 7–13. <https://doi.org/10.1515/sspjce-2018-0001>
- Meza Leones, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R. y Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleifera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), pp. 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Minns, A. W. y Hall, M. J. (1996). Artificial neural networks as rainfall-runoff models. *Hydrological Sciences Journal*, 41(3), pp. 399–417. <https://doi.org/10.1080/02626669609491511>
- Mosavi, A., Ozturk, P. y Chau, K. W. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water* (Switzerland), 10(11). <https://doi.org/10.3390/w10111536>
- Murayama, R., Weng, J. y Kobayashi, M. (2015). Pipe inspection system by guide wave using a long distance waveguide. *Scientific Research Publishing*, 5, pp. 139–149. <https://doi.org/10.1117/12.2074814>
- Nare, L., Odiyo, J. O., Francis, J. y Potgieter, N. (2011). Framework for effective community participation in water quality management in Luvuvhu Catchment of South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(14–15), pp. 1063–1070. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.006>
- Odiyo, J. O., Basse, O. J., Ochieng, A. y Chimuka, L. (2017). Coagulation efficiency of Dicerocaryum

- eriocarpum (DE) plant. *Water SA*, 43(1). <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i1.01>
- Omer, R. M., El Hassan, B. M., Hassan, E. A. y Sabahelkhier, M. K. (2013). Effect of guar gum (cyamopsis tetragonolobus) powdered as natural coagulant aid with alum on drinking water treatment. *ARPN Journal of Science and Technology*, 3(12), 1–8. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&ctype=pdf&doi=51bd37e87676f4a71949a5a03f17fdf1e75cf7>
- Ramavandi, B. (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry*, 6, pp. 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.07.001>
- Ramesh, S., Sudarsan, J. S. y Jothilingam, M. (2016). Low cost natural adsorbent technology for water treatment. *Rasayan Journal of Chemistry*, 9(3), pp. 325–330. https://rasayanjournal.co.in/admin/php/upload/34_pdf.pdf
- Romano, M., Kapelan, Z. y Savić, D. A. (2014). Automated Detection of Pipe Bursts and Other Events in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(4), pp. 457–467. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000339](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000339)
- Russell, S. (2021). Human-compatible artificial intelligence. *Human-Like Machine Intelligence*, 1–23. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198862536.003.0001>
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J. y Peres, J. A. (2012). Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), pp. 495–501. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000300006>
- Savic, D. (2019). *What is Artificial Intelligence and how can water planning and management benefit from it?* IAHR White Papers. <https://www.iahr.org/library/infor?pid=8426>
- Sayers, W., Savic, D. y Kapelan, Z. (2019). Performance of LEMMO with artificial neural networks for water systems optimisation. In *Urban Water Journal* (Vol. 16, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1611886>
- Schneider, F. (2011). Approaching water stress in the Alps : transdisciplinary coproduction of systems, target and transformation knowledge. *Institute for Social-Ecological Research*, May, 1–12. https://www.zobodat.at/pdf/IGF-Forschungsberichte_4_0107-0117.pdf
- Shen, C. (2018). A Transdisciplinary Review of Deep Learning Research and Its Relevance for Water Resources Scientists. *Water Resources Research*, 54(11), pp. 8558–8593. <https://doi.org/10.1029/2018WR022643>
- Singh, S. y Choubey, S. (2014). Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. *International Journal of ChemTech Research*, 6(7), pp. 3628–3634. https://www.researchgate.net/publication/278961713_Use_of_Tannin_based_natural_coagulants_for_water_treatment_An_alternative_to_inorganic_chemicals
- Solomatine, D. P. y Ostfeld, A. (2008). Data-driven modelling: Some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics*, 10(1), pp. 3–22. <https://doi.org/10.2166/hydro.2008.015>
- Toryila Tiza, M., Jiya, V. y Sesugh, T. (2023). An overview of the applications of Artificial Intelligence in water engineering. *International Journal of Engineering Science and Application*, 7. <https://doi.org/10.4108/eai.23-11-2021.172218>

- Upadhyay, K. (2018). Some Studies on the Treatment of Industrial Waste Water – A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(08). <https://www.ijert.org/some-studies-on-the-treatment-of-industrial-waste-water-a-review>
- Vekaria, D. y Sinha, S. (2024). aiWATERS: an artificial intelligence framework for the water sector. *AI Civ. Eng.* 3, 6. <https://doi.org/10.1007/s43503-024-00025-7>
- Vojinovic, Z., Abebe, Y. A., Ranasinghe, R., Vacher, A., Martens, P., Mandl, D. J., Frye, S. W., Van Ettinger, E. y De Zeeuw, R. (2013). A machine learning approach for estimation of shallow water depths from optical satellite images and sonar measurements. *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), pp. 1408–1424. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.234>
- Warner, J. (2007). *The Beauty of the Beast : Multi-Stakeholder Participation for Integrated Catchment Management*. Multi-Stakeholder Platforms for Integrated Water Management, 1–19.
- Zaidi, N.S. (2019). Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment. *International Journal of Integrated Engineering*. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/4289>