

H₂O...¡ohh! Cómo la Inteligencia artificial ayuda a contar con agua de buena calidad

JOSÉ LUIS MEDINA JIMÉNEZ, LEONEL ERNESTO AMABILIS SOSA, HÉCTOR RODRÍGUEZ RANGEL

El Mtro. Medina Jiménez obtuvo su grado de Maestría en Ciencias de la Computación en el Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán, donde actualmente estudia el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. El tema desarrollado de tesis es "estimación y simulación de parámetros de la calidad del agua en cuerpos superficiales de Sinaloa implementando inteligencia artificial". Sus áreas de interés son la inteligencia artificial aplicada para la estimación y el reconocimiento de patrones.

El Dr. Amabilis Sosa obtuvo sus grados de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde obtuvo mención honorífica y fue nominado al mérito universitario en 2015. Actualmente, es profesor investigador adscrito al Tecnológico Nacional de México, campus Culiacán, a través del programa Investigadores por México SECIHTI. Sus principales líneas de investigación incluyen procesos híbridos para el tratamiento de aguas residuales y la modelación de contaminantes persistentes.

El Dr. Rodríguez Rangel es profesor de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México, campus Culiacán, adscrito al departamento de sistemas y computación y miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras, nivel 1. Obtuvo sus grados de Maestría y Doctorado en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus áreas de interés son series de tiempo, reconocimiento de patrones y cómputo inteligente.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Introducción

El agua es uno de los recursos más esenciales para la vida, un elemento indispensable para la supervivencia de los seres humanos, los animales y las plantas. Su presencia ha sido clave en el desarrollo de civilizaciones y en el equilibrio de los ecosistemas. Todos la usamos no solamente para beber y cocinar, sino también para regar cultivos, criar animales, generar energía, fabricar productos y realizar una amplia variedad de actividades agrícolas, económicas e industriales. Así, el agua es un componente esencial en la producción de alimentos y en sectores como la medicina, la tecnología y la manufactura. Sin embargo, no toda el agua es igual en su calidad, ni se puede generalizar entre los tipos de agua (tales como dulce o aguas negras). La calidad del agua es un factor determinante para la salud y el bienestar de las personas. Por calidad nos referimos a qué tan limpia, segura y apta es para un uso específico, como lo pueden ser el consumo humano, el uso agrícola o el equilibrio ambiental. Un agua libre de contaminantes es fundamental para

evitar enfermedades, preservar los ecosistemas y garantizar la seguridad alimentaria.

Hoy en día, la calidad del agua enfrenta amenazas cada vez mayores debido a la contaminación industrial, el uso indiscriminado de plásticos, la deforestación y el cambio climático. La escasez hídrica (sequía) y la contaminación afectan a millones de personas en todo el mundo, especialmente en comunidades con acceso limitado a sistemas de saneamiento adecuados. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha surgido como una herramienta innovadora y eficaz para enfrentar estos desafíos. Su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y automatizar procesos permite desarrollar soluciones más eficientes para la gestión y conservación del agua. Desde el monitoreo de fuentes hídricas hasta la detección temprana de contaminantes, la IA está transformando la manera en que protegemos este recurso vital. A continuación, exploraremos la importancia de cuidar el agua y el impacto que la inteligencia artificial está teniendo en su preservación.

¿De dónde proviene la contaminación del agua?

El agua que utilizamos a diario puede verse afectada por distintos tipos de contaminantes que alteran su calidad y la hacen peligrosa para el consumo humano y la vida silvestre. Estos contaminantes provienen de diversas fuentes, muchas de ellas resultado de la actividad humana. A continuación, exploramos algunas de las principales causas que contribuyen a la contaminación del agua en el mundo.

- Residuos industriales:** Muchas fábricas vierten productos químicos peligrosos directamente en ríos o mares, incluyendo metales pesados como cadmio y plomo.
- Agricultura:** El uso intensivo de pesticidas y fertilizantes puede filtrar contaminantes a las aguas subterráneas y ríos cercanos.
- Aguas residuales:** En regiones donde no existe un tratamiento adecuado, los desechos domésticos e industriales se descargan directamente en cuerpos de agua, propagando bacterias y virus.
- Basura y plásticos:** Cada año, millones de toneladas de plástico terminan en los océanos, afectando tanto a la vida marina como a las cadenas alimenticias humanas.

La contaminación del agua representa una amenaza crítica que afecta de manera simultánea tanto a la salud humana como a los ecosistemas acuáticos. El agua insalubre es una de las principales causas de enfermedades a nivel mundial, provocando afecciones como diarrea, cólera, hepatitis A y fiebre tifoidea, especialmente en comunidades con acceso limitado a servicios de saneamiento. Al mismo tiempo, el deterioro de la calidad del agua afecta directamente a los ecosistemas, generando fenómenos como la eutrofización, donde el exceso de

nutrientes produce una proliferación de algas que consume el oxígeno del agua y provoca la muerte masiva de peces y otros organismos acuáticos.

Los metales pesados como el plomo, arsénico y mercurio, además de causar daños neurológicos, renales y cáncer en humanos, también se acumulan en la cadena alimenticia acuática, afectando a especies clave en los ecosistemas y a las personas que las consumen. A esto se suma la presencia de microplásticos, que no solo alteran los sistemas endocrinos en humanos, sino que también dañan células y órganos en animales marinos. Por su parte, los residuos industriales, derrames de petróleo y la basura plástica afectan de forma directa la biodiversidad acuática, poniendo en riesgo la salud de especies y de las comunidades que dependen de ellas.

Frente a este escenario, la contaminación hídrica debe entenderse como un problema integral. Sus impactos no se limitan a un sector, sino que atraviesan las fronteras entre lo ambiental, lo social y lo sanitario.

¿Qué es la calidad del agua y por qué es tan importante?

La calidad del agua se refiere a su composición física, química y biológica, la cual determina si es apta para el consumo humano, la agricultura, la recreación o la preservación de los ecosistemas. Para que el agua sea considerada segura, debe estar libre de contaminantes como bacterias, virus, químicos tóxicos, metales pesados y residuos plásticos. Sin embargo, en un mundo donde la actividad humana genera cada vez más desechos y emisiones contaminantes, la composición deseada del agua se ve amenazada constantemente.

El agua limpia no solo es vital para la hidratación y la higiene, sino que también es un factor clave en el desarrollo económico y social de las comunidades. Sin acceso al agua potable (agua apta para consumo y contacto humano sin considerar las redes de distribución), las personas enfrentan dificultades para mantener condiciones básicas de salud y saneamiento, lo que incrementa la propagación de enfermedades (Figura 1) y limita el crecimiento sostenible de las regiones afectadas. Además, la conta-

minación del agua afecta directamente a sectores claves para la sociedad, como la agricultura y la pesca, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y la sobrevivencia de millones de personas.

Dato curioso: Aunque el agua cubre el 70% de la superficie terrestre, solo el 1% es potable y accesible para el consumo humano. Este dato resalta la urgencia de proteger nuestras fuentes hídricas.

¿Cómo puede ayudarnos la inteligencia artificial?
La inteligencia artificial (IA), está revolucionando la manera en que monitoreamos, analizamos y gestionamos los recursos hídricos. Con el crecimiento poblacional, el cambio climático y el aumento de la contaminación, garantizar la calidad y disponibilidad del agua se ha convertido en un desafío global. En este contexto, la IA se ha convertido en una herramienta clave para abordar esos problemas de manera eficiente y sostenible. Gracias al desarrollo de algoritmos avanzados, sensores inteligentes y modelos predictivos, la IA permite un monitoreo en tiempo real de los cuerpos de agua, facilitando la detección temprana de contaminantes y evitando crisis hídricas. Además, su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos ayuda a predecir fenómenos como sequías, inundaciones y niveles de contaminación, lo que permite tomar decisiones estratégicas con anticipación (Figura 2).



FIGURA 2. PROCESO de la IA para la calidad del agua. El diagrama ilustra cómo la inteligencia artificial se aplica en el monitoreo y tratamiento del agua. A través de sensores y análisis de laboratorio, se registran los parámetros de calidad, que luego son procesados por modelos de IA para detectar anomalías, diagnosticar problemas y optimizar los procesos de tratamiento del agua. Fuente: elaboración propia.



FIGURA 1. CRISIS global del agua: disponibilidad y contaminación. La infografía muestra datos clave sobre la falta de acceso a agua potable, la contaminación por aguas residuales, la sobreexplotación de acuíferos y el impacto del uso agrícola, resaltando la necesidad de una gestión sostenible del recurso hídrico. Fuente: elaboración propia.

Una de las mayores ventajas de la IA en la gestión del agua es su capacidad de automatización, ya que reduce la necesidad de intervención humana en procesos como el tratamiento del agua, el control de infraestructura hidráulica y la optimización del uso en la agricultura e industria. Esto no solo mejora la eficiencia en el uso del agua, sino que también minimiza el desperdicio y los costos operativos.

En el ámbito científico, la IA ha sido utilizada para mapear y modelar ecosistemas acuáticos, permitiendo entender mejor los impactos del cambio climático en ríos, lagos y océanos. Además, ha facilitado el desarrollo de tecnologías innovadoras, como sistemas de filtración inteligente y detección de microplásticos, que contribuyen a la conservación del agua potable y la reducción de contaminantes en el ambiente.

A continuación, exploramos algunas de las aplicaciones más importantes de la IA en la preservación de la calidad del agua y su uso sostenible.

Monitoreo inteligente del agua

Hoy en día es posible medir en tiempo real distintos parámetros que determinan la calidad del agua. Estos sensores pueden detectar aspectos clave como la temperatura, el pH, la turbidez (que tan clara o turbia está el agua) y los niveles de oxígeno disuelto en ríos, lagos y, por supuesto, en plantas de tratamiento (Figura 3).

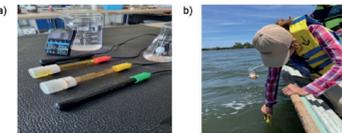


FIGURA 3. A) Sondas de captura de información (sensores) de oxígeno disuelto, pH, potencial de oxidación-reducción y conductividad. **b)** Mediciones in situ de trabajo manual para captura de información de parámetros de la calidad del agua.

La IA desempeña un papel fundamental en el proceso de monitoreo del agua, ya que analiza continuamente la información recolectada por los sensores. Con su capacidad de procesamiento, la IA puede detectar anomalías o contaminantes casi de inmediato, permitiendo una respuesta rápida ante posibles problemas. Por ejemplo, si los sensores detectan un aumento repentino de sustancias químicas peligrosas o una disminución del oxígeno en el agua, el sistema puede alertar a las autoridades para que actúen de inmediato y eviten daños mayores. Uno de los estudios recientes por Medina et al. (2025) se basó en la implementación de sensores de medición en los sitios de interés, para obtener los valores de nutrientes relacionados al fenómeno de la eutrofización (como el nitrógeno total, fósforo total y derivados de éstos), obteniendo así una estimación de nutrientes mediante métodos de inteligencia artificial.

Un gran ejemplo de esta tecnología se encuentra en California, Estados Unidos, donde un sistema de sensores conectados a inteligencia artificial monitorea constantemente los niveles de contaminación en el río Sacramento. Este sistema ha sido clave para detectar derrames de sustancias químicas y la proliferación de algas tóxicas, que podrían afectar la salud de las personas y los ecosistemas acuáticos. Gracias a esta tecnología, las autoridades pueden responder rápidamente ante cualquier problema, evitando que la contami-

nación se extienda y protegiendo el agua para su consumo y uso ambiental. Este tipo de avances demuestra cómo la inteligencia artificial no solo facilita el monitoreo del agua, sino que también ayuda a prevenir problemas antes de que se conviertan en desastres ambientales.

Predicción de problemas futuros

La inteligencia artificial no sólo nos ayuda a monitorear la calidad del agua en tiempo real, sino que también puede predecir problemas antes de que ocurran. Esto se logra mediante el análisis de datos históricos, patrones climáticos y factores ambientales, lo que permite anticipar eventos como inundaciones, sequías o contaminación del agua causada por la actividad humana.

Por ejemplo, después de lluvias intensas, los fertilizantes utilizados en la agricultura pueden ser arrastrados hacia ríos y lagos, provocando un aumento en los niveles de contaminación. La IA, al analizar datos climáticos y registros previos, puede prever cuándo y dónde es más probable que ocurra este fenómeno. De esta manera, las autoridades y los agricultores pueden tomar medidas preventivas, como reducir el uso de ciertos químicos antes de una tormenta o mejorar los sistemas de drenaje para evitar la contaminación del agua.

Un ejemplo innovador del uso de inteligencia artificial en la prevención de desastres ocurre en los Países Bajos, un país con una gran parte de su territorio por debajo del nivel del mar y que históricamente ha enfrentado el riesgo de inundaciones. Para hacer frente a este desafío, se ha desarrollado un sistema basado en IA que predice inundaciones con hasta 48 horas de anticipación.

Gracias a esta tecnología, el gobierno y las comunidades pueden prepararse con tiempo, evacuando áreas en riesgo, reforzando barreras contra el agua y minimizando los daños a viviendas, carreteras y cultivos. Este sistema ha sido fundamental para salvar vidas y reducir pérdidas económicas en un país donde la gestión del agua es crucial para su seguridad. La capacidad de la inteligencia artificial para anticiparse a problemas antes de que se conviertan en crisis es un ejemplo claro de cómo la tecnología puede ayudar a proteger tanto a las personas como al medio ambiente.

Tratamiento más eficiente del agua

Las plantas de tratamiento de agua desempeñan un papel fundamental en la purificación y el suministro de agua potable. Sin embargo, el proceso de limpieza del agua requiere de un uso preciso de químicos y un alto consumo de energía, lo que puede generar costos económicos elevados y un impacto ambiental significativo. Aquí es donde la inteligencia artificial (IA) está revolucionando el tratamiento del agua al hacerlo más eficiente, seguro y sostenible.

Derivado de la IA, los sistemas de tratamiento pueden ajustar automáticamente las dosis de productos químicos, como cloro o coagulantes, según la calidad del agua que reciben. Esto se logra mediante sensores que monitorean constantemente parámetros como el pH, la turbidez y la presencia de contaminantes. La IA analiza estos datos en tiempo real y toma decisiones precisas sobre cuánta cantidad de cada químico es necesaria, evitando tanto el desperdicio como la insuficiente dosificación, que podría dejar el agua sin la purificación adecuada.

Un caso destacado en el uso de inteligencia artificial en el tratamiento del agua es NEWater, un sistema desarrollado en Singapur, un país con pocos recursos hídricos naturales, por lo que depende en gran medida del reciclaje del agua.

El sistema utiliza IA para reciclar aguas residuales y convertirlas en agua potable con un nivel de calidad que cumple con los estándares internacionales. Gracias a la combinación

de filtración avanzada, desinfección ultravioleta y monitoreo inteligente, Singapur ha logrado reducir su dependencia de fuentes externas y garantizar un suministro sostenible de agua para su población.

Este tipo de innovación demuestra cómo la inteligencia artificial no sólo mejora la eficiencia del tratamiento del agua, sino que también permite soluciones más ecológicas y accesibles, asegurando que más personas tengan acceso a agua potable de calidad.

Detección de microplásticos

Los microplásticos son diminutas partículas de plástico, frecuentemente en el intervalo entre una décima y una centésima de milímetro de tamaño, que contaminan ríos, lagos, océanos e incluso el agua potable. Son tan pequeños que resultan invisibles al ojo humano, lo que dificulta su detección y eliminación. Estos fragmentos provienen de productos de uso diario, como botellas de plástico, ropa sintética, cosméticos y empaques, y pueden ingresar al agua a través del lavado de textiles, la descomposición de desechos plásticos y el uso excesivo de materiales plásticos desechables.

Uno de los mayores problemas de los microplásticos es que pueden acumular sustancias tóxicas en su superficie y, al ser ingeridos por organismos acuáticos, entran en la cadena alimenticia. Esto significa que también terminan en el cuerpo humano a través del consumo de agua, mariscos y otros alimentos contaminados.

Dado que los microplásticos son prácticamente imperceptibles, la inteligencia artificial está desempeñando un papel clave en su detección y monitoreo. Utilizando tecnologías como espectroscopía láser e imágenes de alta resolución, los algoritmos de IA pueden identificar, clasificar y mapear la presencia de microplásticos en diferentes fuentes de agua. Por ejemplo, la IA puede analizar muestras de agua y diferenciar entre partículas de plástico y otros materiales, como arena o restos orgánicos. Con esta información, los científicos pueden comprender cómo se distribuyen los microplásticos en los ecosistemas acuáticos y desarrollar estrategias para reducir su impacto.

Este avance en la detección de microplásticos con IA no sólo nos ayuda a comprender la magnitud del problema, sino que también representa un paso crucial hacia la reducción de la contaminación plástica y la protección de nuestra salud y la del planeta.

Dato curioso: ¡Comemos plástico sin darnos cuenta! Un estudio reciente reveló que las personas ingieren aproximadamente 5 gramos de plástico a la semana, lo que equivale al peso de una tarjeta de crédito. Esto ocurre principalmente a través del agua potable, la sal de mesa y ciertos mariscos. Aunque los efectos exactos en la salud aún se están investigando, la exposición prolongada a microplásticos podría estar relacionada con problemas hormonales, inflamación y toxicidad en el organismo.

Uso inteligente del agua en la agricultura

La agricultura es el sector que más agua consume a nivel mundial, utilizando aproximadamente el 70% del agua dulce disponible. Sin embargo, gran parte de este recurso se desperdicia debido a técnicas de riego ineficientes y la falta de monitoreo adecuado. Para enfrentar este desafío, la inteligencia artificial (IA) está revolucionando la forma en que se gestiona el riego, optimizando el uso del agua y aumentando la productividad de los cultivos.

Gracias a sensores en los campos, imágenes satelitales y datos climáticos en tiempo real, la IA puede analizar la humedad del suelo, las condiciones meteorológicas y las necesidades específicas de cada cultivo. Con esta información, los sistemas inteligentes pueden deter-

minar el momento ideal para regar y la cantidad exacta de agua necesaria, evitando el desperdicio y mejorando la eficiencia hídrica. En Israel, un país con recursos hídricos limitados, los agricultores han implementado un sistema de riego inteligente basado en IA que ha reducido el consumo de agua en un 30%, mientras que la productividad de los cultivos ha aumentado significativamente. Este tipo de tecnología no sólo beneficia a los agricultores, sino que también ayuda a preservar los recursos hídricos y a mitigar los efectos de la sequía.

La unión de tecnología y conciencia: un llamado a la acción

Aunque la inteligencia artificial nos brinda herramientas increíbles para proteger la calidad del agua, la responsabilidad final recae en cada uno de nosotros. La tecnología puede facilitar soluciones, pero no reemplaza la necesidad de actuar de manera consciente y sostenible.

¿Qué podemos hacer como individuos y sociedad?

- **Reduce el uso de plásticos:** Opta por botellas reutilizables y bolsas de tela para minimizar los desechos.
- **Evita la contaminación directa:** No arrojes basura, aceites o productos químicos en ríos o desagües.
- **Apoya leyes y regulaciones:** Exige a las autoridades implementar y hacer cumplir normativas que protejan los recursos hídricos.
- **Usa el agua de manera responsable:** Pequeños cambios, como cerrar el grifo al cepillarte los dientes, pueden marcar una gran diferencia.

Para saber más

Li, L., Haoran, Y., & Xiaocang, X. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 10:880246 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>

Sundul, B., Ramirez Calderon, O.A., Abdel-dayem, O.M. et al. Applications of machine learning algorithms for biological wastewater treatment: Updates and perspectives. *Clean Techn Environ Policy* 23, 127–143 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01993-x>

Naciones Unidas. (s.f.). Agua. Naciones Unidas. Acceso el 13 de febrero de 2025, de <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Irwan, D., Ali, M., Ahmed, A.N. et al. Predicting Water Quality with Artificial Intelligence: A Review of Methods and Applications. *Arch Computat Methods Eng* 30, 4633–4652 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11831-023-09947-4>

Jin, H., Kong, F., Li, X., & Shen, J. (2024). Artificial intelligence in microplastic detection and pollution control. *Environmental Research*, 262, 119812. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119812>

Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chendogen, R., Koppu, S., Iyapparaja, M., Sadhasivam, J., & Sethuraman, S. (2022). Smart Water Resource Management Using Artificial Intelligence—A Review. *Sustainability*, 14(20), 13384. <https://doi.org/10.3390/su142013384>

Medina-Jiménez, J. L., Amabilis-Sosa, L. E., Mendivil-García, K., Morales-Rosales, L. A., Gonzalez-Huitrón, V. A., & Rodríguez-Rangel, H. (2025). Application of artificial intelligence for nutrient estimation in surface water bodies of basins with intensive agriculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 21(5), 335–349. <https://doi.org/10.1093/inteam/vjae034>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com

