

Ciencia, arte, tradición, opinión, reflexión y meditación...

Artículo: *Monitoreo del consumo de agua en los hogares de la CDMX utilizando internet de las cosas*

Autor(es): Carlos Guzmán Sánchez Mejorada
Miguel Torres Ruiz
Rolando Quintero

Publicación: No. 3T, vol. 2025, pp. 47 - 57

Reserva de derechos al uso exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR): 04-2025-021418562600-102. ISSN: 2992-8648.

Las opiniones expresadas por los autores de artículos, no necesariamente reflejan la opinión del editor responsable o de los integrantes del Comité Editorial.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, bajo la condición ineludible de citar la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



Monitoreo del consumo de agua en los hogares de la CDMX utilizando internet de las cosas

No. 3T

Vol. 2025

Carlos Guzmán Sánchez Mejorada cmejorada@cic.ipn.mx
Miguel Torres Ruiz mtorres@cic.ipn.mx
Rolando Quintero quintero@cic.ipn.mx

Actualmente, a nivel mundial, se enfrenta un problema de escasez de agua; a pesar de que aproximadamente el 71% de la superficie del planeta está cubierta por dicho recurso. Sin embargo, sólo cerca del 2.5% corresponde a agua dulce, y de esa pequeña fracción, alrededor del 14% se distribuye a través de redes de suministro público para el consumo humano, ver Figura 1.

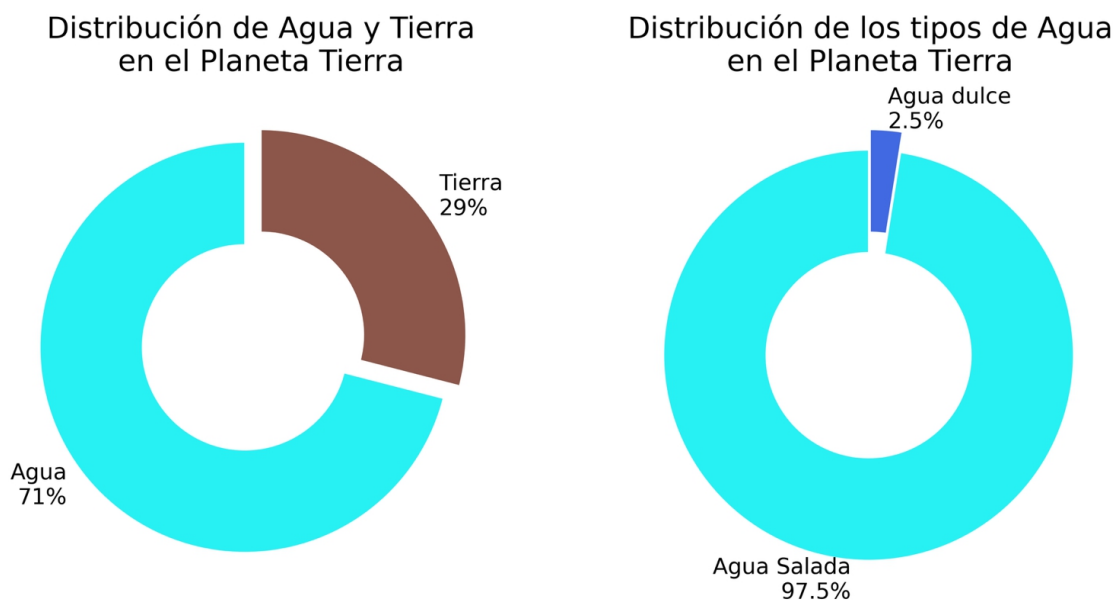


Figura 1. Distribución del agua en el Planeta Tierra

El agua dulce del planeta se distribuye de la siguiente forma: el 68.7% se encuentra congelada en los glaciares y casquetes polares, el 30.1% se encuentra en depósitos subterráneos, aproximadamente el 0.3% en lagos y ríos, que puede consumirse de manera directa y el 0.9% restante se encuentra como vapor de

agua en la atmósfera, en la humedad del suelo y dentro de los organismos vivos. Lo anterior se puede apreciar en la gráfica que se presenta en la Figura 2.

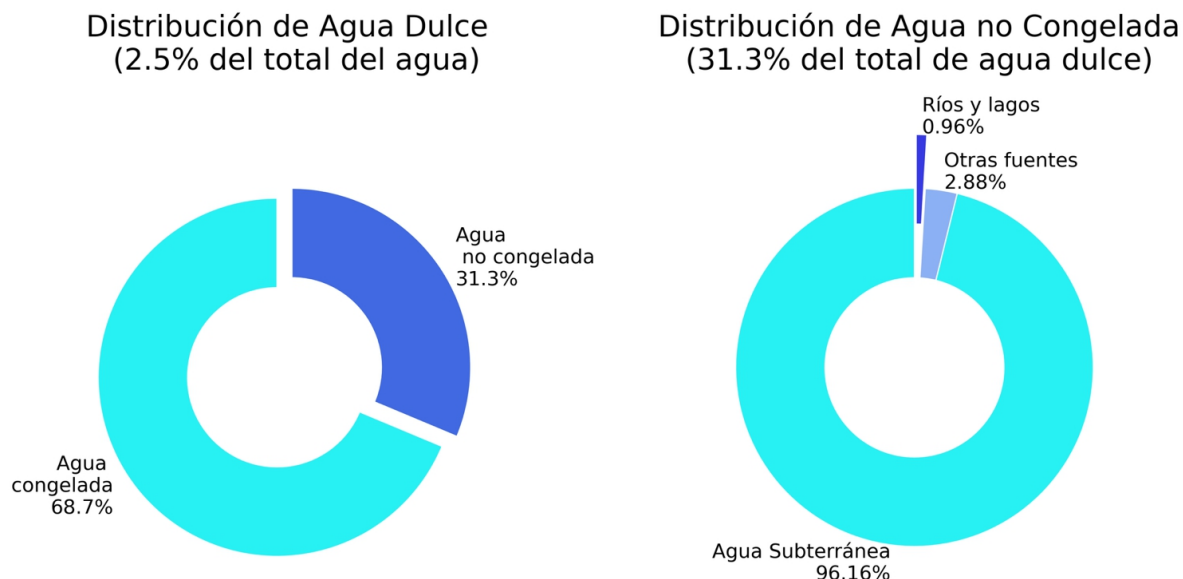


Figura 2. Distribución del agua dulce en el Planeta Tierra

La Ciudad de México no es ajena a esta crisis, ya que problemas como la sobreexplotación de los mantos acuíferos y los sistemas que la abastecen, así como la antigüedad de la red de distribución, la gran cantidad de fugas, el incremento poblacional y la rápida expansión urbana, han provocado que la disponibilidad del vital líquido disminuya año con año.

Para contextualizar la problemática del consumo de agua en la Ciudad de México, se elaboró un mapa que ilustra el consumo por colonia, utilizando los datos abiertos de la Ciudad de México (1). Esos datos de consumo de agua por colonia contienen las coordenadas geográficas que permiten su localización, lo cual es fundamental para el análisis espacial. Esa información geoespacial no solo permite visualizar los niveles de consumo mediante una escala de colores, identificando zonas de menor a mayor gasto que varía del azul al rojo, en donde el azul indica valores de menor consumo y el rojo los de mayor demanda, a su vez, esta representación sienta las bases para futuras integraciones, estrategias para definir políticas públicas y campañas de concientización dirigidas a la población. Por otro lado, se estableció un proceso para vincular las lecturas automatizadas de los medidores con su información geoespacial, con la

finalidad de obtener información más precisa y detallada que permita analizar los patrones de consumo y ubicar los hogares con su respectivo consumo. El impacto directo de este análisis apunta a facilitar la implementación de estrategias de gestión hídrica más precisas y eficientes en distintas áreas geográficas de la ciudad. Asimismo, el contar con información geoespacial y generar pronósticos de consumo por región geográfica, considerando diferentes granularidades, puede auxiliar a las autoridades a crear políticas de gasto hídrico, incrementar la inversión en infraestructura y buscar soluciones sustentables para la ciudad.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) calcula que el consumo promedio de agua es de 380 litros por persona al día [2]. y según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere aproximadamente 100 litros diarios –equivalentes a cinco cubetas de 20 litros– para cubrir sus necesidades básicas de consumo e higiene [3].

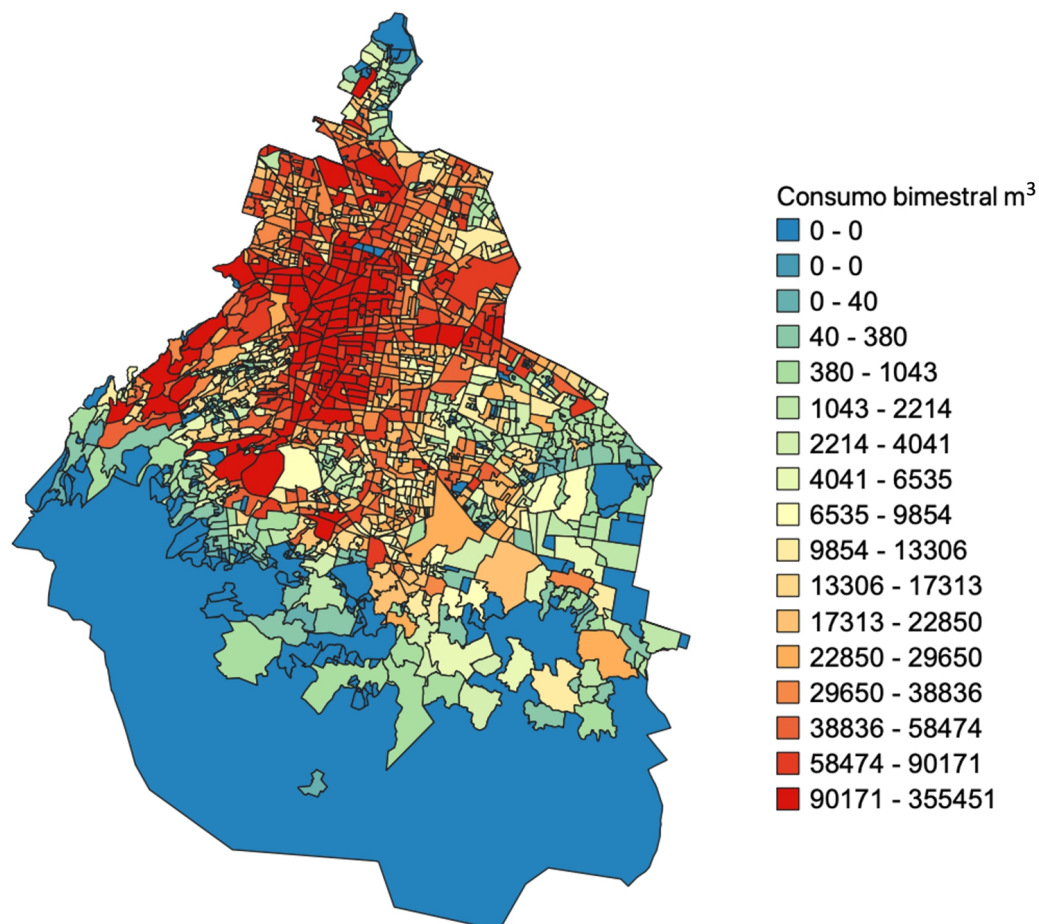


Figura 3. Consumo bimestral de agua por colonia en m³

SACMEX provee, en promedio, 150 litros de agua potable por persona al día. La diferencia entre este suministro y el consumo promedio de 380 litros puede explicar, en parte, el desabasto de agua en algunas áreas de la Zona Metropolitana del Valle de México.

En los hogares de la Ciudad de México se perciben grandes carencias en el suministro de agua, entre las que destacan el servicio intermitente en el suministro, la cantidad de agua entregada y la desconfianza en la calidad del líquido que se recibe (4).

Por tanto, la medición, a nivel usuario, es de vital importancia para contabilizar el flujo de agua potable que ingresa a las tomas domiciliarias. Para ayudar a reducir dicha escasez, es necesario que la población tome conciencia de la cantidad de agua que consume y la forma en la que la utiliza, empezando por sus hogares, lo cual puede lograrse mediante el monitoreo continuo de su consumo.

¿Qué pasaría si pudiéramos usar las tecnologías de la comunicación e información para medir el consumo de agua de manera automática, precisa y accesible?

El monitoreo del consumo de agua en los hogares, puede llevarse a cabo utilizando aplicaciones y dispositivos inteligentes, implementados en pequeñas computadoras y de bajo costo, lo que implica que los ciudadanos puedan tomar mejores decisiones para reducir y optimizar el uso del agua, contribuyendo al desarrollo sustentable y a la disminución de costos económicos (5).

El *Internet de las Cosas* (IoT *Internet of Things*) (6) toma como base la idea de que todos los objetos físicos cotidianos, pueden conectarse a través de *Internet* para monitorear, medir, enviar, recibir y compartir datos entre ellos, utilizando además, un dispositivo electrónico que puede ser una computadora, la cual cuenta con un programa desarrollado para administrar y procesar la información, la cual puede ser presentada al usuario en forma de gráficas que muestren el consumo diario, por semana o mensual, a través de una pantalla o un reporte impreso, revelando así, los hábitos de su consumo. Otro aspecto importante es que mas, con ayuda de algunos métodos basados en inteligencia

artificial, pueden generar alertas al detectar alguna anomalía en el consumo habitual (7).

Gracias a las arquitecturas de IoT, es posible conectar pequeños dispositivos que recolectan datos mediante comunicación inalámbrica y tecnologías de *Internet*, para luego analizarlos (8). Esas soluciones, de bajo costo y fácil implementación, pueden integrarse en los hogares, permitiendo a los usuarios monitorear de manera eficiente el consumo de recursos esenciales, como el agua. Así, la tecnología se convierte en una herramienta asequible para promover un uso más consciente y sustentable de nuestros recursos.

En este trabajo, se presenta el diseño y construcción de un prototipo que consiste de un dispositivo electrónico que combina tecnología IoT, visión artificial y modelos de procesamiento de datos basados en inteligencia artificial, capaces de identificar patrones visuales, y que fueron creados para revolucionar la forma en que medimos el consumo de agua en nuestros hogares. De esta manera, se busca facilitar el acceso a información precisa y en tiempo real, promoviendo un uso más consciente y eficiente de este recurso vital.

Consideraciones generales

Para el desarrollo del prototipo, se hace uso de las siguientes tecnologías:

- ***Internet de las Cosas:*** Esta tecnología es la que hace posible la conexión inalámbrica entre el dispositivo electrónico y el sistema de procesamiento, facilitando la transmisión de los datos sin necesidad de usar cables, lo que hace que la instalación sea más simple y menos invasiva.
- ***Visión artificial:*** Captura de imágenes por medio de una cámara que toma fotografías del medidor de agua. Esta tecnología es especialmente útil para medidores antiguos sin capacidades digitales.
- Técnicas de aprendizaje automático especializadas en el análisis de imágenes.

Arquitectura general del sistema

El prototipo del sistema consiste en un dispositivo electrónico que utiliza una cámara integrada para la toma de fotografías de un medidor de agua tradicional. Las imágenes capturadas son enviadas a un sistema de procesamiento de datos visuales, donde se hace uso de las técnicas de aprendizaje automático, cuyos algoritmos pueden aprender a extraer los dígitos que representan el consumo de agua directamente de las fotografías capturadas.

En la Figura 4, se presenta un diagrama del marco general propuesto para el reconocimiento y generación de imágenes del consumo, tomadas de un medidor de agua.

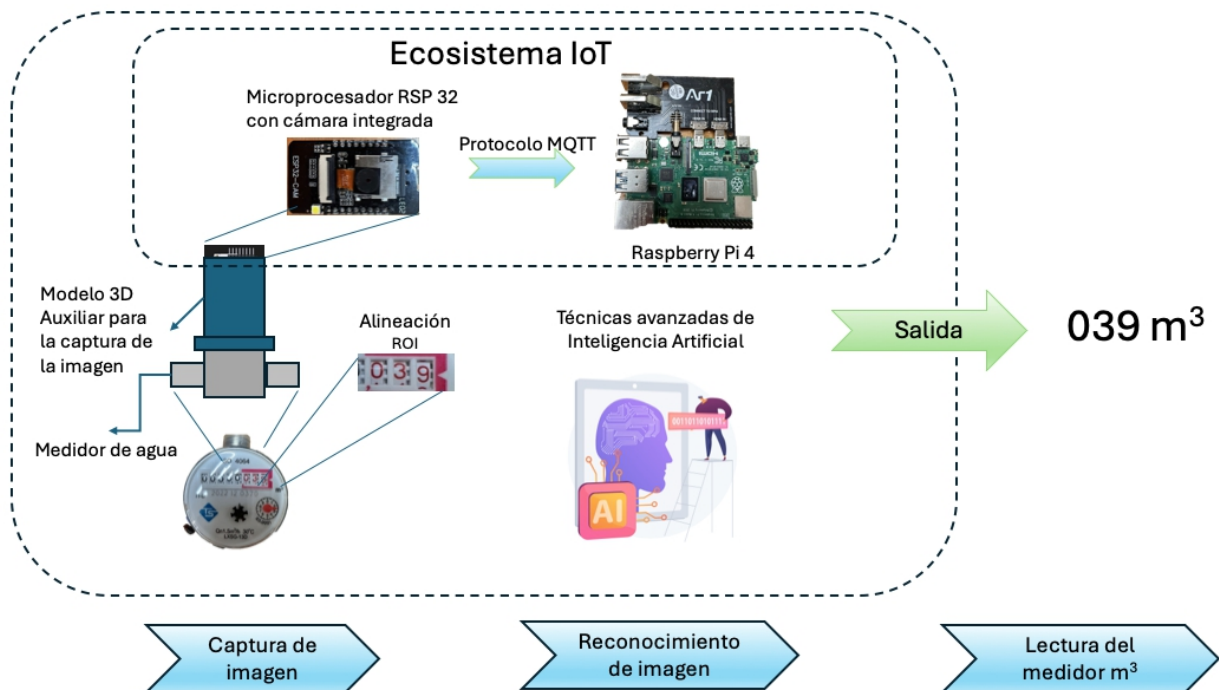


Figura 4. Marco general de aplicación del prototipo de dispositivo electrónico para la lectura de consumo de un medidor de agua

Para la captura de las imágenes, se utiliza un micropocesorador ESP32 con cámara integrada, que se encarga de tomar las fotografías del medidor de agua de forma periódica, es decir, en intervalos de tiempo programables. Este componente permite la captura de imágenes en tiempo real, sin la necesidad de la intervención humana.

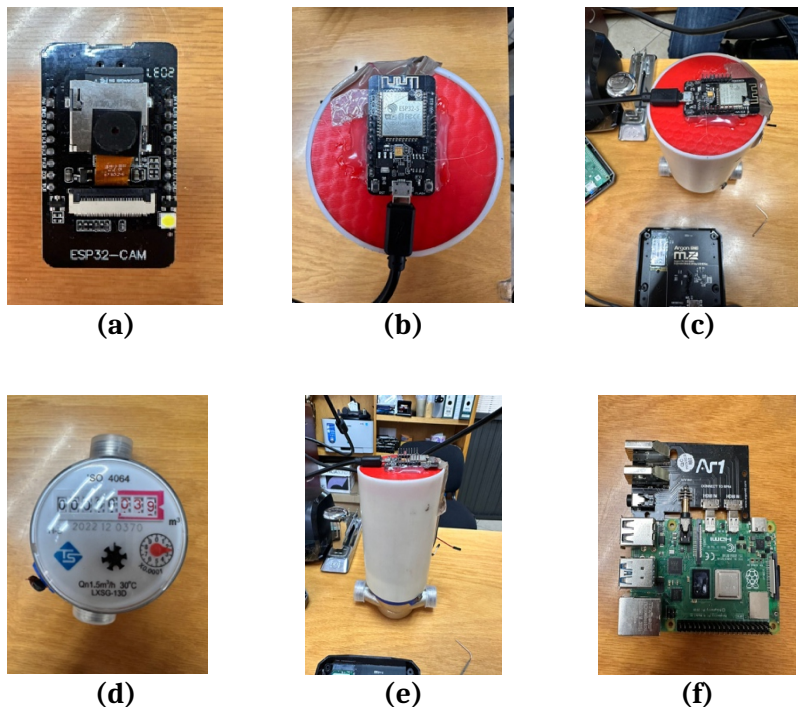
Las imágenes se envían a una minicomputadora Raspberry Pi 4 para su procesamiento, mediante el protocolo *MQTT*. Posteriormente, las imágenes son procesadas aplicando modelos basados en inteligencia artificial, capaces de identificar patrones visuales, con la finalidad de extraer los dígitos correspondientes del medidor.

El protocolo *MQTT* es un protocolo de comunicación diseñado para la transmisión de mensajes entre dispositivos en redes, con ancho de banda limitado o conexiones inestables. Consume muy pocos recursos, lo que lo hace ideal para aplicaciones en tiempo real.

Los datos de la lectura del medidor, es decir, los datos de consumo, se almacenan en una base de datos y pueden ser consultados por los usuarios mediante una aplicación móvil o una plataforma en línea. Esta tarea permite a los usuarios monitorear su consumo de agua en tiempo real y recibir alertas en caso de detectar patrones de consumo inusuales.

Resultados

En la Figura 5, se muestran los elementos que conforman el prototipo del dispositivo electrónico diseñado para la medición del agua.





(a)



(a)

Figura 5. Fotografías de los componentes del prototipo de dispositivo electrónico para medición del consumo de agua

- (a) Microprocesador ESP32 con cámara integrada, utilizada para la captura de imágenes de consumo del medidor de agua
- (b) Microprocesador ESP32, instalado sobre un modelo 3D
- (c) Modelo 3D, con el microprocesador ESP32, instalado sobre el medidor de agua
- (d) Medidor de agua empleado para probar el prototipo
- (e) Vista lateral del prototipo conectado e instalado sobre el medidor de agua
- (f) Raspberry Pi 4
- (g) Raspberry Pi 4 conectada
- (h) Raspberry Pi 4 dentro de su contenedor

Contribución e impacto del prototipo

Este trabajo es una contribución relevante en múltiples aspectos, tanto técnicos como prácticos, con el potencial de impactar positivamente en la eficiencia, precisión y sostenibilidad de la medición del consumo de agua en los hogares. A continuación, se detallan las principales contribuciones del prototipo desarrollado:

- Al combinar tecnologías de vanguardia como IoT, visión artificial y técnicas avanzadas de inteligencia artificial se apoya a los usuarios en el monitoreo de su consumo de agua.
- Permite que el monitoreo del consumo de agua sea en tiempo real, minimizando los errores asociados a la intervención humana, con lo que se promueve el uso responsable del vital líquido, contribuyendo a la conservación de los recursos hídricos y a la sustentabilidad ambiental.
- Al automatizar la lectura de los medidores, los usuarios pueden identificar consumos excesivos o inusuales de agua, lo que los alerta

para revisar las instalaciones en sus hogares y detectar posibles fugas. Encontrar y reparar estas fugas no solo ayuda a reducir el desperdicio de agua, sino también a ahorrar dinero. Por ejemplo, una fuga pequeña puede desperdiciar cientos de litros de agua al mes, lo que se refleja en un aumento significativo en la factura. Este sistema promueve un uso más responsable y eficiente del agua, beneficiando tanto al medio ambiente como al bolsillo de los ciudadanos.

- Lleva tecnologías como IoT y visión artificial a los hogares, acercando así, estas herramientas a las personas que no están familiarizadas con ellas.

Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones más relevantes del presente trabajo:

- La integración del microprocesador ESP32 con cámara, junto con el modelo 3D para posicionamiento y técnicas de aprendizaje automático, demostró ser una solución eficiente y robusta para el reconocimiento de lecturas de medidores de agua, alcanzando un 97.8% de precisión en la identificación de dígitos. El empleo de un modelo 3D, para montar el dispositivo sobre el medidor de agua—proporciona la estabilidad suficiente, facilitando la captura de las imágenes del medidor.
- El prototipo ayuda a reducir posibles errores humanos en la lectura de los medidores, recopilando de forma eficiente los datos para el monitoreo continuo del consumo en los hogares. Consideramos que este trabajo representa un avance significativo en la automatización del monitoreo del consumo de agua. El prototipo, además de ser una solución tecnológica, también es una herramienta que permite a los ciudadanos tomar decisiones informadas y responsables sobre su consumo de agua. La capacidad de detectar fugas o consumos inusuales no solo genera ahorros económicos, sino que también

promueve un uso más consciente y sostenible de este recurso vital.

Finalmente, debemos mencionar que en un mundo donde el agua es un recurso cada vez más escaso, proyectos como éste, demuestran cómo la ciencia y la innovación pueden ayudar a construir un futuro más sustentable y equitativo para la sociedad.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Instituto Politécnico Nacional, con los proyectos 20251107 y 20251101 y por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, con el proyecto “Aplicación del cómputo urbano para analizar la dinámica urbana y la sustentabilidad de las grandes ciudades”, con registro SECTEI/182/2023.

Para conocer más, consulta:

- 1) *Portal de datos abiertos de la CDMX*
<https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/consumo-agua>
- 2) *Manejo sustentable del agua CDMX*
<https://www.congresocdmx.gob.mx/archivos/finanzas/infografiamanejosustentabledelagua2022.pdf>
- 3) *Who, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition, 2022.*
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- 4) *Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México.*
Gestión y Política Pública, 28(1), 39-67.
Revollo Fernández, Daniel A; Rodríguez Tapia, Lilia; Morales Novelo, Jorge A. (2019).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792019000100039
- 5) *Energy-Aware Smart Home Planning: A Real Case Study in Montevideo. Uruguay.*
Smart Cities 4th Ibero-American Congress, ICSC-Cities 2021. 1555, págs. 146-161.
Cancun, México: Communications in Computer and Information Science Springer.
https://www.researchgate.net/publication/358856310_Energy-

- 6) *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*
International Journal of Engineering Science and Computing,6.
Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016).
[https://www.researchgate.net/publication/330425585 Internet of Things-IOT Definition Characteristics Architecture Enabling Technologies Application Future Challenges](https://www.researchgate.net/publication/330425585_Internet_of_Things-IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges)
- 7) *An Intelligent Modular Water Monitoring IoT System for Real-Time Quantitative and Qualitative Measurements*
Syrmos, E., Sidiropoulos, V., Bechtsis, D., Stergiopoulos, F., Aivazidou, E., Vrakas, D., Vlahavas, I. Sustainability MDPI (2023), 15(3), 2127
<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2127>
- 8) *Design and Installation of an IoT Electricity and Water Technological and Monitoring Solution.*
Smart Cities 4th Ibero-American Congress, ICSC-Cities 2021. 1555, págs. 146-161.
Cancun, México: Communications in Computer and Information Science Springer.
Escamilla-Ambrosio, P. J., Pulido-Navarro, M. G., Ramírez-Salinas, M. A., & Sossa-Azuela, J. H. (2022).
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-96753-6_21