

ODS 6. Agua limpia y saneamiento. Agua superficial y subterránea en el marco del ODS 6: retos y perspectivas para la gestión sostenible con nuevas tecnologías



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.359.06>

MAURO ESPINOZA ORTIZ*
JUAN PABLO APÚN MOLINA**
LUIS ALBERTO GARCÍA CABRERA***

Resumen

Este capítulo se centra en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), que aborda el acceso al agua limpia y al saneamiento. Explora la importancia de este objetivo dentro de la Agenda 2030 y destaca los desafíos y metas para lograrlo. Se realizó una descripción del papel que juega el agua superficial y subterránea en el desarrollo sostenible con las innovaciones tecnológicas emergentes, especialmente el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), para una gestión hídrica más eficiente. Además, el reflejo de la necesidad de gobernanza inclusiva y cooperación internacional para alcanzar las metas del ODS 6, en el que la participación ciudadana y académica representa una alternativa eficiente para el monitoreo de variables relacionadas al agua, así como el desarrollo de proyectos tecnológicos de bajo costo para el monitoreo del agua.

Palabras clave: *IoT, sensores Low-Cost, agua limpia, gestión integral.*

* Doctor en Ciencias en Conservación del Patrimonio Paisajístico. Investigador posdoctoral en CIIDIR, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9970-1736> ; Scopus: 57194554348; correo electrónico: espinoza_carpin@hotmail.com

** Doctor en Ciencias en Biotecnología. Profesor-investigador titular C en CIIDIR, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9006-8882>; Scopus: 8557066500

*** Licenciado en Ingeniería Civil. Estudiante de maestría en CIIDIR-Sinaloa, México.

Introducción: el agua como pilar del desarrollo sostenible

El ODS 6 y su rol en la Agenda 2030

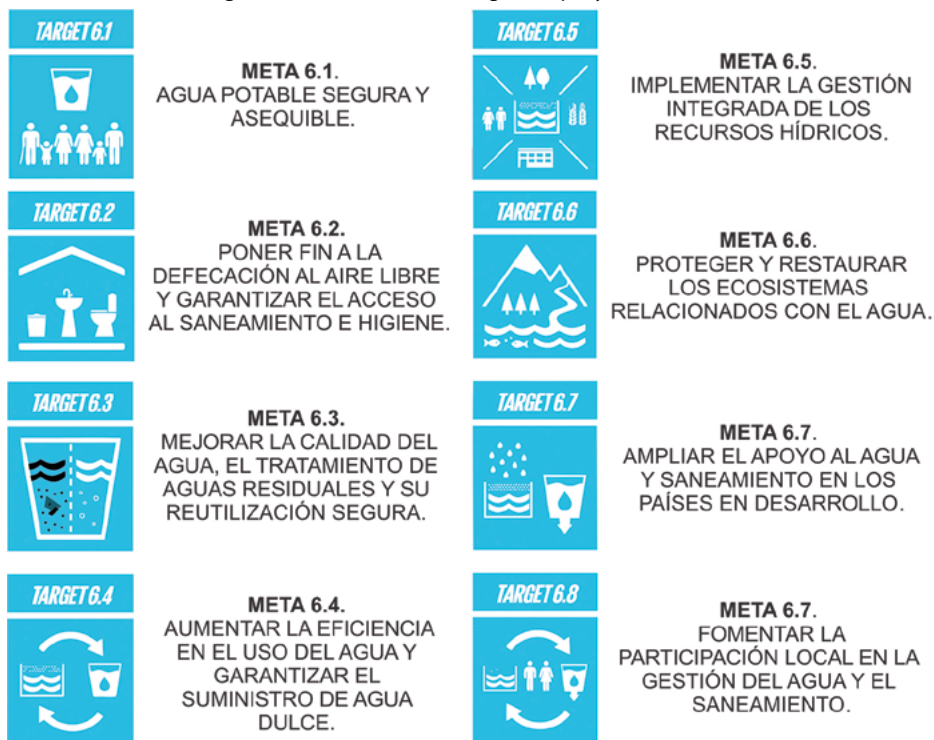
La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por las Naciones Unidas en 2015, establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) orientados a erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos (ONU, 2024). Dentro de estos objetivos, se describe el ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento, que se centra en garantizar la disponibilidad, la gestión sostenible y equitativa, y el saneamiento del agua para toda la población, aunado a que el agua es crucial para actividades económicas como la agricultura la industria y la generación de energía, convirtiéndose en un recurso pilar fundamental para la reducción de la pobreza y el desarrollo (Vallés Figueras, 2024).

Para alcanzar los ODS urge una mayor inversión en infraestructura y la aplicación de la gobernanza del agua para asegurar salud pública y reducir la transmisión de enfermedades y virus debido a que millones de personas tienen una carencia al acceso de agua limpia para el saneamiento (Küfeoğlu, 2022).

El ODS 6 plantea metas ambiciosas, en las que cualquiera puede contribuir en la comunicación y acción. (ONU, 2022):

- **6.1** De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- **6.2** De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- **6.3** De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar, y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgo.

Figura 1. Metas de los ODS 6: agua limpia y saneamiento



Fuente: traducida de <https://www.globalgoals.org/goals/6-clean-water-and-sanitation/>.

- **6.4** De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- **6.5** De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- **6.6** De aquí a 2030, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- **6.a** De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en

actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

- **6.b** Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Importancia del agua en el desarrollo humano y ambiental

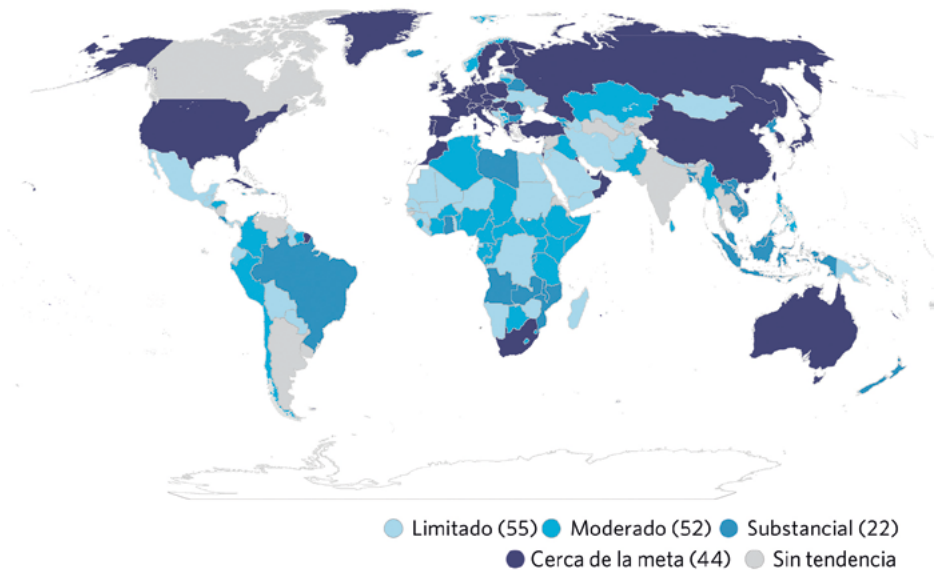
El agua es un recurso esencial para la vida y un factor clave en el desarrollo social, económico y ambiental. Su acceso y gestión adecuada influyen directamente en la salud pública, la producción de alimentos, la generación de energía y la conservación de los ecosistemas. Los ODS son una parte fundamental de una visión global encaminada hacia el desarrollo sostenible. Asimismo, las empresas que utilizan el agua están llevando actividades para cumplir el ODS 6, y una de las dificultades que se denota en la necesidad de modernización de infraestructura, la adaptación al cambio climático y equilibrar la sostenibilidad económica y ambiental (Vallés Figueras, 2024). A pesar de los grandes avances, miles de millones de personas continúan sin acceso a agua potable segura, saneamiento ni higiene. Sin embargo, el acceso al agua potable y saneamiento mejoró notablemente en las zonas rurales, pero se estancó o disminuyó en las urbanas (ONU, 2024).

Por otro lado, uno de los problemas más significativos para la resolución de los ODS en materia del agua ha sido la inversión financiera para estos objetivos, que de no mostrar un cambio en la inversión será muy difícil llegar a la meta del 2030. Para el ODS 6.1, 6.2 indicados en el acceso de agua limpia y lograr un acceso adecuado y equitativo en materia de higiene específicamente en atención en mujeres y niñas, se espera un costo de cerca de los 150 billones de dólares cada año (Küfeoğlu, 2022). Los ODS no pueden lograrse sin la gestión de ecosistemas naturales, ya que almacenan, regulan, filtran y purifican el agua. Para alcanzar completamente la primera meta (6.1), toda la tierra natural que provea agua limpia a cualquier población humana deberá gestionarse de manera sostenible, contribuyendo así al suministro de agua potable segura y asequible (Mulligan et al., 2020). Se ha

reportado que la calidad del agua está mejorando en algunos países gracias a la supervisión efectiva de las herramientas de gestión, sin embargo, aún existe muchas incógnitas, la falta de coordinación intersectorial, así como la implementación de acuerdos operacionales de cooperación transfronterizo sobre el agua amenaza el avance de las metas de los ODS para el clima, la alimentación, la energía, la salud, la vida terrestre y marina, como la paz (ONU, 2024). Resulta alentador que 44 países hayan estado a punto de alcanzar la meta y que 22 hayan demostrado que es posible un progreso real y rápido, pero es necesaria una aceleración urgente en 107 países, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Países que han logrado avance en los ODS 6

Avances en la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos, 2017-2020



Nota: Cantidad de países por nivel de avance está indicado entre paréntesis.

Fuente: ONU, (2024).

La dualidad del agua: superficial y subterránea

El agua disponible en el planeta se encuentra distribuida en diferentes fuentes: el agua superficial (ríos, lagos, embalses) y el agua subterránea (acuíferos y capas freáticas). Ambas son esenciales para el equilibrio del ciclo hidrológico y el abastecimiento de agua potable, pero presentan desafíos distintos en términos de gestión, acceso y conservación. Se destaca que las mayores reservas de almacenamiento de agua dulce se encuentran en los acuíferos y como el agua superficial, a pesar de esto se debe cumplir con requerimientos específicos de infraestructura para ser utilizada de manera ambientalmente responsable, que para lograr una gestión eficiente requieren inversiones iniciales significativas para fortalecer el marco de gobernanza en la administración de recursos que este alineado a los ODS 6, para abordar la escasez de agua y promover la sostenibilidad (Mujtaba et al., 2024).

La gestión sostenible de ambas fuentes de agua es un reto clave dentro del ODS 6, ya que su adecuado manejo permite garantizar la seguridad hídrica, reducir la vulnerabilidad ante sequías y preservar los ecosistemas acuáticos.

Agua superficial y subterránea, su rol en el desarrollo sostenible

Es importante señalar que el efecto del cambio climático agrava los desafíos para calcular patrones de precipitación y aunado al aumento de la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones, estos fenómenos naturales afectan la disponibilidad de agua, además, si se contemplan los daños de infraestructura existente complica la gestión de recursos hídricos (Vallés Figueras, 2024).

Los paradigmas tradicionales de gestión del agua han priorizado enfoques centralizados a gran escala, como la construcción de represas y sistemas de riego extensivos, aunque efectivos, han generado impactos negativos en los ecosistemas, desplazado comunidades y causados problemas como el desperdicio de agua y la sobreexplotación de recursos, especialmente en regiones áridas. Además, los sistemas centralizados de tratamiento y distribución de agua requieren grandes inversiones y mantenimiento continuo.

De esta manera, la extracción excesiva de agua subterránea ha agotado acuíferos y afectado la disponibilidad a largo plazo del agua. Los marcos legales sobre la asignación de agua han sido rígidos y no se adaptan a las demandas cambiantes, y la gobernanza del agua ha descuidado la participación local. Las metodologías tradicionales, basadas en soluciones técnicas, no consideraban la sostenibilidad ecológica. Actualmente, se está moviendo hacia métodos integrados y sostenibles que garanticen la seguridad hídrica a largo plazo (Onyena y Sam, 2025).

Innovaciones y soluciones tecnológicas para la gestión del agua

Recientemente, los desarrollos de la tecnología Internet of Things (IoT) ha mostrado un potencial para la solución y realización de los ODS, específicamente en los ODS 6, 9 y 11, se ha visto que los países observan un desarrollo elevado respecto a estos retos para lograr una gestión integrada y eficiente del recurso con técnicas de optimización (Ugwuanyi et al., 2021; Vallés Figueras, 2024).

Internet of Things (IoT). Además, la Inteligencia Artificial (IA) ha estado impregnado en la sociedad de diversas formas y se espera que en los próximos años se aumente la utilización de la IA para la digitalización y aprendizaje automático en tema de agua en sensores (Urquilla Castaneda, 2024) 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). Recientemente se han llevado cabo entrevistas y encuestas a empresas de servicios públicos en EUA, encontrando que la adopción de IA varía según el tamaño de la empresa. Ninguna de las empresas pequeñas usa IA, mientras que sólo el 50% de las medianas y grandes la implementan, y muchas dependen de proveedores externos debido a la falta de experiencia interna. Esto sugiere que la IA en el sector del agua aún está en

una fase temprana y su “caja negra” (desconocimiento del proceso de variables) genera problemas de confianza y sostenibilidad (Vekaria y Sinha, 2024).

Existen empresas que han utilizado tecnologías emergentes que emplean IoT y la Inteligencia Artificial para abordar diversos problemas relacionados con el agua. Compañías como Aguardo utilizan sensores IoT para monitorizar el consumo de agua y la IA para ofrecer recomendaciones de ahorro. Asterra aplica tecnologías de *big data* e IA para analizar datos satelitales e identificar fugas en tuberías subterráneas. Del mismo modo, CropX utiliza sensores IoT y algoritmos de IA para optimizar el riego, e Hibo emplea IA para evaluar el estado de las tuberías de agua basándose en datos de sensores IoT. OCEO Water también utiliza sensores IoT y aprendizaje automático para garantizar la calidad del agua en tiempo real. Estas tecnologías permiten una gestión más eficiente y precisa de los recursos hídricos, la detección temprana de problemas y la mejora general de los servicios de agua y saneamiento (Küfeoğlu, 2022).

Figura 3. Análisis de enfoques y propuestas de valor de 36 empresas dedicadas al agua con tecnologías emergentes dedicadas a la gestión integral del agua y saneamiento (Küfeoğlu, 2022).



Fuente: Küfeoğlu, 2022.

Por otro lado, la tecnología IoT se ha beneficiado por las coberturas actuales de comunicación en redes GSM, la tecnología IoT está jugando un papel vital para facilitar la provisión de soluciones de monitoreo ambiental en el contexto de los retos que conlleva llevar los sistemas de monitoreo en localidades de difícil acceso, por esta razón la comunicación en redes telefónicas y satelitales beneficia al IoT, esto repunta como una alternativa para alcanzar los ODS debido a que los sensores de captura y transmisión de datos mediante WiFi pueden lograr cobertura de mayor escala para la obtención de variables ambientales que refuercen el conocimiento del agua (Bravo Álvarez y Montejo-Sánchez, 2021; Ugwuanyi et al., 2021).

Gobernanza y participación ciudadana en la gestión del agua

La gestión sostenible de los sistemas de agua a menudo deja en segundo plano la participación comunitaria. Sin embargo, las comunidades locales pueden ofrecer soluciones innovadoras y basadas en el conocimiento tradicional para enfrentar la escasez de agua en sus regiones, al combinar estas ideas con avances científicos y tecnológicos, es posible desarrollar enfoques sostenibles para resolver los problemas hídricos existentes (Onyena y Sam, 2025). La ciencia ciudadana en colaboración con instituciones académicas a partir de la capacitación con agencia oficiales garantiza la credibilidad de los datos, muestra potencial para alcanzar el ODS 6 debido a que la ciencia ciudadana aumenta significativamente cobertura espacial y temporal de monitoreo (Hegarty et al., 2021). Sin embargo, a pesar de mostrar que la participación ciudadana se presenta como una respuesta para la gestión integral de agua, aún siguen existiendo barreras de desigualdad territorial y marginación social, y que no contribuye a el cumplimiento del ODS 6 ni el ejercicio del derecho humano al agua. Un ejemplo de ello se observa en zonas rurales en México el abastecimiento y la responsabilidad de disponer de agua recae en las mujeres constituyendo un factor determinante de la vulnerabilidad e incertidumbre que enfrentan los grupos sociales (Soares, 2021).

Retos y oportunidades para cumplir el ODS 6 en factor tecnológico

Perspectivas futuras y el papel de la cooperación internacional

Las investigaciones futuras deben enfocarse en mejorar la ubicación de los sensores, fortalecer la seguridad de los datos, garantizar la escalabilidad del sistema para facilitar su adopción a gran escala, capacidad de acceso remoto, recopilación continua de datos, detección inmediata de problemas y alta frecuencia de medición lo hacen una solución eficiente. Al ofrecer datos precisos y permitir el monitoreo a distancia, reduce la necesidad de intervención manual, lo que disminuye los costos operativos y mejora la fiabilidad del sistema. La implementación en el monitoreo de la calidad del agua mediante IoT es especialmente beneficiosa para industrias, municipios y la gestión ambiental (Forhad et al., 2024).

En los últimos años, las herramientas de código abierto (*open source*) han experimentado un crecimiento exponencial y se han convertido en una tendencia en la última década. Con la proliferación de proyectos basados en *hardware* de código abierto, nuevas plataformas *open source* se han integrado progresivamente en el diseño de sistemas IoT precisos y de bajo costo. De todas las plataformas *open source* disponibles en el mercado, Arduino y Raspberry Pi han sido las más utilizadas en proyectos IoT4D. La plataforma de nube abierta más extendida fue *Thingspeak* ya que su uso en la actualidad representa un avance en la comunicación IoT (López-Vargas et al., 2020).

Algunos de los proyectos que destacan para la realización del ODS 6 y alguna de sus metas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Tabla de proyecto de tecnología IoT de bajo costo que tiene escalabilidad y transferencia tecnología para cumplir los ODS 6*

Nombre de proyecto	Plataforma Low Cost	Conectividad	País/región	Fuente
Raspberry Pi para la automatización de planta de tratamiento de aguas	Raspberry Pi	Alámbrico	India	(Lagu y Deshmukh, 2015)

Gestión y monitoreo de nivel de agua en presas utilizando IoT	Arduino	Bluetooth	India	(Siddula et al., 2018)
Sensores de flujo <i>Low-Cost</i> : tecnología asequible para el monitoreo inteligente de agua	Particle Electron	GSM	Sudáfrica	(Fell et al., 2019)
Sensores <i>Low-Cost</i> : para el monitoreo de agua subterránea	Sensor comercial y plataforma web desarrollada	GSM	Estados Unidos	(Calderwood et al., 2020)
Sistema de monitoreo en tiempo real del nivel piezométrico del agua subterránea	ESP8266, servidor propio	WiFi, y GSM	México	(Espinoza Ortiz et al., 2023) since anthropogenic action (pumping extractions)

Conclusiones

El ODS 6, enfocado al agua limpia y el saneamiento, es fundamental para la Agenda 2030, ya que garantiza la disponibilidad y gestión sostenible del agua para toda la población global. A pesar de los avances en áreas rurales, persisten desafíos significativos en el acceso al agua potable y el saneamiento en contextos urbanos, debido principalmente a la falta de inversión adecuada. La gestión sostenible de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, se enfrenta a retos derivados del cambio climático, lo que agrava las dificultades existentes. Sin embargo, las innovaciones tecnológicas como el IoT y la Inteligencia Artificial tienen el potencial de optimizar la gestión hídrica, aunque aún enfrentan obstáculos como la falta de experiencia y confianza. La gobernanza del agua y la participación ciudadana son cruciales para una gestión efectiva, aunque persisten barreras de desigualdad que dificultan la plena realización del ODS 6. En el futuro, será clave mejorar las tecnologías de monitoreo, fortalecer la seguridad de los datos y garantizar la escalabilidad de los sistemas. La cooperación internacional y el desarrollo de soluciones de bajo costo basadas en herramientas *open source* serán esenciales para apoyar a los países en desarrollo en este desafío. Para lograr las metas del ODS 6 para 2030, es necesario un enfoque coordinado que combine inversión estratégica, tecnologías innovadoras y la participación de la sociedad.

Referencias

- Bravo Álvarez, L., & Montejó-Sánchez, S. (2021). Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones en los objetivos de desarrollo sostenible. *Trilogia*, 35(46), 88–104.
- Calderwood, A. J., Pauloo, R. A., Yoder, A. M., & Fogg, G. E. (2020). Low-cost, open source wireless sensor network for real-time, scalable groundwater monitoring. *Water (Switzerland)*, 12(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/W12041066>
- Espinoza Ortiz, M., Apún Molina, J. P., Belmonte Jiménez, S. I., Herrera Barrientos, J., Peinado Guevara, H. J., & Santamaria Miranda, A. (2023). Development of Low-Cost IoT System for Monitoring Piezometric Level and Temperature of Groundwater. *Sensors*, 23(23), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s23239364>
- Fell, J., Pead, J., & Winter, K. (2019). Low-cost flow sensors: Making smart water monitoring technology affordable. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 8(1), 72–77. <https://doi.org/10.1109/MCE.2018.2867984>
- Forhad, H. M., Uddin, M. R., Chakrovorty, R. S., Ruhul, A. M., Faruk, H. M., Kamruzzaman, S., Sharmin, N., Jamal, A. S. I. M., Haque, M. M. U., & Morshed, A. M. (2024). IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs). *Heliyon*, 10(23), e40746. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40746>
- Hegarty, S., Hayes, A., Regan, F., Bishop, I., & Clinton, R. (2021). Using citizen science to understand river water quality while filling data gaps to meet United Nations Sustainable Development Goal 6 objectives. *Science of the Total Environment*, 783, 146953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146953>
- Küfeoğlu, S. (2022). Emerging Technologies: Value Creation for Sustainable Development. En *Sustainable Development Goals Series: Vol. Part F2738*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-07127-0>
- Lagu, S. S., & Deshmukh, S. B. (2015). Raspberry pi for automation of water treatment plant. *Proceedings - 1st International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2015*, 532–536. <https://doi.org/10.1109/IC-CUBEA.2015.109>
- López-Vargas, A., Fuentes, M., & Vivar, M. (2020). Challenges and opportunities of the internet of things for global development to achieve the united nations sustainable development goals. *IEEE Access*, 8(February), 37202–37213. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975472>
- Mujtaba, G., Shah, M. U. H., Hai, A., Daud, M., & Hayat, M. (2024). A holistic approach to embracing the United Nation's Sustainable Development Goal (SDG-6) towards water security in Pakistan. *Journal of Water Process Engineering*, 57(November 2023), 104691. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104691>
- Mulligan, M., van Soesbergen, A., Hole, D. G., Brooks, T. M., Burke, S., & Hutton, J. (2020). Mapping nature's contribution to SDG 6 and implications for other SDGs at policy relevant scales. *Remote Sensing of Environment*, 239(November 2018), 111671. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111671>

- ONU (2022). *ODS 6 Agua Limpia y Saneamiento*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU (2024). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023*.
- Onyena, A. P., & Sam, K. (2025). The blue revolution: sustainable water management for a thirsty world. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00631-6>
- Siddula, S. S., Babu, P., & Jain, P. C. (2018). Water Level Monitoring and Management of Dams using IoT. *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*, 0–4. <https://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2018.8519843>
- Soares, D. (2021). El agua en zonas rurales de México. Desafíos de la Agenda 2030. *Entre Diversidades. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8(2), 191–211. <https://doi.org/10.31644/ed.v8.n2.2021.a09>
- Ugwuanyi, S., Paul, G., & Irvine, J. (2021). Survey of IoT for Developing Countries: Performance Analysis of LoRaWAN and Cellular NB-IoT Networks. *Electronics (Switzerland)*, 10(18). <https://doi.org/10.3390/electronics10182224>
- Urquilla Castaneda, A. (2024). ¿Es IA lo que se necesita para la seguridad y protección del agua? *Realidad y Reflexión*, 59, 15–32. <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i59.18705>
- Vallés Figueras, F. (2024). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 y las empresas del ciclo urbano del agua en España. *Revista Española de Control Externo*, xxvi(77), 72–95.
- Vekaria, D., & Sinha, S. (2024). aiWATERS: an artificial intelligence framework for the water sector. *AI in Civil Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s43503-024-00025-7>