



Yura: Relaciones internacionales

Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Revista electrónica ISSN: 1390-938x

Nº 47 julio – septiembre 2026

Gobernanza hídrica y suspensiones del agua potable: revisión internacional y lecciones urbanas en América Latina pp. 34 - 51

Jaime Eduardo Martínez Castillo

Multiversidad Mundo Real Edgar Morin

México

C. 5 2, Loma Linda, 83150 Hermosillo, Son., México.

je.m.c2008@hotmail.com

Resumen

Las suspensiones de agua potable (SAP) representan una problemática estructural a escala global que compromete la continuidad del servicio, la seguridad hídrica y la salud pública, particularmente en contextos urbanos sometidos a presiones socioambientales crecientes. Este artículo analiza el estado del arte internacional de las SAP desde un enfoque transdisciplinario, integrando avances científicos, tecnológicos y experiencias de gobernanza del agua documentadas en países como Estados Unidos, Reino Unido, México, Chile, Kenia y diversas regiones de Asia, con el propósito de extraer lecciones aplicables a contextos urbanos latinoamericanos como el municipio de Fusagasugá, Colombia. La revisión evidencia que, en países de altos ingresos, las SAP se asocian principalmente al envejecimiento de la infraestructura, fallas en redes de distribución y eventos climáticos extremos, destacándose el uso de sofisticados modelos basados en inteligencia artificial incluidas redes neuronales artificiales y técnicas espaciales integrados con sistemas de información geográfica para la predicción de fallos, la gestión de la presión y la priorización de inversiones. En contraste, en países de ingresos medios y bajos, las SAP se ven intensificadas por la sobreexplotación del recurso, modelos de gobernanza inequitativos, privatización, estrés hídrico y conflictos socioambientales, afectando de manera desproporcionada a poblaciones vulnerables. Los resultados indican que las estrategias centradas exclusivamente en la infraestructura resultan insuficientes para abordar la complejidad del problema. En consecuencia, se destaca la necesidad de adoptar enfoques transdisciplinarios que articulen innovación tecnológica, gobernanza colaborativa, regulación efectiva, participación comunitaria y justicia hídrica. Este análisis comparado aporta fundamentos conceptuales y metodológicos para fortalecer la gestión del agua potable en Fusagasugá, promoviendo modelos de gestión resilientes, preventivos y orientados a la sostenibilidad del sistema sociotécnico del agua para América Latina.

Palabras clave

Suspensiones de agua potable (SAP); Gobernanza del agua; Enfoque transdisciplinario; Water Distribution Networks (WDN); Inteligencia artificial; Resiliencia hídrica.

Abstract

Drinking water supply interruptions (DWSIs) constitute a structural global challenge that undermines service continuity, water security, and public health, particularly in urban contexts exposed to increasing socio-environmental pressures. This article examines the international state of the art on DWSIs from a transdisciplinary perspective, integrating scientific and technological advances and water governance experiences documented in countries such as the United States, the United Kingdom, Mexico, Chile, Kenya, and several regions of Asia, with the aim of identifying transferable lessons for urban contexts in Latin America, particularly the municipality of Fusagasugá, Colombia. The review shows that in high-income countries, DWSIs are mainly associated with aging infrastructure, failures in water distribution networks, and climate-related extreme events, highlighting the use of advanced artificial intelligence-based models—including artificial neural networks and spatial models integrated with geographic information systems—for failure prediction, pressure management, and investment prioritization. In contrast, in low- and middle-income countries, DWSIs are intensified by resource overexploitation, inequitable governance frameworks, privatization processes, water stress, and socio-environmental conflicts, disproportionately affecting vulnerable populations. The findings indicate that infrastructure-centered strategies alone are insufficient to address the complexity of the problem. Consequently, the article emphasizes the need to adopt transdisciplinary approaches that integrate technological innovation, collaborative governance, effective regulation, community participation, and water justice. This comparative analysis provides conceptual and methodological foundations to strengthen drinking water management in Fusagasugá, promoting resilient, preventive, and sustainability-oriented management models for the sociotechnical water system.

Keywords

water supply interruptions (WSI); water governance; transdisciplinary approach; water distribution networks (WDN); artificial intelligence; water resilience.

Introducción

36

Contar con el servicio de agua tratada es un derecho humano fundamental e internacional que posibilita acceder a una vida con bienestar y salubridad. Al tiempo que invita a reflexionar sobre la sostenibilidad ambiental. A nivel global las SAP emergen por la mezcla de múltiples dimensiones y variables entre las cuales se pueden señalar factores técnicos, ambientales, socioeconómicos e institucionales. Uno de los más críticos lo representa el envejecimiento de la tubería de distribución del líquido, fallas estructurales, bajas de presión, eventos asociados al calentamiento del clima, fuentes hídricas contaminadas y sistemas operativos hídricos atrasados tecnológicamente con rezagos importantes en software especializados, sin mencionar la poca asistencia con IA. A lo anterior se suman problemas asociados al modelo de gobernanza entre los que se encuentran insuficiencia de los recursos financieros públicos, limitada normatividad, sistemas de administración inequitativos.

Estados Unidos y Reino Unido muestran estudios ambientales abordadas por disciplinas predominantemente de ingenierías con el propósito de optimización de redes de distribución con más eficiencia operacional, estos países han iniciado el desarrollo de capacidades por medio de potentes servidores para el manejo de los datos mediante la adopción de nuevas metodologías apoyadas en redes neuronales artificiales, modelos híbridos de aprendizaje automático con programación de algoritmos para previsión de descarga de caudales complementado con estudios espaciales y sistemas de información georreferenciados, esto ha mostrado potencial para la predicción de problemas como pérdida de presión, accidentes en las redes de aducción del agua cruda.

Pese a lo anterior la literatura del sector es reiterativa en que las respuestas enfocadas en la infraestructura son insuficientes para abordar el problema. En estas situaciones las (SAP) se relacionan con fenómenos de altas demandas de agua, estrés hídrico, privatización, conflictos socioambientales y desigualdades estructurales que afectan de manera desproporcionada a comunidades vulnerables. Los estudios enseñan que en América Latina, África y Asia los problemas de las SAP van en aumento. De acuerdo con este diagnóstico, los organismos internacionales, promueven la implementación de enfoques integrales y transdisciplinarios para enfrentar las problemáticas relacionados con el acceso al agua potable, abandonando los enfoque lineales y fragmentados que han predominado históricamente

El artículo examina el estado del arte internacional sobre las (SAP) desde el pensamiento complejo y en especial desde la perspectiva transdisciplinaria, observando el análisis de experiencias, desarrollos científicos y modelos de gestión aplicados en distintos países y

regiones. Esta revisión permite reconocer aprendizajes y elementos que pueden ser adaptados a otros contextos, en particular a los escenarios urbanos de América Latina, como Fusagasugá.

Metodología

El artículo se apoya en un diseño cualitativo de carácter analítico-documental, orientado al examen comparado del estado del arte internacional sobre las suspensiones de agua potable (SAP), desde una perspectiva transdisciplinaria. Este enfoque permite poner en diálogo aportes de la ingeniería hidráulica, la gestión ambiental, la gobernanza del agua, las ciencias sociales y los estudios sobre sostenibilidad, reconociendo la complejidad del sistema sociotécnico del agua potable en los contextos urbanos. La investigación se desarrolla mediante una revisión integradora y comparativa de literatura científica, técnica e institucional, complementada con el análisis de experiencias internacionales relevantes y su posible aplicación en escenarios urbanos latinoamericanos. El énfasis se sitúa en municipios intermedios como Fusagasugá, Colombia, donde las SAP constituyen una problemática recurrente con efectos directos sobre la vida cotidiana y el bienestar de la población.

Resultados

El análisis de la literatura internacional, proveniente principalmente de Estados Unidos, el Reino Unido y otros países, permitió fortalecer el estado del arte sobre las suspensiones de agua potable (SAP). Esta revisión hizo posible identificar distintos enfoques, así como avances científicos y tecnológicos relacionados con la sostenibilidad ambiental, que han contribuido a disminuir la frecuencia y el impacto de estas interrupciones. Al mismo tiempo, el estudio consideró tanto las similitudes como las diferencias existentes entre los contextos analizados, en particular aquellas de carácter socioeconómico, que influyen de manera directa en la gestión y el desempeño de los sistemas de agua potable. Si bien Fusagasugá presenta características particulares, problemáticas de alcance global, como la escasez, la sobreexplotación, la contaminación y la baja inversión, inciden de manera significativa en la gobernanza del agua. Por esta razón, resulta pertinente conocer los avances logrados en otros países, con el propósito de enriquecer el análisis con nuevos enfoques y, a su vez, comprender y apropiarse los progresos alcanzados en relación con las SAP.

En EE. UU., actualmente se registran numerosas suspensiones notificadas a los usuarios mediante *boil water advisories* (BWA). Estas interrupciones se originan por diversas causas, entre ellas rupturas y fallas estructurales en las tuberías de los sistemas de distribución, lo que

ha impulsado la investigación sobre el comportamiento de materiales y la integridad de las *Water Distribution Networks* (WDN).

Así mismo, análisis nacionales sobre BWA entre 2024 y 2025 muestran que la infraestructura envejecida y las roturas de línea constituyen más del 80 % de las causas de su emisión, lo que afecta la continuidad del servicio y la seguridad hídrica de la población (Environmental Protection Agency [EPA], 2024; Narzeti y Marques, 2020) en respuesta a estas problemáticas, han surgido propuestas investigativas orientadas a mejorar las condiciones operativas y resilientes de las redes, priorizando metodologías de predicción de fallos mediante técnicas avanzadas de IA. Entre estas, las Redes Neuronales Artificiales (RNA) se destacan como una de las tecnologías con mayor potencial para fortalecer la gestión de las SAP. Esta superioridad también es confirmada por revisiones sistemáticas sobre integridad de tuberías que destacan la mayor capacidad predictiva de RNA, SVM, árboles de decisión y modelos híbridos frente a los enfoques clásicos en (WDN Narzeti y Marques, 2020; Ogwu y Izah, 2026) Las RNA permiten integrar múltiples variables físicas, operativas y contextuales para modelar la complejidad inherente de los sistemas hidráulicos urbanos.

En este orden de ideas estudiar el problema desde el enfoque del pensamiento complejo es pertinente ya que la infraestructura hídrica se comprende mejor como un sistema dinámico y adaptativo con emergencias producto de múltiples interacciones de dimensiones y variables que afectan la prestación del servicio de agua potable.

Estudios recientes publicados en 2025 sobre modelos inteligentes para la predicción de fallos destacan la importancia de combinar series históricas de datos de varios años, técnicas adecuadas de extracción de características y enfoques híbridos de modelación, con el fin de mejorar la priorización de inversiones y apoyar la toma de decisiones en los procesos de mantenimiento de la infraestructura hídrica. De forma complementaria, investigaciones basadas en modelos espaciales que integran machine learning y sistemas de información geográfica (GIS) evidenciaron una alta efectividad para la identificación de zonas críticas de riesgo, al incorporar variables como el diámetro, la longitud, la antigüedad de las redes y las condiciones de presión.

Estos modelos han permitido la generación de mapas predictivos de fallos, útiles para anticipar eventos críticos y orientar acciones preventivas en los sistemas de distribución de agua potable con decisiones operativas inmediatas para las empresas prestadoras del (servicio Laven, 2024; Blanco-Moreno et al., 2024). Estas investigaciones, en conjunto, buscan predecir a corto

y largo plazo la propensión a fallas en las tuberías, evaluar los impactos sobre el desempeño del suministro y facilitar la planeación estratégica de inversiones en tecnologías avanzadas. Los resultados apoyan la implementación de medidas de resiliencia, optimizando recursos y fortaleciendo la continuidad del servicio mediante acciones anticipatorias basadas en evidencia técnica robusta para potencializar el estado de la red y controlar la pérdida de presión desde la Estación de Tratamiento del Agua potable (ETAP) hasta la matriz principal que abastece a las comunidades, y así no afectar el nivel de servicio a los clientes de las empresas (Achim et al., 2007).

De igual forma, las fallas en las plantas de tratamiento de agua potable (*Drinking Water Treatment Plant*), episodios de contaminación, labores de mantenimiento estructural, estrés hídrico, sequías y el aumento sostenido de la demanda constituyen factores adicionales que afectan la continuidad del suministro. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), las estadísticas actualizadas a 2025 muestran una tendencia creciente, estimando que cerca de 30 millones de personas habitan en ciudades que presentan estrés hídrico por múltiples factores. Entre estas se destacan el consumo intensivo de agua por parte de empresas tecnológicas vinculadas al desarrollo de la IA, las cuales requieren grandes volúmenes de agua para sistemas de refrigeración en servidores, así como otros sectores industriales y alimentarios, caracterizados por una alta demanda del recurso. A ello se suma el crecimiento poblacional en grandes condados, cuya expansión progresiva hacia áreas urbanas y suburbanas ha incrementado de manera significativa la presión sobre los sistemas de abastecimiento de agua (Achim et al., 2007) Figura 01. Porcentajes de afectaciones y los motivos que ocasionan los *Boil Water Advisory Statistic*

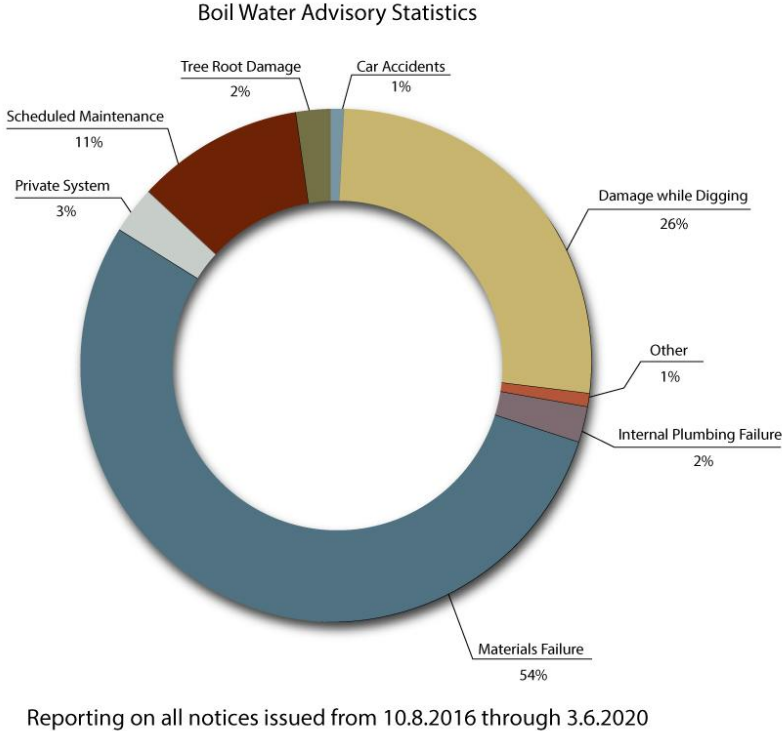


Figura 01. Porcentajes de afectaciones y causas de los *boil water advisories* en el condado de Brunswick-Glynn, Georgia. Nota. Tomado de *Home*, por Comisión Conjunta de Agua y Alcantarillado Brunswick-Glynn, *Joint Water & Sewer Commission* (2025).

La Figura 01 muestra los porcentajes de afectaciones y los motivos que ocasionan los *Boil Water Advisory Statistic* en el condado de Brunswick-Glynn, Georgia. En primer lugar, se identifica una falla en materiales con un 54 % y, en segundo lugar, daños por excavaciones con 26 %, seguido por mantenimientos programados 11 %, daños raíces de árboles y otros con porcentajes menores. (Brunswick Glynn Joint Water & Sewer Commission.2025). Estos resultados guardan una estrecha relación con los casos registrados en la ciudad de estudio (Fusagasugá), dado que existen similitudes en los motivos que inciden en las SAP; sin embargo, la diferencia radica en la efectividad de los avisos de hervir agua (*boil water Advisory*) como una medida sanitaria obligatoria en las comunidades.

Resultó pertinente documentar el caso del Estado de Georgia, el cual ha implementado de manera recurrente ayudas preventivas orientadas a la recomendación de hervir el agua, de acuerdo con las directrices de la EPA de los Estados Unidos y de la División de Protección Ambiental (EPD) del Departamento de Recursos Naturales de Georgia, en periodos que, en algunos casos, se han prolongado. (Georgia Department of Natural Resources, Environmental Protection Division. 2025).

La decisión se adoptó en cumplimiento de las disposiciones de la Agencia de Seguridad Nacional y Manejo de Emergencias de Georgia (GEMHSA), con sede en el Complejo de Seguridad Pública del Condado de Glynn, y se aprobó debido al elevado número de residentes afectados (Comisión Conjunta de Agua y Alcantarillado Brunswick-Glynn, s.f.). Asimismo, ciudades como Minneapolis, Nueva Orleans y Memphis han visto afectado su sistema de acueducto por la contaminación del río Mississippi y otros afluentes, los cuales transportan sedimentos suspendidos y contaminantes como nitratos y partículas que incrementan la turbidez y comprometen la calidad del agua.

En el Estado de Oregón, el sistema hídrico se ha visto afectado por el impacto de actividades humanas, particularmente por la instalación de centros de datos (*data centers*), los cuales demandan grandes volúmenes de agua para la refrigeración de servidores mediante sistemas de enfriamiento en torres que consumen millones de litros de agua, posteriormente evaporados y liberados al ambiente.

Estas situaciones descritas tienen una constante y es que en todos los eventos los más afectados por prolongadas suspensiones son comunidades vulnerables con ingresos bajos acentuando el nivel de gravedad por problemáticas sociales, étnicas y económicas. Este tipo de análisis facilita que tanto los responsables de la toma de decisiones como la comunidad científica aborden la problemática hídrica nacional con mayor solidez técnica y conceptual (EPA, 2024). Estas investigaciones constataron que los avances en capacidad computacional, el desarrollo de técnicas numéricas y la reducción de costos de *hardware* permitieron incorporar modelos matemáticos más sofisticados tanto en el diseño como en la operación de redes de abastecimiento.

En otros países, como México, el estado del problema ha presentado similitudes, aunque con variaciones regionales. En este país se ha impulsado la reutilización del agua mediante el tratamiento de recurso hídricos utilizados en los hogares, fábricas y del sector agropecuario, a través de procesos tecnológicos avanzados que integran la física, la química y la biología, con el fin de otorgar al recurso un segundo uso no potable y garantizar la sustentabilidad ambiental. En ese escenario, se han identificado fenómenos de acaparamiento hídrico por parte de cadenas hoteleras, particularmente en regiones como Quintana Roo, donde se ofrecen amplias infraestructuras recreativas que demandan grandes volúmenes de agua, mientras sectores de la población carecen de un servicio continuo. Finalmente, en México, los conflictos socioambientales relacionados con el agua y otros recursos naturales, tanto en zonas urbanas

como rurales, se han intensificado de manera significativa, especialmente a partir de la implementación de políticas neoliberales que facilitaron la sobreexplotación y contaminación de importantes fuentes hídricas. El extractivismo descontrolado, autorizado por el Estado, ha generado procesos de movilización social y organización comunitaria en defensa del derecho al agua y la justicia ambiental.

Ahora bien, en Chile la cobertura del servicio de agua potable en las zonas rurales osciló entre el 70 % y el 80 %, mientras que en las áreas urbanas superó el 99 %. Las autoridades ambientales han definido al país como rico en recursos hídricos dulces, caracterizado por precipitaciones distribuidas a lo largo del año, con excepción de las zonas áridas. En las demás regiones, los promedios de lluvia han permitido que el sistema hídrico mantenga niveles favorables, lo que ha posicionado a Chile, a nivel internacional, como un país biodiverso y sostenible, con importantes reservas hídricas en el sur, entre las que se destacan los ríos Maipo y Mapocho, que abastecen el acueducto de Santiago.

Frente a este panorama, las autoridades nacionales decretaron varias regiones en estado de escasez hídrica, particularmente en el norte, donde la disponibilidad de agua ha sido limitada y las precipitaciones han resultado escasas, en contraste con las regiones del centro y sur, donde las lluvias se han mantenido dentro de rangos considerados normales. Sin embargo, el país no ha contado con una cultura hídrica consolidada ni con mecanismos de control suficientemente efectivos para regular el uso del agua en las diversas actividades industriales, comerciales y en la construcción de complejos habitacionales, los cuales se han constituido en grandes consumidores del recurso. En consecuencia, esta situación ha derivado, a largo plazo, en suspensiones del servicio que han afectado de manera significativa a las poblaciones más vulnerables del territorio (Plasma Solar Africa, 2025).

En Nairobi y otras zonas urbanas de Kenia empresas y organizaciones especializadas del sector hídrico han implementado modelos innovadores de gobernanza del agua La Nairobi City Water and Sewerage Company (NCWSC) está adoptando enfoques de gobernanza colaborativa y tecnologías inteligentes como la detección de fugas mediante IA, medidores electromagnéticos y SIG, combinados con participación ciudadana para combatir pérdidas de agua (Borlaugh, 2025).

En el ámbito de microfinanzas e innovación tecnológica, la Millennium Water Alliance (MWA) implementa el modelo 'Pay-As-You-Go' (PAYGO) para financiar sistemas de riego solar entre pequeños agricultores, reforzando un vínculo entre comunidades rurales y las

gestiones urbanas del agua (Millennium Water Alliance, 2025). Esta estrategia está siendo replicada por empresas como SunCulture y Futurepump, *startups* kenianos que han desarrollado bombas solares modulares con financiamiento PAYGO, apoyadas desde EE. UU. por inversores como (WaterEquity REEEP, 2023/2025; SunCulture, 2025) Asimismo, estudios como los de Plasma Solar destacan también mejoras en la gobernanza hídrica local gracias a estos sistemas (Plasma Solar Africa, 2025). El respaldo internacional ha sido clave: (Banco Mundial 2025) otorgó préstamos y subsidios por cientos de millones de dólares destinados a proyectos urbanos, incluidos microcréditos para conexiones de agua y mejoras sanitarias en barrios informales como Mathare y Kibera, enfocándose en poblaciones vulnerables (Blue Water Intelligence, 2025).

En cuanto a la estructura reguladora y el saneamiento ambiental, la Autoridad Nacional de Gestión Ambiental (NEMA) supervisa el control de vertidos residuales y efluentes, mientras que ONU Medio Ambiente y UNEA, desde su sede en Nairobi, han impulsado resoluciones sobre gobernanza hídrica sostenible (NEMA, 2025; UNEA, 2025). Estas iniciativas, combinadas con microfinanzas, tecnologías renovables (*solar pumping*), subsidios internacionales, regulaciones ambientales y participación comunitaria, generan un modelo de gobernanza hídrica más equitativo y resiliente en Nairobi. Aunque persisten desafíos relevantes, estas estructuras y actores muestran soluciones transdisciplinarias aplicables a contextos como Fusagasugá.

En el continente asiático, las SAP representan un problema grave y generalizado en regiones como el sudeste asiático, Asia del Sur (India, Pakistán y Bangladesh), Asia Central (Uzbekistán, Turkmenistán y Tayikistán) y Oriente Medio (China, Líbano y Afganistán). Estas coyunturas se deben principalmente a la combinación de cambio climático (que intensifica eventos extremos, altera patrones de precipitación y acelera el derretimiento glacial en zonas montañosas como el Himalaya), la escasez y el estrés hídrico, la sobreexplotación de acuíferos, la contaminación de fuentes hídricas y las crisis políticas que debilitan la gobernanza del agua (Anser et al., 2025; Srinivasan et al., 2025; Blue Water Intelligence, 2025). Durante 2025, eventos catastróficos como inundaciones extremas y sequías prolongadas afectaron a millones en India, Pakistán, Bangladés y Sri Lanka, exacerbados por el retroceso de glaciares, monzones erráticos y acuerdos transfronterizos obsoletos. Esta situación impulsa un aumento de la extracción de aguas subterráneas, especialmente en zonas rurales y urbanas, provocando disminuciones críticas en niveles freáticos y dificultad para garantizar agua potable segura (Blue Water Intelligence, 2025).

El análisis de datos en 39 países asiáticos evidenció que la eficacia de la gobernanza y la calidad regulatoria reducen la escasez hídrica en un 17 % y 55 %, respectivamente. Sin embargo, las degradaciones agrícolas, el aumento de la demanda energética y la baja financiación climática intensifican esta escasez (Anser et al., 2025). Particularmente en India, la explotación agrícola ha devastado los acuíferos, con más de un tercio del país en niveles críticos u “sobreexplotados”. En áreas rurales, el descenso de la capa freática obliga a excavar pozos más profundos con costos elevados, impactando la sostenibilidad del abastecimiento de agua comunitario (Srinivasan et al., 2025). De acuerdo con lo anterior, Asia no es la excepción en las problemáticas relacionadas con las SAP.

Los casos analizados muestran que muchas soluciones planteadas carecen de un enfoque transdisciplinario: las acciones implementadas se concentran únicamente en disciplinas propias del sector hídrico y en políticas públicas diseñadas desde los gobiernos, sin integrar de manera efectiva las múltiples dimensiones y variables que inciden en la prestación del servicio. Como resultado, la prestación de agua potable continúa presentando numerosas interrupciones y suspensiones.

Discusión

El análisis de la literatura internacional permitió identificar patrones consistentes y divergencias significativas en torno a las causas, enfoques de abordaje y estrategias de gestión de las suspensiones de agua potable (SAP), evidenciando su carácter multicausal y la necesidad de aproximaciones integrales. Los resultados se estructuran en cinco ejes principales: (i) causas predominantes de las SAP, (ii) avances tecnológicos para su gestión, (iii) diferencias según nivel de desarrollo económico, (iv) impactos sociales y territoriales, y (v) tendencias emergentes desde un enfoque transdisciplinario.

Causas dominantes de las suspensiones de agua potable:

Los resultados muestran que, a escala internacional, las SAP se originan principalmente por fallas estructurales en las redes de distribución de agua potable, en particular por el envejecimiento de la infraestructura, la rotura de tuberías y la pérdida de presión hidráulica. En países como Estados Unidos y el Reino Unido, más del 80 % de las interrupciones reportadas se asocian a estos factores, frecuentemente agravados por eventos extremos relacionados con el cambio climático, tales como tormentas, inundaciones y sequías prolongadas.

De manera complementaria, se identificó que las fallas en las plantas de tratamiento de agua potable, los episodios de contaminación de fuentes superficiales y subterráneas, así como los mantenimientos correctivos no programados, constituyen causas recurrentes de SAP en contextos urbanos. Estos factores se intensifican en regiones con estrés hídrico, crecimiento poblacional acelerado y aumento sostenido de la demanda, como ocurre en estados del suroeste de EE. UU., algunas regiones de México, Chile y países del sudeste asiático.

Avances tecnológicos en la gestión y prevención de SAP:

Uno de los resultados más relevantes del análisis corresponde al crecimiento sostenido del uso de tecnologías basadas en inteligencia artificial para la predicción y gestión de fallos en redes de distribución de agua. La literatura reciente evidencia un consenso en torno a la superioridad de los modelos inteligentes particularmente las redes neuronales artificiales, los modelos híbridos de aprendizaje automático y los enfoques espaciales integrados con sistemas de información geográfica frente a los métodos estadísticos tradicionales.

Los estudios analizados muestran que estos modelos permiten integrar múltiples variables físicas, operativas y contextuales (material de la tubería, diámetro, edad, presión, número de fallos previos y condiciones ambientales), logrando clasificar con alta precisión la propensión de las tuberías a fallar. Asimismo, se constató que enfoques más avanzados, como las *Graph Neural Networks* y los modelos optimizados mediante técnicas de *Bayesian Optimization*, presentan una mayor capacidad para capturar relaciones no lineales y multicausales en sistemas hidráulicos urbanos complejos.

Estos avances han demostrado ser especialmente efectivos para la planificación preventiva del mantenimiento, la priorización de inversiones y la reducción de pérdidas de presión en las redes, contribuyendo directamente a la disminución de las SAP en sistemas de acueducto de gran escala.

Diferencias según niveles de desarrollo y modelos de gobernanza:

El análisis comparado evidenció diferencias estructurales en la ocurrencia y gestión de las SAP entre países de altos ingresos y países de ingresos medios y bajos. En los países con marcos institucionales consolidados, las interrupciones del servicio suelen ser temporales y se gestionan mediante protocolos sanitarios bien definidos, como los *boil water advisories*, apoyados en regulaciones claras y sistemas técnicos de monitoreo permanente. Estas

herramientas permiten responder de manera oportuna sin comprometer la seguridad de la población.

En contraste, en amplias regiones de América Latina, África y Asia, las suspensiones del agua potable (SAP) tienden a ser más frecuentes, prolongadas y socialmente impactantes. Esta situación se explica, en gran medida, por limitaciones institucionales, bajos niveles de inversión pública, esquemas de gobernanza fragmentados y, en algunos casos, procesos de privatización del recurso. En estos contextos, las interrupciones afectan de forma desproporcionada a las comunidades de menores ingresos, a las zonas periféricas y a poblaciones en condición de vulnerabilidad, profundizando desigualdades ya existentes en el acceso al agua potable.

Impactos socioambientales y territoriales de las SAP:

Los resultados muestran que las SAP generan efectos que van más allá del ámbito técnico. Las interrupciones del servicio inciden directamente en la salud pública, la economía local y la cohesión social. En diversos casos documentados, los cortes prolongados han provocado el cierre temporal de establecimientos comerciales, el aumento de enfermedades asociadas al agua y la intensificación de conflictos socioambientales.

En países como México, Chile y algunos estados de Estados Unidos, se han identificado tensiones relacionadas con el uso desigual del recurso hídrico, especialmente en territorios donde sectores industriales, turísticos o tecnológicos concentran altos niveles de consumo, mientras amplios segmentos de la población enfrentan suspensiones recurrentes del servicio. Estos hallazgos refuerzan la comprensión de las SAP como un problema estrechamente vinculado con la justicia hídrica y la gobernanza territorial.

Tendencias emergentes desde un enfoque transdisciplinario:

Finalmente, el análisis evidencia una tendencia creciente hacia la adopción de enfoques transdisciplinarios en la gestión del agua potable.

La realidad enseña que las SAP son la consecuencia de un fenómeno en complejidad y multidimensional, aspectos como la obsolescencia de tuberías, fallos operativos, calentamiento global constituyen causas inmediatas a nivel global existen claras evidencias que la continuidad de las SAP tiene relación directa con los modelos de gobernanza, los marcos regulatorios y las dinámicas socioeconómicas propias de cada territorio.

Los análisis hechos en países desarrollados muestran que la implementación en sus acueductos de altas tecnologías asistidas por inteligencia artificial ha permitido la anticipación a fallas en el servicio. Modelos como las redes neuronales artificiales y los enfoques híbridos de *machine learning* permiten integrar variables técnicas, espaciales y operativas, capturando relaciones no lineales propias de los sistemas hidráulicos urbanos y fortaleciendo la gestión preventiva.

Sin embargo, en estudios comparados enseña que los aportes tecnológicos en sí solos no asegura que las suspensiones se disminuyan o no se presenten. Las sociedades con ingresos medios y bajos persisten por el poco presupuesto público destinados al sector lo que aumenta los fallos técnicos aumentando los niveles de pobreza, presentándose aquí un problema de justicia del agua y no únicamente deficiencias en la infraestructura del modelo. Los casos documentados evidenciaron el consumo desproporcionado de agua por empresas de sectores de hotelería, tecnología y construcción y paradójicamente grandes sectores de la ciudadanía se les infringen prologadas suspensiones del servicio de agua presentando inclusive enfrentamientos jurídicos con afectaciones sociales en los territorios.

Aun así, se observaron experiencias muy gratificantes de innovación en tecnología y participación ciudadana dejando una lección de co-gobernanza colaborativa para beneficiar a comunidades con suministros hídricos sin las interrupciones a las cuales se habían acostumbrado, esto permitió aprendizajes adaptativos para otros sectores y ciudades que lograron ofrecer el goce efectivo al derecho al agua. La experiencia permite comprender que la resiliencia de los sistemas hídricos plantea la integración, co-producción para soluciones técnicas y estrategias sociales e institucionales.

La realidad local que viven las ciudades en el suministro de agua potable se identifica totalmente con los indicadores del mundo como son el envejecimiento de la red de distribución, constantes bajas de presión y una inexistente gobernanza del agua.

De acuerdo con lo anterior es necesario implementar las tecnologías documentadas, para dar autoridad y fortalecimiento corporativo al prestador del servicio, para hacer los arreglos adaptativos de un innovador modelo de co-gobernanza y co-producción para el agua potable y el propósito de disminuir gradualmente el problema.

En resumen, este artículo aporta un enfoque integrador de las dimensiones técnicas, ambientales, normativas y socioinstitucionales de las SAP, lo cual constituye un referente innovador en la construcción de políticas públicas y planes sectoriales del agua, con el propósito de lograr altos niveles en la prestación del servicio, procurando mayor equidad, resiliencia, adaptabilidad y sostenibilidad en las comunidades afectadas.

Conclusiones

48

Las SAP son un problema global y su naturaleza estructural debe abordarse en complejidad, no desde una perspectiva lineal enfocada únicamente en las dimensiones técnicas, a nivel mundial los estudios demuestran que el problema de las Suspensiones de Agua Potable (SAP) son consecuencias de múltiples combinaciones, interacciones, retroacciones de dimensiones y variables desde los niveles operativos, tecnológicos, ecológicos, corporativos, sociales, que tejen un entramado sociotécnico hídrico dentro del territorio, que plantean un complejo desafío para proponer soluciones sostenibles que garanticen la disminución gradual de los cortes de agua con el propósito de ofrecer mayor bienestar a las comunidades residentes en los territorios afectados.

Estudiando rigurosamente la información disponible se puede afirmar que el desgaste y deterioro en la infraestructura como plantas de tratamiento, redes de aducción y repartición aparecen en primer lugar como causas cíclicas en este fenómeno; pero se ha descubierto que la repetición y lapso de estos eventos están fuertemente ligados al prototipo de gobernanza hídrica, normatividad y las interacciones económicas y sociales de los individuos residentes en los municipios de estudio.

Existe coincidencias en afirmar que las nuevas tecnologías apoyadas en IA como redes neuronales artificiales y modelos mixtos adaptativos son más eficientes a la hora de predecir fallas y programación preventiva en tiempo real dentro del sector hídrico, dejando atrás prácticas tradicionales ineficientes.

Empero la contribución más significativa de este estudio es revelar que el uso de tecnologías de punta no es suficiente sin la complementariedad de modelos rigurosos y técnicos de gobernanza de este valioso recurso natural. Las experiencias latinoamericanas, africanas, asiáticas estudiadas muestran que el fenómeno va en aumento y se incrementan drásticamente en gobiernos con estrechez presupuestal dentro del sector hídrico, gran intrincación burocrática,

ineficacia regulatoria enseñan un entrelazamiento entre los cortes y las inequidades en el suministro del servicio.

Resulta de gran utilidad la implementación de la transdisciplinariedad, este enfoque excede la linealidad sectorial y aborda el problema de las SAP con temas como la justicia social en el agua, capacidad adaptativas y resiliencia, sostenibilidad socio-medioambiental, este modelo es integrador de la innovación tecnológica con la multidimensionalidad dentro del sector del agua, reflexionando que las SAP son eventos cambiantes y de contexto que deben abordarse con soluciones desde la co-producción, la gobernanza entre actores técnicos y ciudadanía.

Las ciudades en contextos urbanos latinoamericanos, como Fusagasugá implementar un modelo transdisciplinario posibilita diseñar mejores políticas públicas de acuerdo a realidades del territorio co-relacionado la vida útil de las redes del sistema con dimensiones socioinstitucional y capacidades adaptativas de la municipalidad, lo cual cambiaría las lógicas de inversión en el sector asociándola con modernos sistemas georreferenciados, co-producción y gobernanza del agua otorgando a las comunidades niveles decisionales y de participación dentro de la gobernanza del agua.

Finalmente, las SAP son un fenómeno multidimensional que debe abordarse bajo un Modelo Transdisciplinario, esta acción muestra responsabilidad social, sostenibilidad medioambiental, y garantía de calidad en la prestación del servicio público del agua.

Referencias

- Achim, N., Ghotbi, C., & Dumas, J. (2007). Performance indicators for water distribution networks. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.001>
- Anser, M. K., Hanif, I., Alharthi, M., Chaudhry, I. S., & Khan, M. A. (2025). Water governance, regulatory quality and water scarcity in Asia: Empirical evidence from cross-country analysis. *Journal of Environmental Management*, 358, 120019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120019>
- Blanco Moreno, J. M., Sáez Gómez, F., & Martínez Solano, F. J. (2024). Spatial machine learning models for pipe failure prediction in urban water distribution networks. *Water Resources Management*, 38, 2145–2164. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03645-2>

Gobernanza hídrica y suspensiones del agua potable: revisión internacional y lecciones urbanas en América Latina

Blue Water Intelligence. (2025). *Asia water risk and supply disruption outlook*. <https://bluewaterintelligence.com>

Borlaugh, J. (2025). Smart water governance and AI applications in Sub-Saharan Africa: The case of Nairobi. *Water International*, 50(2), 243–261.

Environmental Protection Agency. (2024). *Drinking water advisories and boil water advisory statistics in the United States*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>

Environmental Protection Agency. (2025). *Water infrastructure resilience and climate impacts on drinking water systems*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>

Georgia Department of Natural Resources, Environmental Protection Division. (s. f.). *Guidance to Georgia public drinking water systems on public advisories for boil water notices for service delivery interruptions*. <https://epd.georgia.gov>

Joint Water & Sewer Commission Brunswick–Glynn. (s. f.). *Boil water advisories and service outage statistics: Causes and distribution system impacts in Glynn County, Georgia*. <https://www.bgjwsc.org>

Laven, K. (2024). Predictive analytics and GIS-based risk mapping for urban water infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, 30(4), 04024032. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000702](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000702)

Millennium Water Alliance. (2025). *PAYGO water and solar irrigation systems in East Africa*. <https://mwawater.org>

Narzeti, T., & Marques, R. C. (2020). Neural networks and machine learning tools applied to water pipe failure prediction: A systematic review. *Urban Water Journal*, 17(7), 621–643. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1711919>

National Environment Management Authority. (2025). *Kenya environmental governance and wastewater regulation framework*. Government of Kenya. <https://www.nema.go.ke>

Ogwu, F. A., & Izah, S. C. (2026). Artificial intelligence methods for infrastructure integrity assessment: A review. *Engineering Failure Analysis*, 154, 107947. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.107947>

Plasma Solar Africa. (2025). *Solar pumping systems and water governance outcomes in rural Africa*. <https://plasmasolar.africa>

Srinivasan, V., Kulkarni, S., & Smith, L. (2025). Groundwater depletion and drinking water security in South Asia. *Nature Water*, 3, 112–121. <https://doi.org/10.1038/s44221-024-00215-6>

SunCulture. (2025). *PAYGO solar irrigation and water access solutions*. <https://sunculture.io>

United Nations Environment Programme. (2025). *Global resolutions on sustainable water governance*. United Nations Environment Assembly. <https://www.unep.org>

United States Geological Survey. (2025). *National water availability assessment*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov>

World Bank. (2025). *Urban water resilience and service continuity in Africa*. World Bank Group. <https://www.worldbank.org>

Permisos de Derechos de Autor

Yo Jaime Eduardo Martínez Castillo en calidad de autor postulo al proceso de evaluación en la Revista Yura: Relaciones Internacionales, el artículo: Suspensiones de Agua Potable y Gobernanza Hídrica: Un Análisis Transdisciplinario del Estado del Arte Internacional con aplicación a Contextos Urbanos latinoamericanos. Declaro que este artículo es fruto de mi trabajo intelectual y asumo toda la responsabilidad por su propiedad intelectual, también que es una contribución intelectual inédita y original, que no ha sido presentada a otras revistas para su publicación, por lo anterior otorgo permiso como autor a la Revista Yura : Relaciones Internacionales para su publicación, si así se determina.