

AGUA

ISSN # 3007-860

EDICIÓN #15



¿HACIA DÓNDE SE DIRIGE LA INDUSTRIA DEL AGUA EN 2026?

EL USO DE TIK TOK EN EL SECTOR AGUA

AGUAS TERMALES: LA CIENCIA DETRÁS DEL BIENESTAR NATURAL

FLUORURO EN EL AGUA POTABLE: NUEVA EVIDENCIA CIENTÍFICA

TRANSFORMANDO EL DISEÑO DE DRENAJE

ENE.
2026



REVISTA DIGITAL



XXXIV CONGRESO

Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, **AIDIS 2026**

**Centroamérica frente al cambio climático:
Resiliencia en agua, saneamiento y residuos.**

Calendario AIDIS 2026

En el año 2026 se realizarán varios eventos importantes en AIDIS Interamericana, uno de ellos, el XXXIV Congreso Centroamericano a llevarse a cabo en Tegucigalpa, Honduras del 20 al 23 de mayo de 2026 y el XL Congreso Interamericano, a celebrarse en Ciudad Guatemala, Guatemala del 22 al 25 de noviembre de 2026

Del 20 al 23 de mayo, 2026, UNAH, Tegucigalpa, Honduras





40° Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS 2026



Save
The Date

Resiliencia, equidad e innovación

22 al 25

Noviembre 2026



Ciudad de Guatemala

Organiza





MOLECOR MÉXICO DESTACA LA IMPORTANCIA DEL PVC-O PARA EL TRANSPORTE DEL AGUA EN EXPO ANEAS

El pasado mes de noviembre tuvo lugar la XXXVII edición del evento más importante para el sector del agua en México, la Convención y Expo ANEAS, que cada año organiza la Asociación Nacional de Entidades de Agua y Saneamiento.

Molecor México fue uno de los focos de atención para los asistentes, mostrando a expertos e interesados las ventajas que ofrecen sus soluciones de **PVC Orientado (PVC-O)** a las redes de abastecimiento de agua.

Este novedoso material se obtiene tras someter el PVC-U tradicional a un proceso de orientación molecular que permite mejorar de una forma notable las propiedades mecánicas del material base y logrando numerosos beneficios frente a materiales tradicionales, tales como la resistencia al golpe de ariete o el incremento de la capacidad hidráulica.





Las grandes protagonistas fueron las **tuberías de PVC-O Clase 500 TOM®**, el buque insignia de la compañía, que, con su amplio rango de diámetros y presiones, se presentaron como una alternativa innovadora con la que construir redes eficientes y duraderas. Actualmente, se comercializan a nivel nacional **desde los 90 mm de diámetro hasta los 1,200 mm** en presiones nominales que llegan a los 25 kg.

Su larga vida útil, superior a los **100 años**, es sólo una muestra del avance que este producto innovador ofrece al mercado mexicano, haciéndolo a través de esta empresa mexicana, que ofrece disponibilidad inmediata para proyectos gracias a su bodega, ubicada en la misma ciudad en la que se celebró el evento, León (Gto.).

Junto a ellas, la compañía también presentó otro producto innovador para el sector con el que pretende conformar un sistema homogéneo en PVC Orientado. Se trata de las **conexiones ecoFITOM®**, exclusivas en México y que transfieren todas las propiedades de este material a las uniones.

Durante el evento, la compañía impartió una charla, dirigida por el **Ing. Noé Alberto Beltrán**, que contó con una amplia asistencia y que permitió mostrar cómo este sistema de PVC Orientado beneficia a instaladores y usuarios, así como diferentes proyectos con los que ya está presente en redes mexicanas.



TRAYECTORIA COMPROBADA DESDE 2003



AMERICAS VALVES EN MANOS DE EXPERTOS



+20
AÑOS
DE EXPERIENCIA

Toda la línea Americas Valves, distribuida por especialistas con garantía, soporte técnico y un conocimiento que se transforma en resultados.

CONTÁCTANOS



WWW.VFHIDRÁULICA.COM





DISEÑAMOS-SUMINISTRAMOS-EJECUTAMOS

Somos especialistas en soluciones integrales para el tratamiento de agua potable, aguas residuales, control hidráulico e infraestructura.



Conozca Nuestra
Ficha de Proyectos

 www.watersoilsolutions.com

 info@watersoilsolutions.com

 Centroamérica | Sede en Panamá



¿Eres responsable de la formación y capacitación de tu equipo de trabajo? ¿Ya estás listo para iniciar?

sabías que...

es conveniente empezar este año por *analizar* los resultados con los que cerró el año pasado y considerar los siguientes cuestionamientos:

¿Qué nuevos proyectos se tienen para este 2026?

¿Cuál es tu presupuesto para este 2026?

¿Cuáles son las prioridades de tu negocio?



Esto y más te apoyamos para analizar, identificar y producir un plan estratégico de capacitación para este 2026.

Contáctanos:

revistaagua@outlook.com



Nota del editor

El año 2026 se perfila como un punto de inflexión para la gestión del agua y el saneamiento a escala global. No se trata solo de un nuevo ciclo en el calendario, sino de una etapa decisiva en la que confluyen la crisis climática, la presión demográfica, la innovación tecnológica y la urgencia de garantizar servicios universales, seguros y sostenibles. **Revista AGUA**, en su edición número 15, asume este desafío editorial proponiendo una mirada prospectiva, crítica y fundamentada sobre hacia dónde se dirige la industria del agua y qué decisiones marcarán su rumbo en los próximos años.

Esta edición pone el acento en los **pronósticos 2026**, entendidos no como ejercicios de futurología, sino como herramientas para anticipar riesgos, identificar oportunidades y orientar políticas públicas, inversiones y modelos de gestión. Desde el análisis del rumbo de la industria del agua y el saneamiento, hasta la discusión sobre innovación, financiamiento climático y resiliencia urbana, los contenidos de este número invitan a pensar el agua como un **eje estratégico del desarrollo sostenible**.

El saneamiento rural, históricamente relegado, ocupa un lugar central en esta reflexión. Abordar su estado actual y los desafíos hacia 2030 es reconocer que no habrá justicia social ni salud pública sin servicios básicos dignos en los territorios rurales y periurbanos. De igual forma, el papel del agua en las inversiones climáticas y en los planes globales de adaptación confirma que el sector hídrico ya no es un componente secundario, sino un **pilar estructural de la acción climática**.



La revista también explora las **nuevas fronteras tecnológicas** que están transformando la gestión del agua: desde soluciones domiciliarias de potabilización, sistemas predictivos de contaminación y reducción de agua no facturada, hasta innovaciones en drenaje urbano, energías limpias aplicadas a cuerpos de agua y tecnologías basadas en la naturaleza. Estos avances muestran que la innovación no es un lujo, sino una necesidad para asegurar eficiencia, resiliencia y sostenibilidad.

En el ámbito de **agua y salud**, esta edición profundiza en temas sensibles y de alto impacto para la población, como los pesticidas, el fluoruro en el agua potable y el uso terapéutico de las aguas termales, aportando evidencia científica y criterios técnicos para un debate informado, lejos de mitos y desinformación.

Finalmente, **Revista AGUA #15** reafirma su vocación cultural y educativa al integrar historia, comunicación digital y patrimonio hidráulico, recordándonos que la relación entre sociedad y agua es tan antigua como la civilización misma, pero también profundamente contemporánea. Desde la Roma imperial hasta TikTok como herramienta de participación social, el agua sigue siendo un hilo conductor entre pasado, presente y futuro.

Esta edición invita a decisores, técnicos, académicos, emprendedores y comunidades a **pensar el agua con visión de futuro**, entendiendo que las decisiones que tomemos hoy definirán la seguridad hídrica de las próximas generaciones. Porque en 2026, más que nunca, **el futuro se escribe con agua**.

EQUIPO EDITORIAL

Director y Editor: revistaagua@outlook.com
 MSc. en Ingeniería Ambiental, Nelson Medina Rocha Cel. (505) 8855 0144

Diagramación: allan.herrera@prixup.com
 Lic. Allan Herrera Cel. (505) 8553 6823

Editor página web: allan.herrera@prixup.com
 Lic. Allan Herrera. Cel. (505) 8553 6823

COLABORADORES

Edgard González, Costa Rica

Darner Mora, Costa Rica

Fernando Presa, Argentina

Ana Patricia Muñoz, Directora ejecutiva de Internacional Budget Partnership

Javier Soto, Autodesk Water y Robin Chamber, AECOM

María Eva Koutsovitis y Matías GOYENECHÉ, Argentina

DISTRIBUCIÓN, con el agradecimiento a:

AIDIS: Presidentes de 34 capítulos de AIDIS en el Continente Americano

Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA): **Global**

Rural Water and Sanitation Network (RWSN) y Skat Foundation: **Global**

FCEA A.C: **México** ; RASGUA: **Guatemala** ; PTPS: **Honduras**

Instituciones, Sector Privado, UNI a través de PIENSA y RASNIC: **Nicaragua**

APEMETA: **Portugal**

Patrocinadores de esta Edición:



A todos, muchas gracias por su esfuerzo y apoyo.

Registro de Propiedad Intelectual MIFIC: OL-1103-2025

Registro en la International Standard Serial Number: ISSN # 3007-860

ÍNDICE

ENE.
2026

¿HACIA DÓNDE SE DIRIGE LA INDUSTRIA DEL AGUA EN 2026?

12



36



METCALF & EDDY:

los ingenieros que transformaron el saneamiento moderno

FLUORURO EN EL AGUA POTABLE

nueva evidencia científica reafirma su seguridad y aporta claves para la salud pública

43



48



AGUAS TERMALES

la ciencia detrás del bienestar natural

TRANSFORMANDO EL DISEÑO DE DRENAJE CON ACOM Y AUTODESK INFODRAINAGE

79



101

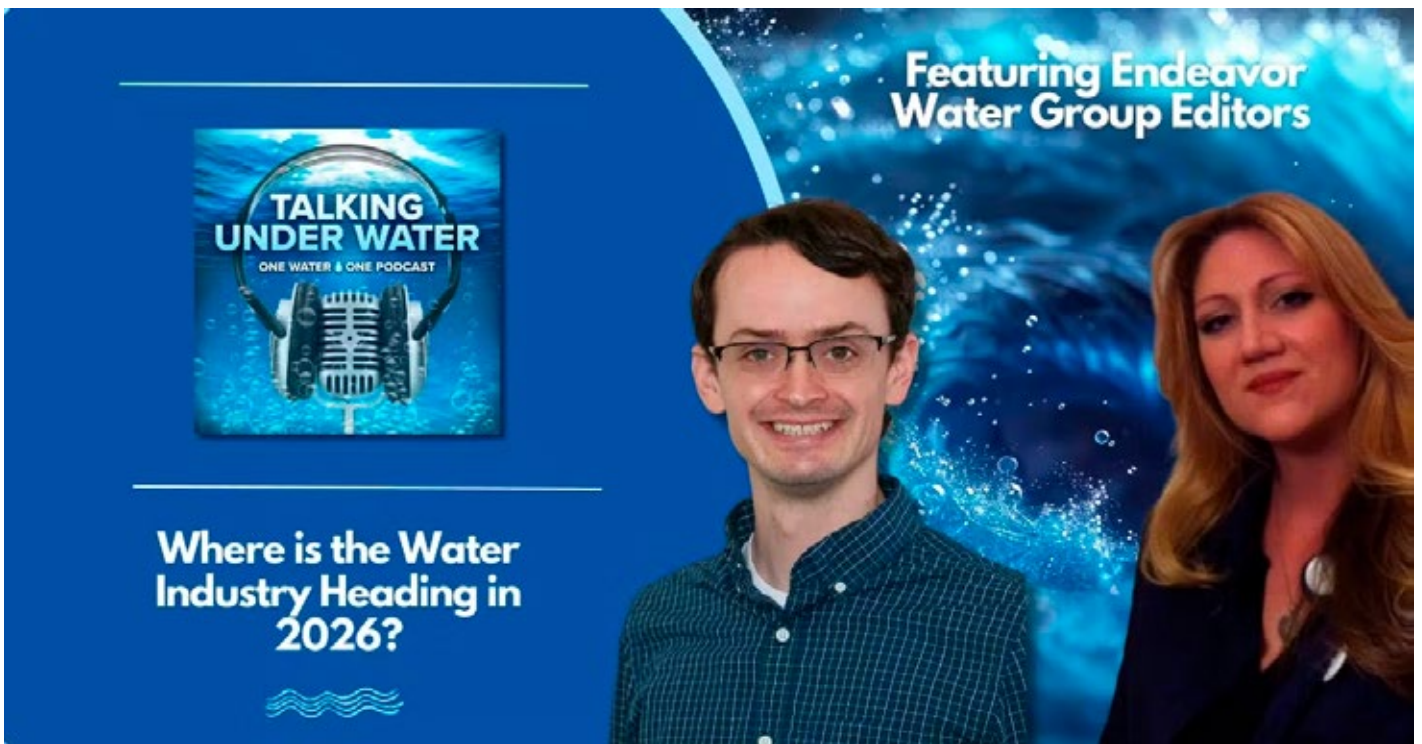


EL USO DE TIKTOK COMO HERRAMIENTA DE COMUNICACIÓN:

entre la incertidumbre climática y la gestión inteligente

AGUA

REVISTA DIGITAL



¿HACIA DÓNDE SE DIRIGE LA INDUSTRIA DEL AGUA EN 2026?

BASADO EN EL EPISODIO DEL PODCAST TALKING UNDER WATER Y EN ANÁLISIS DE TENDENCIAS DEL SECTOR.

EN EL EPISODIO "WHERE IS THE WATER INDUSTRY HEADING IN 2026?" LOS ANFITRIONES DISCUTEN INFORMES DEL ESTADO DE LA INDUSTRIA ELABORADOS POR MARCAS LÍDERES DEL SECTOR DEL AGUA (COMO WASTEWATER DIGEST Y WATERWORLD), DESTACANDO TENDENCIAS EMERGENTES, DESAFÍOS Y PRIORIDADES ESTRATÉGICAS PARA 2026. (TALKING UNDER WATER)

El análisis de encuestas del estado de la industria es fundamental para entender la salud financiera, operacional y estratégica de entidades municipales, comerciales e industriales que manejan agua y aguas residuales.

Estas encuestas ayudan a interpretar cómo las utilities (entidades públicas y privadas) y organizaciones están planificando inversiones mediante la adaptación al cambio climático y la resiliencia.

Más allá de la Economía Circular: Integración del concepto One Water

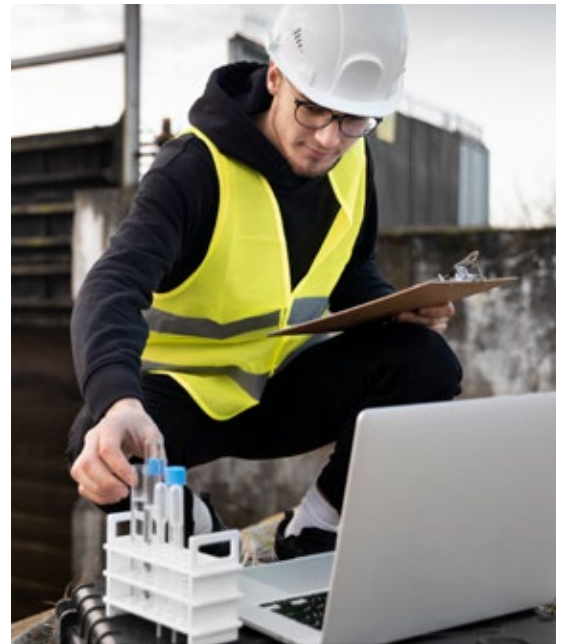
El movimiento One Water (integración del manejo del agua potable, aguas residuales, aguas pluviales y reutilización) continúa siendo un enfoque central para abordar los retos hídricos de forma holística. Esto apunta a que las organizaciones migren de soluciones aisladas a estrategias integradas de recursos hídricos.

Enfoque en resiliencia, adaptación y financiamiento

- La industria dirige esfuerzos hacia la resiliencia ante amenazas climáticas (sequías, inundaciones), envejecimiento de infraestructura, financiamiento sostenible y equidad en servicios.
- Aunque esto no está totalmente detallado en este ejercicio, se alinea con tendencias más amplias del sector para 2026 sobre resiliencia y seguridad hídrica.

Otras tendencias del sector que coinciden con proyecciones 2026

Aunque no están específicamente en el podcast, estos temas reflejan direcciones estratégicas globales para 2026 en la industria del agua:



Descentralización y redes inteligentes

Las infraestructuras tradicionales se complementan con soluciones descentralizadas y tecnologías inteligentes para mejorar la eficiencia, reducir pérdidas y responder ante eventos extremos.

Modelos de servicio y financiamiento innovadores

Crecen enfoques como Water-as-a-Service, modelos de financiamiento alternativo y alianzas público-privadas que responden a restricciones presupuestarias y aumentan la inversión en infraestructura.



Reutilización y gestión integrada de recursos

El tratamiento y reutilización del agua dejan de ser opciones de nicho para convertirse en expectativas del mercado, especialmente en regiones con estrés hídrico.

Contaminantes emergentes y tecnología

La atención en PFAS, microcontaminantes y herramientas de monitoreo avanzado seguirá impulsando soluciones tecnológicas en tratamiento, control y regulación.

Capacidad de la fuerza laboral y habilidades futuras

Las brechas en mano de obra técnica llevan a adoptar externalización, capacitación avanzada y herramientas digitales para mantener la operación y mantenimiento efectivos.

En resumen: ¿Hacia dónde se dirige la industria del agua en 2026?

En conjunto, conforme al podcast y análisis de tendencias:

La industria está evolucionando hacia:

- Una mayor integración holística del manejo del agua (One Water)
- Un mayor uso de datos, encuestas y análisis para planificación estratégica
- Mayor resiliencia frente al cambio climático y eventos extremos
- Tecnologías inteligentes y modelos de servicio innovadores
- Gestión integrada de recursos, reutilización y sostenibilidad



EL ESTADO DEL SANEAMIENTO RURAL EN EL MUNDO HACIA 2030: AVANCES, BRECHAS Y OPORTUNIDADES

EL SANEAMIENTO RURAL ES HOY EL ESLABÓN MÁS REZAGADO DEL OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 6 (ODS 6). AUNQUE EL MUNDO HA AVANZADO SIGNIFICATIVAMENTE EN ACCESO A INSTALACIONES MEJORADAS DESDE EL AÑO 2000, LA REALIDAD ES CONTUNDENTE: A LA VELOCIDAD ACTUAL, EL PLANETA NO ALCANZARÁ LA META DE SANEAMIENTO UNIVERSAL EN 2030.

LAS CIFRAS LO DEMUESTRAN, PERO TAMBIÉN REVELAN OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS PARA TRANSFORMAR EL FUTURO DEL AGUA, LA SALUD Y LA DIGNIDAD EN COMUNIDADES RURALES.

Qué exige realmente el ODS 6.2

La meta mundial de saneamiento para 2030 pide que todas las personas tengan acceso a servicios "gestionados de forma segura", lo que significa:

- Instalaciones mejoradas (letrina ventilada, inodoro a pozo séptico, doble fosa, etc.).
- Uso exclusivo familiar, no compartido.
- Gestión segura de excretas: tratamiento in situ o recolección y disposición final segura.

Además, el objetivo exige poner fin a la defecación al aire libre, aún arraigada en muchas zonas rurales del mundo.



La situación global: avances importantes pero insuficientes

La actualización OMS/UNICEF más reciente estima que:

- Solo **56–57 % de la población mundial** tiene **saneamiento gestionado de forma segura**.
- Más de 3.5 mil millones de personas (43 %) siguen sin ese nivel de servicio.
- 419 millones aún practican defecación al aire libre.

Estos datos reflejan un progreso significativo desde el año 2000, pero dejan ver una brecha enorme para cumplir la meta 2030.

El panorama rural: la mayor brecha del ODS 6

El déficit más profundo se concentra en el mundo rural:

• Cobertura insuficiente

Entre 2015 y 2022, la cobertura de saneamiento gestionado de forma segura en áreas rurales subió apenas de 36 % a 46 %.

Esto significa que más de la mitad de los habitantes rurales del mundo no tienen un saneamiento seguro.

• La mayoría de los rezagos están en el campo

Entre 7 y 8 de cada 10 personas sin servicios básicos de saneamiento viven en áreas rurales.

• Defecación al aire libre persistente

A pesar de los avances, la gran mayoría de quienes continúan practicándola viven en comunidades rurales de países de bajos ingresos, principalmente en África Subsahariana y partes del sur de Asia.

¿Llegaremos a 2030? La respuesta es no... al ritmo actual

Los propios informes del sistema de Naciones Unidas son claros: Para cumplir el ODS 6.2, el mundo tendría que **triplicar o cuadruplicar la velocidad de avance**, y para algunas metas incluso multiplicarla por seis.

Proyecciones recientes indican que, de continuar al ritmo actual, el acceso universal a saneamiento gestionado de forma segura **no se alcanzaría antes de 2050–2060**.

Es decir: **el saneamiento rural está fuera de ruta para 2030**, pero aún hay margen para acelerar.



LOS DESAFÍOS ESTRUCTURALES DEL SANEAMIENTO RURAL

1. Pobreza y dispersión geográfica

Las viviendas están dispersas, los costos por hogar son altos y los presupuestos públicos limitados.

2. Más allá de la letrina

Muchos hogares tienen una letrina, pero los lodos nunca se vacían o se disponen de forma insegura. Sin gestión de excretas, el servicio no cumple el estándar ODS.

3. Comportamiento y normas sociales

En algunas regiones, la defecación al aire libre sigue siendo una práctica tradicional, incluso cuando existen instalaciones.

4. Instituciones débiles y financiamiento inestable

Los programas rurales suelen depender de proyectos a corto plazo, con poca continuidad técnica o financiera.

5. Efectos del cambio climático

Inundaciones que dañan letrinas, sequías que afectan sistemas, y aumento del nivel freático que contamina pozos.

6. Desigualdad de género y vulnerabilidad

La falta de privacidad afecta desproporcionadamente a mujeres, niñas y personas con discapacidad.



Oportunidades para acelerar el progreso antes de 2030

Aunque no se alcance la meta en su totalidad, existen oportunidades reales para transformar la trayectoria del saneamiento rural:

a) Saneamiento rural comunitario

Modelos como CLTS, combinados con subsidios focalizados, generan cambios duraderos cuando se adaptan al contexto local.

b) Soluciones pequeñas, eficientes y resilientes

- Letrinas mejoradas resistentes a inundaciones
-
- Sistemas de doble fosa
-
- Biodigestores familiares
-
- Baños secos en zonas áridas

Tecnologías sencillas pero seguras pueden escalarse rápidamente.

c) Gestión de lodos fecales rural

Microsistemas de vaciado, transporte y tratamiento a pequeña escala pueden resolver la mitad del problema del saneamiento seguro.

d) Financiamiento climático y ODS

El saneamiento rural es un campo ideal para combinar inversión en salud, clima y resiliencia.

e) Innovación y soluciones sin conexión a red

Sanitarios off-grid, baños autónomos, tecnologías que transforman excretas en compost o energía: modelos que están emergiendo en África, India y América Latina.

Conclusión

El saneamiento rural del mundo enfrenta un desafío histórico. En 2030 no se logrará la universalidad, pero la década actual puede marcar un punto de inflexión: **pasar del rezago crónico a una ruta de progreso acelerado.**

Cada fosa séptica bien diseñada, cada letrina mejorada resistente al clima, cada comunidad que abandona la defecación al aire libre y cada hogar que maneja sus excretas de forma segura suma a un objetivo más amplio: **dignidad, salud y sostenibilidad para las comunidades rurales del planeta.**

La meta es ambiciosa, pero indispensable. Y aunque el mundo rural aún está lejos del ODS 6.2, nunca había existido un momento más propicio para invertir, innovar y transformar el saneamiento desde la base.

PRONÓSTICOS DEL AGUA 2026: ENTRE LA INCERTIDUMBRE CLIMÁTICA Y LA GESTIÓN INTELIGENTE



EL AÑO 2026 SE PERFILO COMO UN PERIODO DECISIVO PARA EL AGUA EN EL PLANETA. LOS EXPERTOS ANTICIPAN UNA TRANSICIÓN HACIA UN EPISODIO DE LA NIÑA DÉBIL, CON LLUVIAS IRREGULARES, ALTERNANCIA DE SEQUÍAS Y EVENTOS EXTREMOS LOCALIZADOS. MIENTRAS ALGUNAS REGIONES ENFRENTARÁN ESCASEZ HÍDRICA Y RESTRICCIONES DE USO, OTRAS EXPERIMENTARÁN INUNDACIONES REPENTINAS Y FLORACIONES ALGALES IMPULSADAS POR EL CALENTAMIENTO OCEÁNICO.

SEGÚN LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM), LA VARIABILIDAD DEL SISTEMA CLIMÁTICO SERÁ EL PRINCIPAL DESAFÍO PARA LOS SERVICIOS DE AGUA, ENERGÍA Y AGRICULTURA, QUE DEBERÁN PLANIFICAR SOBRE ESCENARIOS CAMBIANTES MÁS QUE SOBRE PROMEDIOS HISTÓRICOS.

En América Latina, el Canal de Panamá se mantiene como símbolo y termómetro de la gestión del agua. Tras la histórica sequía de 2023, los niveles de los lagos Gatún y Alhajuela se han recuperado parcialmente, pero la autoridad del canal mantiene una "alerta amarilla hídrica".

Para 2026, se prevé una operación más estable, apoyada por proyectos como el reservorio del río Indio y un nuevo sistema de manejo de cuencas.

El mensaje es claro: incluso las infraestructuras más emblemáticas del mundo dependen de la resiliencia hidrológica y de una gestión integrada del recurso.

La agenda global: Objetivo 6 aún fuera de ruta

El **Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 6 (Agua y Saneamiento)** seguirá rezagado en 2026.

La ONU advierte que el ritmo actual de inversión y cobertura no permitirá lograr el acceso universal antes de 2030.

Ante ello, los países están fortaleciendo programas de **eficiencia hídrica, digitalización de redes y reúso de agua**, mientras los organismos multilaterales promueven nuevas alianzas para acelerar el cumplimiento.

Calidad del agua: el desafío químico

Uno de los temas técnicos más urgentes para 2026 es la preparación frente a los **contaminantes emergentes**, especialmente los **PFAS (sustancias perfluoroalquiladas)**. Estados Unidos ya fijó límites máximos y exige a los sistemas de agua potable **monitorear desde 2027** y cumplir con los nuevos estándares **a partir de 2029**. Esto impulsará inversiones en **adsorción avanzada, resinas de intercambio iónico y ósmosis inversa**, abriendo un mercado creciente en tecnología de tratamiento y análisis.

Agua inteligente: de la oferta a la gestión de la demanda

La gestión moderna del agua en 2026 estará marcada por el **cambio cultural**: pasar de controlar la oferta a **gestionar la demanda**.

Más ciudades adoptarán **tarifas escalonadas, medición inteligente**, reducción de **agua no contabilizada (NRW)** y certificaciones como la **ISO 46001 de eficiencia hídrica**.

Los modelos de "multi-fuente" –combinando agua superficial, subterránea, lluvia, reúso y desalinización– serán la norma en sistemas urbanos costeros y semiáridos.





Desalinización y reúso: soluciones en expansión

El mercado global de desalinización y reúso crecerá a una tasa anual cercana al 7 % hacia 2026, con liderazgo en Medio Oriente, Norte de África y Estados Unidos, y una expansión gradual en América Latina.

Los nuevos proyectos incorporan energías renovables y contratos tipo BOOT, que garantizan operación sostenible y menor huella de carbono.

Ciencia, comunicación y confianza

A medida que los fenómenos climáticos se vuelven más impredecibles, la información en tiempo real y la comunicación transparente con la ciudadanía serán fundamentales.

Los organismos operadores deberán divulgar sus pronósticos hídricos, calidad del agua y planes de contingencia de forma proactiva, fortaleciendo la confianza pública.

La tendencia global apunta hacia servicios de agua como plataformas de datos, no solo como proveedores del recurso.

La conclusión breve a este pronóstico es: Prepararse, no reaccionar

El 2026 no será un año de estabilidad hídrica, sino de adaptación dinámica. Los países, empresas y comunidades que logren anticiparse –integrando ciencia, tecnología y gobernanza– serán los que mejor enfrenten los impactos del clima y aprovechen las oportunidades de la transición verde.

El mensaje para la región es claro:

“El agua ya no se gestiona con promedios, sino con inteligencia y previsión.”

Fuentes consultadas

- Organización Meteorológica Mundial (OMM), Informe climático global 2025.
- Naciones Unidas (UN-Water), SDG 6 Acceleration Framework, 2025.
- US EPA, PFAS Drinking Water Regulation Update, 2025.
- Banco Mundial, Water Supply & Sanitation Outlook 2025–2026.
- Canal de Panamá, Plan Maestro del Agua 2025–2050.
- Global Water Intelligence, Desalination & Water Reuse Market 2025 Report.



LAS NUEVAS FRONTERAS DE INNOVACIÓN QUE MARCARÁN EL FUTURO DE LA GESTIÓN HÍDRICA

A NADIE SORPRENDE LA AFIRMACIÓN DE QUE EL SECTOR DEL AGUA ATRAVIESA EN LA ACTUALIDAD UNA ETAPA DE TRANSFORMACIÓN PROFUNDA, IMPULSADA POR NUEVAS DEMANDAS SOCIALES, TECNOLÓGICAS Y AMBIENTALES

Conscientes de ello, en este reportaje analizamos las principales tendencias que están marcando el camino hacia una **gestión del agua innovadora**.

Transformación, evolución o transición son términos comúnmente empleados para referirse a la etapa que atraviesa en la actualidad el sector del agua, en la que empresas, administraciones públicas y organismos de investigación, entre otros actores del ciclo integral, se encuentran en una búsqueda constante de soluciones tecnológicas más eficientes, robustas, sostenibles y transferibles. Aunque tradicionalmente se ha tratado de un sector muy receptivo a la innovación –en gran medida porque necesita maximizar la eficiencia en la gestión del recurso, al tiempo de optimizar los costes–, la crisis climática y la constante presión sobre los recursos hídricos, tanto en cantidad como en calidad, están actuando como un **auténtico acelerador**.

En este sentido, los episodios de sequía prolongada, las lluvias torrenciales y la variabilidad en la disponibilidad del recurso están obligando a repensar los modelos tradicionales de gestión. Hoy, la prioridad pasa por garantizar la resiliencia del sistema, optimizar el uso de recursos y aprovechar fuentes no convencionales mediante la reutilización. Para analizar cómo se está articulando esta transformación, hablamos con tres grandes expertos en la materia: **Marián Serrano Sánchez**, Presidenta de la [Plataforma Tecnológica Española del Agua](#); **Eduardo Ayesa Iturrate**, Investigador principal y Presidente Ejecutivo en Ceit y **Javier Claros**, investigador y responsable de innovación y proceso en [Ciclagua](#).

Otro factor determinante para impulsar la innovación es la concienciación social que está despertando la crisis climática, a raíz de la rapidez con la que se empiezan a vislumbrar sus efectos. Eduardo Ayesa alega que, si bien las demandas sociales son las que acaban promoviendo las grandes decisiones, **aún falta mucho camino por recorrer** respecto a este tema, ya que la gravedad de la crisis se percibe de manera diferente en función de las regiones y su vulnerabilidad. El experto enfatiza que lo más grave es que dicha percepción está frecuentemente condicionada por cuestiones ideológicas que nada tienen que ver con un análisis profundo del problema y de la manera de afrontarlo. "Creo que es muy importante eliminar la influencia de los radicalismos ideológicos, de un signo y de otro, para buscar juntos las mejores soluciones y promover también juntos la innovación necesaria para ello".

La necesidad de renovación de infraestructuras, adaptación al evidente cambio climático y el cumplimiento de las nuevas exigencias normativas están propiciando la búsqueda de soluciones innovadoras

Sacar el agua la discusión política es hoy uno de los grandes reclamos del sector, que a su vez aboga por establecer un diálogo claro entre administraciones, centros tecnológicos, universidades y empresas, alineando las necesidades del sector con las capacidades tecnológicas y científicas disponibles. Marián Serrano Sánchez, Presidenta de la Plataforma Tecnológica Española del Agua (PTEA), sostiene que un eje central de la Plataforma consiste en fomentar los espacios de colaboración, al entender que éstos impulsan una innovación "transversal y conectada, que acelera la **transferencia de conocimiento hacia proyectos reales y sostenibles**".

Entre los modelos cooperativos con resultados más eficaces, Serrano destaca los consorcios público-privados estables, como los enmarcados en el PERTE de digitalización del ciclo del agua; los ecosistemas de innovación, que facilitan el intercambio continuo de experiencias, y el escalado de tecnologías y la Compra Pública de Innovación (CPI), pues permite a la administración estimular la demanda de innovación orientada a su implantación.

Tres factores que están acelerando la transformación del sector hídrico

- Mayor concienciación social sobre la necesidad de preservar el entorno y la calidad de las aguas
- El avance en formación y capacitación técnica de los profesionales del sector, tanto en las entidades públicas como en las empresas privadas
- La progresiva implantación de nueva legislación y directivas cada vez más exigentes, unidas a la disposición de fondos suficientes para financiar proyectos ambiciosos



Motores de cambio en la gestión del agua

Antes de abordar cuáles se postulan como los nuevos frentes de innovación en el sector hídrico español, resulta preciso comprender primero cuáles son aquellos factores que están **actuando sinérgicamente como motores de transformación**. Si bien existen una multiplicidad de ellos, a grandes rasgos hallamos tres prioritarios:

En primer lugar, y como se expuso anteriormente, la mayor conciencia ciudadana sobre la necesidad de preservar el entorno y, más en concreto, la calidad y disponibilidad del recurso, se está consolidando en la sociedad como un valor irrenunciable. Aunque aún falta sensibilización sobre determinados aspectos, los esfuerzos divulgativos desde los organismos públicos, **empresas del sector y universidades están contribuyendo a una mejor comprensión de la relevancia del sector**.

Por otra parte, el significativo avance en la formación y la capacitación técnica de los profesionales del sector en las últimas décadas, tanto en las entidades públicas como en las empresas privadas, ha sido otro factor determinante para su mejoría. Tal y como señala Eduardo Ayesa, el hecho de que los equipos directivos y técnicos sean cada vez más **multidisciplinares y cualificados** redundará lógicamente en la calidad y exigencia de los proyectos y del servicio que ofrecen. Además, la concentración de las entidades de gestión del agua en consorcios y agrupaciones de mayor tamaño ha acelerado notablemente esta mejora, agrega.



Hay que potenciar la divulgación y concienciación social del ciclo urbano del agua. Una sociedad que comprende este servicio de manera global, está más abierta a apoyarlo.

—
Eduardo Ayesa, investigador principal y presidente ejecutivo en Ceit.

La tercera pata fundamental es la legislación y la progresiva implantación de directivas cada vez más exigentes, que unidas a la disposición de fondos suficientes para abordar y financiar ambiciosos programas de modernización de instalaciones, están acelerando la transformación verde y digital de la industria. En este contexto, no cabe duda de que el PERTE de Digitalización del Ciclo Integral del Agua está actuando como una palanca estratégica para cubrir parte de la necesidad de renovación de infraestructuras, adaptación al cambio climático y el cumplimiento de las nuevas exigencias normativas.

Asimismo, las políticas europeas están teniendo un papel decisivo en la promoción de la I+D+i en el sector del agua, especialmente a través del Pacto Verde Europeo, los fondos Next Generation EU y programas como Horizonte Europa. Javier Claros expone que estos instrumentos han permitido impulsar **proyectos de digitalización, eficiencia energética y economía circular** que, de otro modo, serían difíciles de abordar solo con recursos propios.

Áreas de mejora más apremiantes

Cualquier proceso de transformación enfrenta una serie de obstáculos que pueden dificultar su implantación. En el caso del sector del agua, las barreras más notorias se encuentran en el **ámbito de la financiación, la normativa, la gobernanza y la aceptación social**. A sabiendas de lo anterior, los tres expertos coinciden al indicar una serie de puntos que abordar necesariamente:

Todos ellos posicionan como actuación prioritaria la **mejora estructural de las instalaciones**, con elevado grado de obsolescencia, así como la eficiencia energética y operativa de las mismas. Javier Claros indica que la primera parte se soluciona con mayor inversión; mientras que la segunda supone, además de inversión, el desarrollo de estrategias basadas en el uso de los datos que se están generando continuamente en las instalaciones. El investigador aboga por tratar el agua como una "infraestructura de datos" que aportará información relevante y útil para mejorar su planificación y el bienestar del conjunto de la población.

Sobre esta base, Marián Serrano puntualiza que la **mayor digitalización** del sector está propiciando el paso de modelos reactivos a modelos proactivos y predictivos. Concretamente, las plataformas de integración de datos, unidas a los gemelos digitales, la sensorización inteligente, el big data y la inteligencia artificial aplicada a la gestión predictiva, están permitiendo obtener una visión global que facilita la toma de decisiones.



Si potenciamos la innovación como el motor capaz de transformar un recurso finito en una fuente inagotable de posibilidades, lograremos un sector del agua eficiente, sostenible y conectado con la sociedad.

—
Marián Serrano Sánchez, presidenta de la PTEA.

Ahora bien, la tecnología por sí sola no basta si el marco legislativo y administrativo no acompaña. Otro punto crítico es la **fragmentación normativa** y la disparidad de estructuras de gobernanza, que incrementan la complejidad y ralentizan los procesos necesarios para que las soluciones desarrolladas lleguen realmente a implantarse.

Cada vez es más común escuchar la necesidad de alcanzar una gestión sostenible e integrada del agua y, en este sentido, Eduardo Ayesa pone el acento en la importancia de dicha integración. El experto manifiesta la **necesidad de reducir la compartimentalización** con la que frecuentemente se construyen y gestionan los diferentes subsistemas del ciclo del agua (captación, ETAPs, redes de distribución, redes de saneamiento, EDARs, etc.), así como de diseñar y construir las infraestructuras teniendo en cuenta su posterior explotación.

“No podemos olvidar que una gestión más integrada puede incrementar la complejidad, pero con la creciente capacitación técnica y las nuevas herramientas de digitalización, deberíamos ser capaces de avanzar rápido en esa dirección. Asimismo, es importante también agilizar la coordinación de competencias y responsabilidades”, argumenta.

Existen aún aspectos a reforzar, como la simplificación de los procedimientos administrativos y favorecer una mayor continuidad en las convocatorias, para garantizar estabilidad y planificación a medio plazo

A estos retos se suma otro de carácter estructural en el ecosistema español de innovación en el sector del agua: **la ausencia de una verdadera cultura cooperativa** entre los generadores de conocimiento, las empresas proveedoras de tecnología y los usuarios finales. Una de las reivindicaciones del sector es apoyar más a las empresas nacionales, que asumen riesgos y desarrollan tecnologías innovadoras, promoviendo su colaboración con universidades y centros tecnológicos de excelencia; además de facilitar la validación experimental de sus productos en las infraestructuras explotadas por los usuarios finales.

En último lugar, los expertos señalan que el potencial transformador del sector se ve también limitado por la **falta de mayor conocimiento y sensibilización social** respecto a determinadas soluciones, lo que restringe su aceptación. Un ejemplo claro de ello es el empleo de aguas regeneradas. Por este motivo, enfatizan la importancia de potenciar la divulgación y la concienciación en torno al ciclo urbano del agua. Como puntualiza Eduardo Ayesa, “una sociedad que comprende este servicio de manera global, está más abierta a apoyarlo y, por ejemplo, a repercutir en el precio del agua los costes de inversión y explotación necesarios para garantizar un servicio de calidad, desde el abastecimiento hasta su retorno a los medios receptores”.



Creo que las próximas fronteras de la innovación en el sector hídrico estarán marcadas por el uso eficiente de los datos: la integración de la inteligencia artificial, los gemelos digitales y la automatización avanzada.

—
Javier Claros Bedoya, responsable de Innovación y Proceso en Ciclagua.

Próximas fronteras de innovación

Ahora que termina el año 2025 y se abre un **nuevo período marcado por la adaptación del sector a la nueva normativa** y por el desarrollo de soluciones capaces de dar respuesta a los requerimientos impuestos, planteamos a los profesionales una cuestión clave: ¿hacia dónde consideran que evolucionará, en el corto plazo, la gestión integral del ciclo del agua?

De forma unánime, todos ellos coinciden en el papel prioritario que desempeñará la digitalización profunda de los servicios y la incorporación de tecnologías emergentes para garantizar la eficiencia y optimizar la toma de decisiones. En concreto, señalan que el modelo futuro se sustentará en la captación y el uso eficiente de datos mediante la integración de **inteligencia artificial, gemelos digitales y automatización avanzada**. De este modo, los operadores dispondrán en todo momento de información centralizada, fiable y actualizada sobre su planta o red, así como de una capacidad predictiva que actúe como soporte estratégico para la toma de decisiones.

¿Hacia dónde se dirige el sector del agua?

Transformación digital

Digitalización profunda de **infraestructuras y servicios apoyada en datos, inteligencia artificial, gemelos digitales y automatización avanzada**.

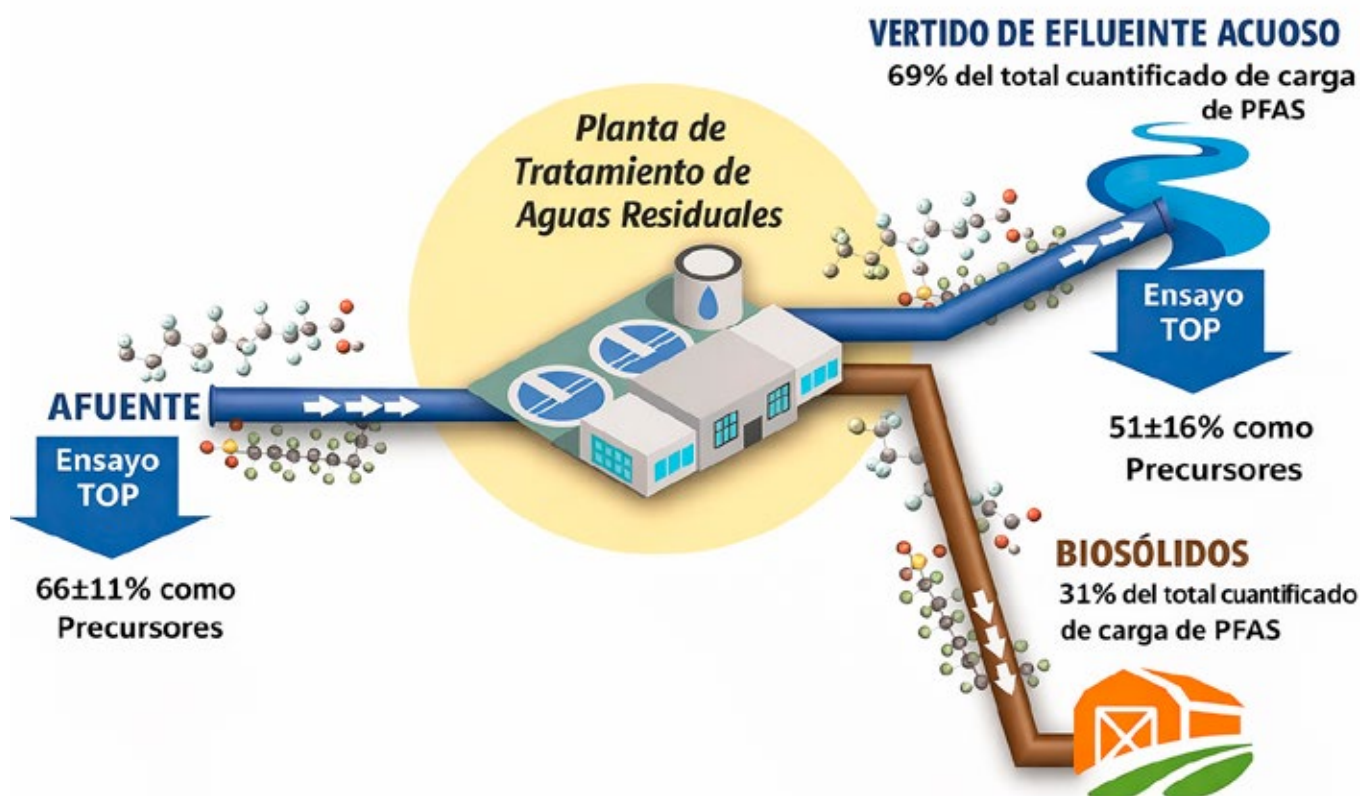
Gestión circular y biofactorías

Concepción de las depuradoras como **biofactorías, capaces de transformar efluentes y subproductos en nuevos recursos de alto valor**.

Junto a esta transformación digital, los expertos sitúan un segundo eje de cambio igual de determinante: la transición hacia un enfoque de gestión más circular, resiliente y descentralizado, en el que la reutilización, la valorización de recursos y la autosuficiencia energética se configuren como pilares básicos. En este sentido, subrayan la necesidad de extender **la visión de las depuradoras como plantas de recuperación** de recursos, de manera que se conciban como auténticas "biofactorías" o "biorrefinerías", capaces de transformar efluentes y subproductos en nuevos recursos de valor, alineando así la gestión del agua con los principios de la economía circular.

En definitiva, el futuro del sector pasa por hacer de la innovación el eje vertebrador de todo el sistema: una innovación tecnológica que aproveche el potencial de los datos y la digitalización; una innovación ambiental que impulse modelos más circulares y resilientes; y una innovación en la forma de gobernar, basada en la transparencia y la colaboración entre todos los agentes. Solo si la gestión del agua se concibe como un ámbito en permanente evolución, la gestión integral del ciclo del agua estará realmente preparada para **responder, con solvencia, a los desafíos presentes y futuros**.

2025: UN AÑO DECISIVO PARA EL SECTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES



EL AÑO 2025 MARCÓ UN PUNTO DE INFLEXIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LAS AGUAS RESIDUALES. CAMBIOS POLÍTICOS, DEBATES REGULATORIOS, CONFLICTOS TRANSFRONTERIZOS Y AVANCES TECNOLÓGICOS CONVERGIERON EN UN ESCENARIO COMPLEJO DONDE LA GESTIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES –ESPECIALMENTE LOS PFAS– SE CONVIRTIÓ EN EL EJE CENTRAL DE LA AGENDA PÚBLICA Y TÉCNICA .

LAS NOTICIAS MÁS LEÍDAS DEL SECTOR REFLEJAN NO SOLO DECISIONES ADMINISTRATIVAS, SINO TAMBIÉN TENSIONES ENTRE PROTECCIÓN AMBIENTAL, VIABILIDAD ECONÓMICA Y RESPONSABILIDAD LEGAL.

PFAS: el contaminante protagonista del año

Uno de los temas dominantes fue la regulación de las sustancias **per- y polifluoroalquiladas (PFAS)**. En enero de 2025, la nueva administración estadounidense retiró una propuesta que habría impuesto límites específicos a los PFAS en los efluentes industriales, generando incertidumbre en el sector .

Posteriormente, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) anunció una **estrategia integral para abordar la contaminación por PFAS**, acompañada del borrador de evaluación de riesgos de lodos de aguas residuales para PFOA y PFOS. Este documento se centró especialmente en poblaciones rurales cercanas a granjas que utilizan biosólidos, abriendo un debate sobre riesgos localizados frente a impactos poblacionales generales .

Flexibilización normativa y controversia industrial



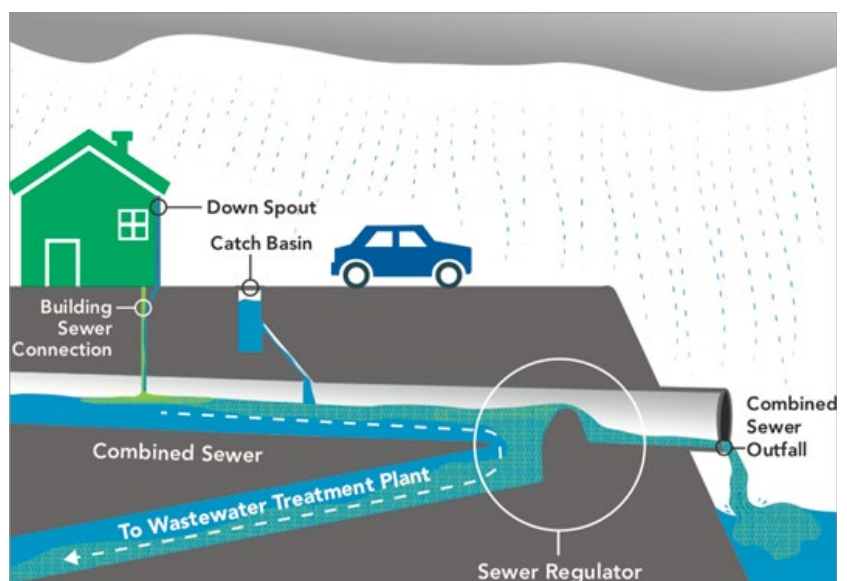
En septiembre de 2025, la EPA decidió **no avanzar con nuevas regulaciones sobre vertidos de aguas residuales** para el sector de procesamiento de carne y aves de corral. De forma paralela, anunció la revisión de normas aplicables a las aguas residuales de la **industria de petróleo y gas**, considerando opciones como la reutilización beneficiosa y una mayor flexibilidad geográfica .

Estas decisiones fueron interpretadas por algunos actores como un alivio regulatorio necesario y por otros como un retroceso en la protección ambiental, reflejando la complejidad de equilibrar desarrollo económico y sostenibilidad.

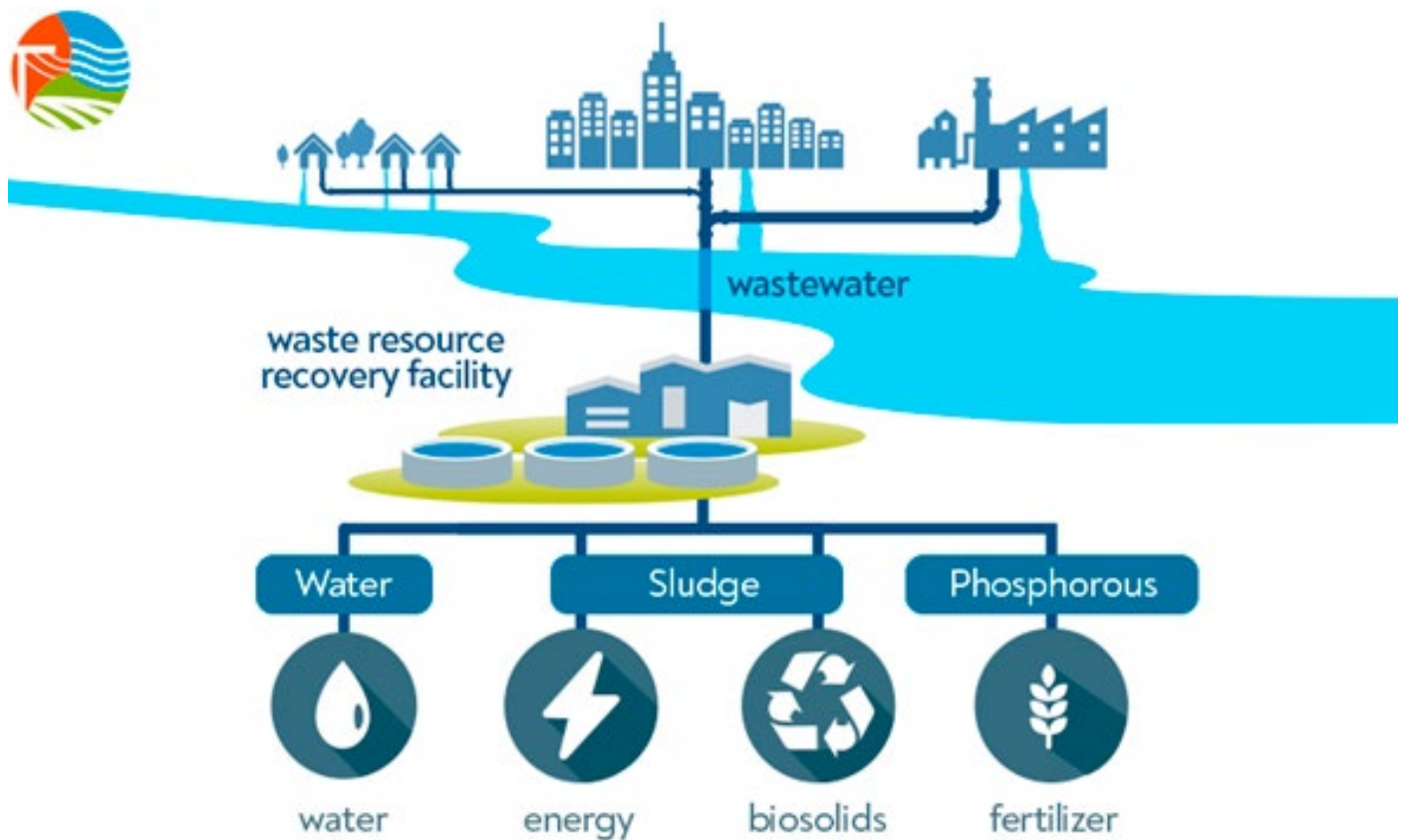
Conflictos legales y fallas en infraestructura urbana

El deterioro de la infraestructura también ocupó titulares. El Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York demandó a la Autoridad de Alcantarillado de Buffalo por **violaciones reiteradas de permisos** y descargas masivas de aguas residuales sin tratar a cuerpos de agua, evidenciando los riesgos de los sistemas combinados de alcantarillado en ciudades antiguas .

Estos casos subrayan la urgencia de invertir en modernización, resiliencia climática y control de desbordes en zonas urbanas densamente pobladas.



Innovación y valorización de las aguas residuales



No todas las noticias fueron negativas. En noviembre de 2025, el Departamento de Energía de EE. UU. anunció una inversión de **25 millones de dólares** para recuperar minerales críticos y nutrientes desde aguas residuales, consolidando la visión de estas corrientes como fuentes de recursos, no solo como desechos .

Asimismo, Veolia publicó resultados que demuestran que la **incineración a alta temperatura** puede destruir más del 99% de los PFAS, aportando evidencia técnica clave para la gestión segura de residuos contaminados.



Aguas residuales y diplomacia hídrica

El manejo de aguas residuales también tuvo implicaciones internacionales. En abril de 2025, México realizó descargas temporales de aguas residuales en el **río Tijuana** durante trabajos de reparación, lo que reactivó los mecanismos de coordinación binacional y evidenció la fragilidad de los sistemas transfronterizos .

LECCIONES DE 2025 SOBRE AGUAS RESIDUALES



El panorama informativo de 2025 muestra que las aguas residuales están en el centro de **decisiones políticas, debates científicos y conflictos sociales**. La gestión de PFAS, la responsabilidad legal de los servicios públicos, la modernización de infraestructuras y la valorización de recursos marcarán la agenda de los próximos años.

Para el sector del agua, el mensaje es claro: **las aguas residuales ya no son solo un problema sanitario**, sino un componente estratégico de la seguridad hídrica, ambiental y económica del siglo XXI .

Alex Cossin

31 de diciembre de 2025



INVERTIR EN AGUA PARA TRANSFORMAR EL FUTURO: PLAN DE GWP 2026-2030

GWP presentó en Septiembre de 2025 la Estrategia Global Water Partnership 2026-2030

A menos de cinco años del horizonte fijado por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el mundo se enfrenta a un desafío crítico: una **brecha de inversión anual superior a los 140 000 millones de dólares** para lograr el ODS 6 –agua limpia y saneamiento para todos–. Consciente de esta urgencia, la Global Water Partnership (GWP) ha presentado su Estrategia 2026-2030, un plan global para transformar la manera en que se financia, gobierna y gestionan los recursos hídricos.

Una agenda de transformación global

La nueva estrategia surge como parte de la **Agenda de Transformación Global sobre Inversiones en Agua**, lanzada por GWP y su red internacional en 2025. Este esfuerzo marca el inicio de una etapa caracterizada por la **digitalización, la gobernanza resiliente al clima y la participación ciudadana**, con la meta de construir un mundo con seguridad hídrica y desarrollo sostenible.

GWP propone **tres objetivos estratégicos interconectados**:

1. Finanzas e inversiones

Incrementar el volumen, la calidad y la eficiencia de la financiación hídrica para lograr resiliencia climática.

- Meta 2030: influir en 15 000 millones USD y movilizar 500 millones USD en nuevos fondos.

2. Gobernanza del agua

Mejorar los marcos nacionales e impulsar la cooperación transfronteriza.

- Meta 2030: 150 mejoras institucionales en la gobernanza hídrica.

3. Conocimiento, capacidad e innovación digital

Fortalecer instituciones, formar profesionales y expandir el acceso a información confiable.

- Meta 2030: 60 países apoyados con datos mejorados y 500 profesionales capacitados (paridad de género 50/50).

Cerrar la brecha mundial de inversión

La estrategia busca **movilizar más de 30 000 millones USD al año para 2030** mediante una combinación de fuentes públicas, privadas y filantrópicas. Entre las herramientas propuestas destacan:

- **Fondos climáticos multilaterales** destinados al agua.
- **Impuestos verdes y sobre recursos minerales** como fuentes internas de financiamiento.
- **Inversión institucional responsable**, alineada con normas ambientales y sociales.
- **Gobernanza eficiente** que permita ahorrar hasta 100 000 millones USD en activos existentes a 2030.

El enfoque de GWP parte de un principio clave: finanzas, capacidad y gobernanza se refuerzan mutuamente. Las buenas políticas atraen financiamiento; una gestión sólida genera eficiencia; y la inversión en capacidades fortalece la resiliencia.

Plataformas y programas para la acción

La Estrategia 2026-2030 se implementará a través de programas globales y regionales articulados por la red GWP:

- **Plataforma Global de Inversión en Agua**, lanzada bajo la presidencia sudafricana del G20, que promoverá inversiones coordinadas en África, Asia, América Latina y Europa.
- **Programa Global de Apoyo a la Inversión en Agua y Clima**, orientado a ayudar a los países a planificar e implementar proyectos de adaptación.
- **HelpDesks conjuntos GWP-OMM**, que brindan asistencia técnica sobre inundaciones, sequías y sistemas de alerta temprana.
- **Water Knowledge Hub**, un centro mundial para el intercambio de conocimientos y fortalecimiento de capacidades.

Un movimiento global en expansión

Con más de 2 800 miembros en 180 países, 13 Asociaciones Regionales y 77 Nacionales, la red GWP se ha consolidado como una plataforma global para la gestión integrada de los recursos hídricos. Desde 2014, sus iniciativas han influido en más de 2 000 millones de euros en inversiones hídricas y apoyado a más de 90 países en reformas sectoriales.

El Consejo Global sobre Inversiones en Agua, lanzado en 2025 durante la presidencia sudafricana del G20, representa un nuevo espacio de coordinación entre gobiernos, organismos internacionales y sector privado, posicionando el agua como prioridad de inversión mundial.

Hacia 2030: una visión compartida

La Estrategia GWP 2026-2030 no solo plantea metas financieras, sino también una transformación cultural: reconocer el agua como un bien común y motor del desarrollo sostenible. Su enfoque sistémico, basado en alianzas y evidencia científica, constituye una hoja de ruta para cerrar la brecha de inversión y avanzar hacia un planeta más equitativo, resiliente y seguro en materia hídrica.

Fuente: *Global Water Partnership (2025). Estrategia 2026-2030: Transformando las inversiones hídricas resilientes al clima.*

<https://lnkd.in/eDM3rACK>



DIEZ TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE QUE MARCARÁN EL RUMBO HACIA 2026:



Innovación, sostenibilidad y resiliencia frente a la escasez hídrica

LA CRECIENTE ESCASEZ DE AGUA, EL SURGIMIENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES Y LA PRESIÓN POR SISTEMAS MÁS SOSTENIBLES ESTÁN TRANSFORMANDO PROFUNDAMENTE EL SECTOR DEL AGUA POTABLE. MÁS ALLÁ DE LA FILTRACIÓN CONVENCIONAL, NUEVAS TECNOLOGÍAS –MUCHAS DE ELLAS PENSADAS INICIALMENTE PARA USO RESIDENCIAL– ESTÁN DEMOSTRANDO UN ALTO POTENCIAL PARA ESCALARSE A SOLUCIONES COMUNITARIAS Y DESCENTRALIZADAS.

LAS DIEZ TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUA A SEGUIR EN 2026 REPRESENTAN UN CAMBIO DE PARADIGMA: PROCESOS CON MENOR DEPENDENCIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA Y UN ENFOQUE MÁS SELECTIVO FRENTE A CONTAMINANTES COMPLEJOS, TODO ELLO ALINEADO CON LOS PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR Y ADAPTACIÓN CLIMÁTICA.

1. Deionización capacitiva (CDI)

La deionización capacitiva permite remover sales e iones del agua sin el uso de productos químicos, utilizando electricidad de forma eficiente. Su evolución más reciente –el **CDI con electrodos de flujo**– mejora la remoción de metales pesados y la recuperación de nutrientes, manteniendo eficiencias hidráulicas cercanas al 100%. Esto la posiciona como una alternativa prometedora para zonas con salinidad moderada y restricciones energéticas.

2. Ósmosis frontal (FO)

La ósmosis frontal emplea membranas semipermeables para separar contaminantes sólidos y disueltos con menor consumo energético que la ósmosis inversa. Las nuevas membranas basadas en celulosa mejoran el flujo, reducen la incrustación y permiten un control más eficiente de la salmuera, un aspecto crítico para aplicaciones en regiones áridas y costeras.

3. Biofiltración

La biofiltración utiliza microorganismos para eliminar contaminantes microbiológicos y químicos de forma natural. Su aplicación resulta clave para el reúso del agua, la eliminación de olores y el control de contaminantes complejos como los PFAS. Estudios recientes muestran eficiencias cercanas al 95% en la remoción de compuestos indeseables, reforzando su rol como tecnología central en esquemas de tratamiento sostenible.

4. Tratamiento electroquímico

Los sistemas electroquímicos destacan por su diseño compacto y su capacidad para inactivar virus y bacterias sin reactivos químicos. Innovaciones en los ciclos de carga-descarga y en la electro síntesis microbiana abren la puerta a procesos que no solo tratan el agua, sino que también contribuyen al secuestro de carbono y a la valorización de subproductos .

5. Filtración acústica

La filtración acústica emplea ondas sonoras para separar partículas y contaminantes sin químicos y con bajo consumo energético. Desde nanotubos acústicos hasta aplicaciones fotocatalíticas, esta tecnología permite reforzar sistemas existentes y mejorar la eliminación de pesticidas y sólidos finos en tratamientos descentralizados .

6. Filtración basada en grafeno

Las membranas de grafeno ofrecen una capacidad excepcional para capturar contaminantes ultrafinos, bacterias y sales, incluso en aguas con alta salinidad. Su resistencia, posibilidad de regeneración y aplicación en ósmosis inversa las convierten en una de las soluciones más avanzadas para la purificación doméstica y comunitaria del agua .

7. Nanotecnología aplicada al tratamiento de agua

La nanotecnología permite tratamientos más selectivos frente a contaminantes específicos. Destacan las nano burbujas, que permanecen más tiempo en el agua y mejoran procesos de aireación, flotación y remoción de color e impurezas, ampliando las posibilidades de tratamiento frente a contaminantes emergentes .

8. Desinfección solar del agua (SODIS)

SODIS utiliza la radiación solar para desinfectar el agua de manera simple y económica. Es especialmente relevante para comunidades rurales y sistemas fuera de la red eléctrica. Las investigaciones actuales

buscan mejorar su eficacia en volúmenes mayores y reducir el riesgo de recontaminación, fortaleciendo su impacto en regiones vulnerables .

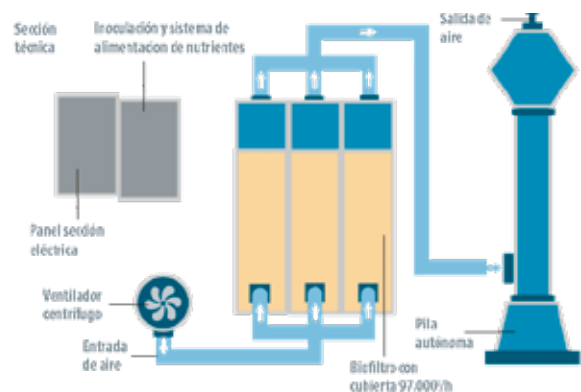
9. Filtración por membrana UV en el punto de uso

La integración de membranas UV en grifos y puntos de consumo permite una desinfección eficaz y libre de químicos. Con poros del orden de 0,01 micras, estas membranas ofrecen protección directa frente a virus y bacterias, especialmente cuando se combinan con otros métodos de tratamiento .

10. Membranas híbridas

Las membranas híbridas combinan múltiples materiales y procesos –incluidos métodos electroquímicos– para ofrecer soluciones integrales, auto limpiantes y escalables. Su alta eficiencia frente a contaminantes recientemente identificados las posiciona como una de las tecnologías más prometedoras para el futuro del tratamiento de agua potable .

Estas diez tecnologías reflejan una tendencia clara: el tratamiento del agua potable se dirige hacia sistemas más inteligentes, descentralizados y sostenibles, capaces de responder a escenarios de escasez, cambio climático y contaminación compleja. Lo que hoy emerge en el ámbito residencial marcará, en pocos años, el estándar de las soluciones comunitarias y urbanas. Prepararse para este cambio será clave para garantizar el acceso universal a agua segura en 2026 y más allá .



METCALF & EDDY: LOS INGENIEROS QUE TRANSFORMARON EL SANEAMIENTO MODERNO



La historia de dos pioneros cuyo legado definió la ingeniería del agua en el siglo XX y sigue guiando el diseño de sistemas sanitarios en todo el mundo.

En el universo de la ingeniería sanitaria, pocos nombres tienen la presencia, la influencia y el prestigio histórico de Metcalf & Eddy. La firma fundada en 1907 por Leonard Metcalf y Harrison Prescott Eddy en Boston se convirtió en sinónimo de excelencia técnica y rigor metodológico, llegando a influir –y en muchos casos definir– los estándares de diseño de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de abastecimiento de agua utilizados durante más de un siglo.

El célebre manual Wastewater Engineering, conocido hoy bajo la autoría editorial de Tchobanoglous, Burton y Stensel, no es otra cosa que la continuación moderna del trabajo iniciado por estos dos ingenieros visionarios.



LEONARD METCALF:

EL INGENIERO METICULOSO QUE FORMÓ ESCUELA

Formación y primeros años

Leonard Metcalf (1870–1926) se graduó del prestigioso **Massachusetts Institute of Technology (MIT)** en 1892, institución de la que más tarde sería miembro activo. Antes de asociarse con Eddy, ejerció como consultor independiente desde 1897, una época en que las ciudades estadounidenses crecían aceleradamente y exigían soluciones técnicas para problemas inéditos: aguas negras sin tratar, epidemias, inundaciones urbanas y falta de infraestructura formal.

Aportes clave

Metcalf fue coautor de la monumental obra *American Sewerage Practice* (1914–1916), posiblemente el primer tratado integral sobre alcantarillado y disposición de aguas residuales publicado en Estados Unidos. Su enfoque combinaba:

- precisión matemática,
- conocimiento empírico,
- análisis hidráulico detallado,
- criterios sanitarios basados en evidencia.

Su reputación lo llevó a asesorar proyectos estratégicos, incluyendo:

- El sistema metropolitano de abastecimiento de **Boston**,
- Estudios sobre seguridad de presas como el análisis del **dique de Calaveras**,
- Consultorías para servicios públicos en expansión.

Metcalf fue considerado un referente en **valuación de servicios públicos**, tarifas y profesionalización del sector.





HARRISON P. EDDY:

EL VISIONARIO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Formación y liderazgo profesional

Harrison Prescott Eddy (1870–1937) se graduó del **Worcester Polytechnic Institute**, donde más tarde obtendría un doctorado honorífico y serviría como trustee. Fue superintendente del departamento de alcantarillado de Worcester antes de unirse a Metcalf. Su carrera lo llevó a la presidencia de la **ASCE** en 1934, consolidando su rol como líder de la ingeniería civil y sanitaria en Estados Unidos.

Contribuciones técnicas

Eddy dedicó su vida a perfeccionar el tratamiento de aguas residuales en una época en que las técnicas eran rudimentarias. Participó en investigaciones pioneras sobre:

- sedimentación,
- percolación,
- depuración biológica,
- lodos activados,
- digestión anaerobia.

Firmó informes técnicos y estudios experimentales que sentaron las bases del tratamiento moderno. Su influencia persiste en la **Eddy MedWWWaI**, otorgada por la Water Environment Federation a quienes destacan en investigación de aguas residuales.





EL NACIMIENTO DE METCALF & EDDY (1907): UNA FIRMA QUE REVOLUCIONÓ EL SANEAMIENTO

Cuando Metcalf y Eddy fundaron su firma en Boston, Estados Unidos se encontraba en plena transformación urbana. Las epidemias de cólera y fiebre tifoidea aún eran una amenaza real y los servicios de agua y saneamiento eran desiguales y deficientes.

Metcalf & Eddy introdujo un enfoque sistemático, científico y estandarizado para:

- Diseñar alcantarillados,
- Construir plantas de tratamiento,
- Evaluar aguas residuales,
- Determinar capacidades hidráulicas,
- Operar sistemas municipales,
- Planificar infraestructuras de abastecimiento.

Su obra cumbre, American Sewerage Practice, se convirtió en referencia obligatoria para ingenieros, municipios y universidades. Los volúmenes abordaban desde diseño hidráulico hasta operación y mantenimiento, pasando por normas de construcción y estudios de campo.

Influencia global: la semilla de los manuales modernos de saneamiento

La metodología de Metcalf & Eddy fue tan robusta y visionaria que, con el tiempo, evolucionó hacia los manuales contemporáneos utilizados en todo el mundo:

- **Wastewater Engineering (Metcalf & Eddy, Inc.)**

A partir de mediados del siglo XX, la firma actualizó su legado en una serie editorial ampliamente utilizada en universidades de ingeniería ambiental. Más tarde, autores como Tchobanoglous expandieron el contenido, manteniendo intacto el espíritu analítico original.

• Impacto en América Latina

Los principios de Metcalf & Eddy fueron adoptados en la ingeniería sanitaria latinoamericana, especialmente:

- criterios de diseño de alcantarillado sanitario,
- dimensionamiento de caudales y colectores,
- procesos biológicos de tratamiento,
- análisis de plantas de lodos activados y lagunas de estabilización.

Las primeras ediciones del manual circularon masivamente en español, marcando generaciones de ingenieros del agua.

5. Aportaciones emblemáticas a la ingeniería sanitaria

Entre sus contribuciones más destacadas se encuentran:

1. Integración de ciencia, ingeniería y salud pública

Transformaron la higiene urbana en una disciplina técnica rigurosa.

2. Estandarización del diseño de sistemas de saneamiento

Antes de ellos, cada ciudad improvisaba sus criterios; después de ellos, existió un lenguaje común para ingenieros.

3. Primeros estudios sistemáticos de disposición de aguas residuales

Incluyendo análisis de impacto, autodepuración de ríos y tratamiento avanzado.

4. Innovación en procesos biológicos

Muchos manuales modernos aún citan conceptos desarrollados originalmente en American Sewerage Practice.

5. Profesionalización del sector

Fueron impulsores de una ingeniería ética, técnica y orientada al bienestar colectivo.

6. Legado vivo: ¿por qué Metcalf & Eddy siguen siendo relevantes hoy?

En tiempos de cambio climático, urbanización acelerada y retos como microcontaminantes, resistencia antimicrobiana y descargas industriales, el enfoque de Metcalf & Eddy –basado en ciencia, datos y diseño robusto– continúa siendo indispensable.

Sus principios son hoy pilares de:

- La ingeniería de aguas residuales,
- La planificación del ciclo urbano del agua,
- La recolección y el tratamiento sostenible,
- La innovación en tecnologías descentralizadas y circulares,
- La educación de nuevas generaciones de especialistas.

Más de un siglo después, sus nombres siguen firmando manuales, procesos y metodologías.

DOS PIONEROS QUE DIERON FORMA AL MUNDO MODERNO DEL AGUA

Leonard Metcalf y Harrison P. Eddy no solo diseñaron sistemas. Fundaron una disciplina. Su pensamiento estructurado, su rigor técnico y su compromiso con la salud pública crearon los cimientos de la ingeniería sanitaria contemporánea.

Metcalf & Eddy representan una historia de ciencia, innovación y humanidad que continúa guiando a quienes trabajan para garantizar agua limpia y saneamiento seguro en todo el mundo.

PRECLORACIÓN DE AGUAS CRUDAS: UN RIESGO SILENCIOSO EN AMÉRICA LATINA

UNA PRÁCTICA COMÚN EN LA REGIÓN QUE, LEJOS DE PROTEGER, PUEDE ESTAR COMPROMETIENDO LA SALUD DE MILLONES DE PERSONAS.



Por: Dr. Edgard González

¿Qué es la precloración?

En diversas plantas potabilizadoras de América Latina –incluyendo casos documentados en Costa Rica, como las de Guadalupe y Tres Ríos– se practica la precloración, en otras palabras, la adición de cloro al agua cruda antes de iniciar los procesos convencionales de tratamiento (coagulación, sedimentación, filtración). Esta medida busca reducir la gran carga de bacterias y virus que traen las aguas superficiales, altamente contaminadas por actividades agrícolas, industriales y urbanas.

Riesgos para la salud

De entrada, podría parecer una solución lógica, pero, la evidencia científica demuestra que esta práctica es ineficaz e incluso peligrosa, pues multiplica la formación de sustancias tóxicas que ponen en riesgo la salud de los consumidores. Esto ocurre porque el cloro reacciona con la materia orgánica natural presente en los ríos (restos de hojas, suelos, desechos agrícolas) y forma trihalometanos (THM), un grupo de compuestos reconocidos internacionalmente como cancerígenos probables. Cuanto más contaminada esté el agua y más cloro se agregue en esta etapa temprana, mayor es la generación de THM.

Estudios internacionales han demostrado que la exposición prolongada a estas sustancias se asocia con un incremento en el riesgo de cáncer de vejiga y de colon, además de posibles efectos en hígado, riñones y sistema reproductivo. Incluso se han encontrado asociaciones con niveles de THM por debajo de los límites legales vigentes en países como Estados Unidos y algunos de la Unión Europea.

El problema de fondo es que la precloración busca reducir el riesgo de enfermedades gastrointestinales, pero lo hace de manera poco efectiva en aguas tan cargadas de patógenos. En realidad, expone a la población a un riesgo adicional: el de ingerir agua con altas probabilidades de contener compuestos cancerígenos. La solución real no es “tapar el sol con un dedo” añadiendo cloro desde el inicio, sino proteger las cuencas, mejorar la vigilancia sanitaria y aplicar tecnologías de tratamiento más seguras, las cuales están disponibles desde hace mucho tiempo.

La realidad en América Latina

En América Latina, donde gran parte de los ríos y fuentes superficiales se encuentran impactados por la deforestación, descargas urbanas, industriales y agrícolas, la precloración agrava aún más los riesgos. Este es un desafío compartido en toda la región: en países como México, Brasil, Colombia o Argentina, se han señalado problemas similares, donde se recurre a la precloración sin un monitoreo adecuado de sus consecuencias.

Investigaciones en Venezuela y otros países latinoamericanos han documentado niveles de THMs cercanos o superiores a los límites internacionales, lo cual confirma que no se trata de un problema aislado, sino de una práctica riesgosa común en la región.

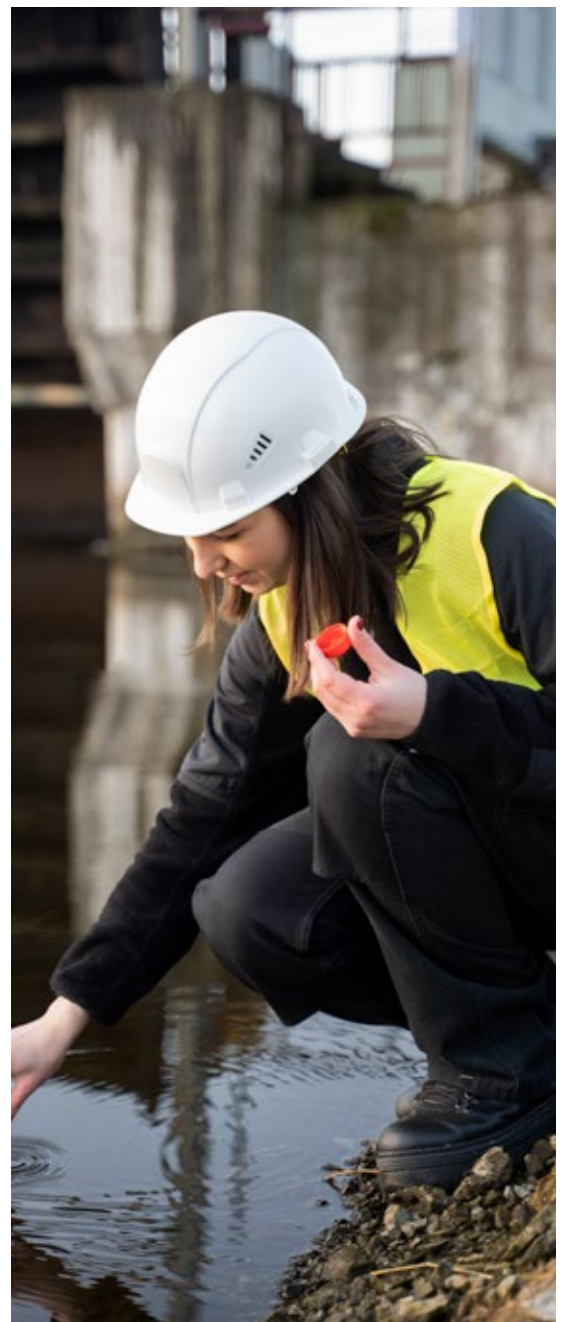
El caso de Costa Rica ilustra esta situación: a pesar de que existen límites legales para los THM en el Reglamento de Calidad del Agua Potable, no se realizan mediciones rutinarias ni aleatorias de estos compuestos en los sistemas de abastecimiento. Es decir, se utiliza la práctica riesgosa de la precloración sin saber si el agua que llega a los hogares supera o no los niveles recomendados por los organismos internacionales.

Conclusión

La falta de monitoreo y control de estos compuestos es una muestra de la irresponsabilidad institucional que persiste en la región, poniendo en riesgo la salud de millones de personas. “Antes que curar, es mejor prevenir.” – Hipócrates

Dr. Edgard González

Microbiólogo Químico Clínico de la Universidad de Costa Rica, con estudios de Post Grado en el IHE (Institute of Hydraulic Engineering), Delft, Netherlands. Director de la División de Calidad del Agua, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Miembro de su Junta Directiva, Presidente del Comité Técnico Nacional y Regional para la calidad del agua Potable CAPRE / GTZ. Consultor para la Global Water Partnership, GTZ, OMS, EURO, OPS y BID.



FLUORURO EN EL AGUA POTABLE: NUEVA EVIDENCIA CIENTÍFICA REAFIRMA SU SEGURIDAD Y APORTA CLAVES PARA LA SALUD PÚBLICA

UN ESTUDIO DE 40 AÑOS EN EE. UU. CONFIRMA QUE LA FLUORACIÓN CONTROLADA DEL AGUA NO AFECTA AL CEREBRO Y PODRÍA MEJORAR EL RENDIMIENTO ACADÉMICO. ¿QUÉ SIGNIFICA ESTO PARA AMÉRICA LATINA Y EL FUTURO DE LA SALUD DENTAL?



Durante décadas, la fluoración del agua potable ha sido tema de intensos debates públicos, mitos, preocupaciones sanitarias y decisiones políticas divergentes. No obstante, una nueva investigación epidemiológica de gran escala –el mayor estudio estadounidense sobre fluoruro y cognición realizado hasta la fecha– aporta evidencia sólida que reabre la conversación desde un enfoque científico, equilibrado y basado en datos.

El estudio, liderado por la **Universidad de Minnesota**, siguió durante más de **40 años a 26.820** personas del histórico programa High School and Beyond, reconstruyendo la exposición al fluoruro desde la infancia hasta la vida adulta. El análisis integró información escolar, ubicación geográfica, registros de fluoración municipal y datos hidroquímicos de más de **38.000 pozos** del **US Geological Survey**, convirtiéndose en la revisión más exhaustiva realizada en una población con fluoración regulada. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adz0757>

Sus resultados confirman tres conclusiones clave:

1. La fluoración en niveles recomendados es segura para el cerebro.
2. No existe evidencia de daño cognitivo asociado al fluoruro en sistemas municipales regulados.
3. Podría existir una ligera asociación positiva entre exposición al fluoruro y rendimiento académico en adolescencia.

¿Qué encontró exactamente el estudio?

Los investigadores evaluaron la relación entre exposición a fluoruro y desempeño en:

- **vocabulario,**
- **lectura,**
- **matemáticas,**
- y pruebas cognitivas de seguimiento hasta los 60 años.

Los adolescentes con acceso a agua fluorada en rangos recomendados mostraron **mejores resultados promedio** en los exámenes escolares al terminar la secundaria. Si bien las diferencias no fueron grandes, sí fueron consistentes, y se mantuvieron discretamente durante décadas.

La investigadora **Gina Rumore** –una de las autoras– recuerda un elemento esencial:

“Las toxicidades asociadas al fluoruro provienen casi siempre de regiones donde los niveles naturales superan con creces los límites recomendados. Eso no tiene relación con la fluoración comunitaria en

países como Estados Unidos”.

Estos datos refuerzan una línea de investigación que, desde los años 50, muestra que la fluoración comunitaria reduce caries, protege el esmalte dental y disminuye inequidades sanitarias, especialmente en poblaciones vulnerables.

¿Por qué persiste el debate público? Entre ciencia, percepción y política

La fluoración del agua inició en 1945, en Grand Rapids (Michigan). Desde entonces, agencias sanitarias como:

- **OMS,**
- **Centers for Disease Control and Prevention (CDC),**
- **Asociación Dental Americana (ADA),**





- **Organización Panamericana de la Salud (OPS)**, han reconocido su efectividad para reducir caries entre un **20 y 40%**, especialmente en la infancia.

Sin embargo, el tema sigue siendo polémico por motivos que a menudo no están relacionados con la evidencia científica:

- Desconfianza hacia intervenciones sanitarias masivas.
- Creencia errónea de "medicación obligatoria".
- Circulación de estudios descontextualizados.
- Desigualdad en la calidad de los servicios públicos.
- Movimientos políticos que utilizan la fluoración como símbolo ideológico.

En Estados Unidos, algunos estados como **Utah o Florida** han eliminado la fluoración en ciertos sistemas municipales, pese a la ausencia de riesgo comprobado y a los beneficios documentados.

¿Es el fluoruro realmente peligroso? Diferencia entre fluoración controlada y contaminación natural

La **OMS** señala que el fluoruro es beneficioso a bajas concentraciones (0,7 mg/L recomendados en EE. UU.) pero puede ser dañino en niveles altos presentes de manera **natural** en ciertas regiones del mundo.

Ejemplo extremo:

- **India** registra promedios de **2,37 mg/L**, llegando a zonas con 9,22 mg/L, valores asociados a fluorosis dental y ósea.
- En contraste, los sistemas municipales regulados de EE. UU. y la mayoría de Europa operan entre **0,6-0,8 mg/L**.

La investigación confirma que **los riesgos no provienen de la fluoración artificial**, sino de exposiciones **naturales excesivas**, principalmente en acuíferos volcánicos o con geología específica.

Implicaciones para América Latina

En la región, la fluoración del agua potable es **dispareja**:

- México fluorura la sal de mesa, no el agua, aunque algunas ciudades tienen procesos duales.
- Brasil, Chile y Argentina cuentan con programas urbanos establecidos.
- Centroamérica presenta disparidades, con zonas sin fluoración ni sal fluorada.
- En países como Perú o Ecuador, los niveles naturales de fluoruro en acuíferos varían ampliamente, lo que exige monitoreo.

La evidencia del nuevo estudio puede servir para:

- » **Reforzar políticas de salud dental en comunidades vulnerables.**
- » **Evaluar programas mixtos: agua + sal fluorada según contexto.**
- » **Orientar estrategias de comunicación pública basadas en ciencia.**
- » **Enfrentar la desinformación con datos de estudios de alta calidad.**

Una población con mejor salud dental implica:

- Menos tratamientos invasivos,
- Menor generación de residuos sanitarios,
- Menores costos a los sistemas públicos de salud,
- Mayores oportunidades de desarrollo infantil.

¿Y el medio ambiente? Impacto mínimo bajo normas adecuadas
La fluoración municipal utiliza dosis extremadamente pequeñas y estrictamente reguladas, lo que implica:

- Impacto ambiental **muy bajo**.



- Práctica **más segura** que otras intervenciones sanitarias masivas.
- Ajuste de un elemento que **ya está presente en la naturaleza**, no una sustancia ajena.

Según la Universidad de Minnesota, el mayor impacto positivo indirecto proviene de la **reducción de residuos médicos**: menos caries significa menos empastes, resinas, metales y energía utilizada en su fabricación.

Limitaciones del estudio, sin afectar su solidez general

Como toda investigación poblacional, presenta desafíos:

- No existen medidas exactas de consumo individual.
- No se dispone de seguimiento continuo del lugar de residencia.
- La asociación cognitiva, aunque positiva, es modesta y requiere confirmaciones adicionales.

Pero en conjunto, la evidencia es clara:

No existe daño neurológico asociado a la fluoración controlada del agua.

Beneficios dentales y posibles mejoras académicas fortalecen su justificación como política pública.

Ciencia, salud y equidad en un recurso esencial

El estudio estadounidense de 40 años cierra un capítulo y abre otro. La fluoración del agua potable, utilizada desde hace ocho décadas, emerge nuevamente como una herramienta:

- Segura,
- Efectiva,
- Económicamente accesible,
- Socialmente equitativa,
- Ambientalmente sostenible.

Para los países de América Latina – donde la caries infantil sigue siendo una de las enfermedades más comunes y donde la desigualdad limita el acceso a servicios odontológicos–, la evidencia científica reciente refuerza la importancia de tomar decisiones basadas en datos y no en percepciones.

La fluoración adecuada del agua potable puede ser una de las políticas de salud pública más baratas y con mayor impacto positivo disponibles para las ciudades del Siglo XXI.

<https://ecoinventos.com/>

AGUAS TERMALES: LA CIENCIA DETRÁS DEL BIENESTAR NATURAL



EL PODER CURATIVO DEL AGUA QUE NACE DEL INTERIOR DE LA TIERRA LAS AGUAS TERMALES –RÍOS, MANANTIALES O POZAS QUE BROTRAN DEL SUBSUELO CON TEMPERATURAS SUPERIORES A 30 °C– HAN SIDO VENERADAS DESDE LAS CIVILIZACIONES MÁS ANTIGUAS. LOS ROMANOS LAS LLAMABAN THERMAE, LOS JAPONESES ONSEN, Y EN AMÉRICA LATINA FORMAN PARTE DEL PATRIMONIO NATURAL Y CULTURAL.

HOY, LA CIENCIA CONFIRMA MUCHOS DE LOS BENEFICIOS QUE LAS COMUNIDADES LOCALES SIEMPRE HAN INTUIDO: RELAJACIÓN, ALIVIO DEL DOLOR, MEJORA DE LA PIEL Y DEL BIENESTAR GENERAL.

ALIVIO NATURAL PARA LAS ARTICULACIONES Y LA ESPALDA

Las aguas termales son especialmente útiles para quienes sufren **dolor musculoesquelético crónico**, como artrosis o lumbalgia.

Estudios clínicos y revisiones sistemáticas muestran que la **balneoterapia** reduce el **dolor y la rigidez articular**, mejora la movilidad y puede disminuir la necesidad de analgésicos .

Los programas más efectivos consisten en inmersiones diarias de 15–20 minutos durante 2 o 3 semanas, con temperaturas entre 37 °C y 40 °C, combinadas con reposo, estiramientos suaves y buena hidratación.

Piel sana gracias a minerales naturales

Otro campo donde las aguas termales muestran resultados comprobados es el **tratamiento de afecciones cutáneas como psoriasis o dermatitis atópica**.

Las aguas sulfurosas, bicarbonatadas o con sales específicas ayudan a reducir la inflamación, mejorar la hidratación de la piel y favorecer la cicatrización. Cuando se combinan con fototerapia (luz UVB controlada), los resultados se potencian, dando lugar a la llamada balneofototerapia.

Equilibrio y bienestar integral

Más allá de lo físico, varios estudios en Japón y Europa muestran que los baños termales regulares se asocian con **mejor salud mental, menor estrés y mayor calidad del sueño**.

El efecto del **"calor pasivo"** también estimula la circulación sanguínea, mejora la presión arterial y puede contribuir a la salud cardiovascular .

En un contexto de vida urbana acelerada, los baños termales se redescubren como una forma de terapia preventiva y restauradora, donde el agua mineral y el entorno natural actúan en sinergia.

Precauciones y seguridad

Aunque son seguras para la mayoría de las personas, las aguas termales requieren algunos cuidados:

- Evita temperaturas extremas si tienes problemas cardíacos, hipertensión no controlada o embarazo.
- No prolongues la inmersión más de 20 minutos por sesión.
- En aguas naturales calientes (no cloradas), no sumerjas la cabeza para evitar infecciones raras como la *Naegleria fowleri*.
- Mantén una buena higiene: ducharse antes y después, evitar el traje mojado por mucho tiempo y beber agua para prevenir deshidratación.

En el caso de las embarazadas, se recomienda consultar al médico antes de usar termales y evitar el sobrecalentamiento prolongado .



Termalismo sostenible

El termalismo moderno se orienta hacia la salud preventiva y el turismo sostenible, combinando la tradición con la ciencia.

Los balnearios ecológicos –**como los de Baños de San Juan (Costa Rica), Cahuil (Chile) o Aguas de San Jacinto (Nicaragua)**– promueven el uso responsable de los recursos geotérmicos, respetando el entorno natural y cultural.

Conclusión

La evidencia científica actual respalda lo que la sabiduría ancestral siempre supo: **el agua caliente que brota del corazón de la Tierra puede sanar, relajar y renovar**. Ya sea en un balneario moderno o en una poza natural de montaña, las aguas termales nos recuerdan que **la salud y la naturaleza están profundamente conectadas**.

Fuentes consultadas

1. Fioravanti A. Balneotherapy in osteoarthritis: Evidence-based review. Clin Rheumatol, 2017.
2. Nasermoaddeli A. Balneotherapy for dermatological disorders: an evidence-based review. J Altern Complement Med, 2005.
3. Tefner I. Effects of spa therapy on low back pain: randomized controlled trial. Rheumatol Int, 2018.
4. Akimoto M. Hot spring bathing and health-related quality of life. J Physiol Anthropol, 2018.
5. Laukkanen T. Cardiovascular and metabolic benefits of passive heat therapy. Mayo Clin Proc, 2019.
6. European Dermatology Forum, Guidelines on Balneotherapy for Skin Diseases, 2021.
7. CDC, Healthy Swimming and Hot Tub Safety, 2024.
8. WHO, Water, Sanitation and Health: Thermal waters and safety guidance, 2023.



LOS TERMALES DE TIPITAPA: EL AGUA QUE SANA Y RENUEVA

UN REGALO GEOTÉRMICO DEL CORAZÓN DE LA TIERRA



A solo **30 minutos de Managua**, en el municipio de Tipitapa, emerge del subsuelo un tesoro natural que combina **energía volcánica, tradición popular y salud natural: los Baños de Aguas Termales de Tipitapa.**

Sus manantiales, de origen volcánico, brotan a temperaturas que superan los **70 °C**, y tras un breve recorrido superficial se enfrían hasta los **40-50 °C**, ideales para el baño humano.

El vapor que se eleva en el aire y el aroma mineral del agua recuerdan que la **Tierra sigue viva bajo nuestros pies**, liberando energía y minerales que enriquecen la experiencia termal.

Agua caliente con propiedades únicas

Análisis del **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)** registran un pH alcalino cercano a 8.2, típico de aguas termales ricas en minerales como azufre, calcio, sodio y sílice, que pueden favorecer la

circulación, relajar los músculos y suavizar la piel.

En la cultura popular nicaragüense, estas aguas han sido utilizadas durante generaciones para aliviar dolores articulares, afecciones de la piel y estrés, práctica que hoy la ciencia reconoce como balneoterapia.

Los visitantes describen una sensación de livianez corporal y serenidad mental, resultado del calor constante, la flotabilidad y la interacción con el entorno natural. No es solo un baño: es un acto de conexión con la energía interna de la Tierra.

Un balneario en transformación

Durante 2023, el Instituto Nicaragüense de Turismo (INTUR) y la alcaldía de Tipitapa impulsaron una remodelación integral del complejo termal, dotándolo de nuevas piscinas, zonas de descanso, un sauna de madera, restaurante, parqueo y espacios selfie para visitantes.

La entrada general es de aproximadamente 50 córdobas por persona, lo que lo convierte en uno de los destinos termales más accesibles del país. Abre todos los días desde las 5:00 a.m. hasta las 10:00 p.m., permitiendo disfrutar tanto del amanecer como del atardecer reflejados en las aguas humeantes.

El ambiente es familiar, tranquilo y seguro. Muchos visitantes llegan desde Managua, Masaya y Granada para pasar un día de relajación, terapia natural o simple disfrute en pareja o grupo.

Entre la ciencia y la tradición

Los beneficios de las aguas termales están cada vez mejor documentados: reducen el dolor musculoesquelético, mejoran la circulación, favorecen el sueño y disminuyen el estrés.

En el caso de Tipitapa, la mineralización alcalina y la temperatura estable crean un entorno ideal para quienes buscan un tratamiento natural complementario, sin los riesgos del agua extremadamente caliente de origen volcánico.

Sin embargo, los especialistas recomiendan limitar las inmersiones a 15–20 minutos, beber suficiente agua y evitar el uso si se padecen enfermedades cardíacas o hipertensión no controlada. En embarazadas, los baños deben ser tibios y de corta duración, siempre bajo consejo médico.

Termalismo sostenible y turismo del agua

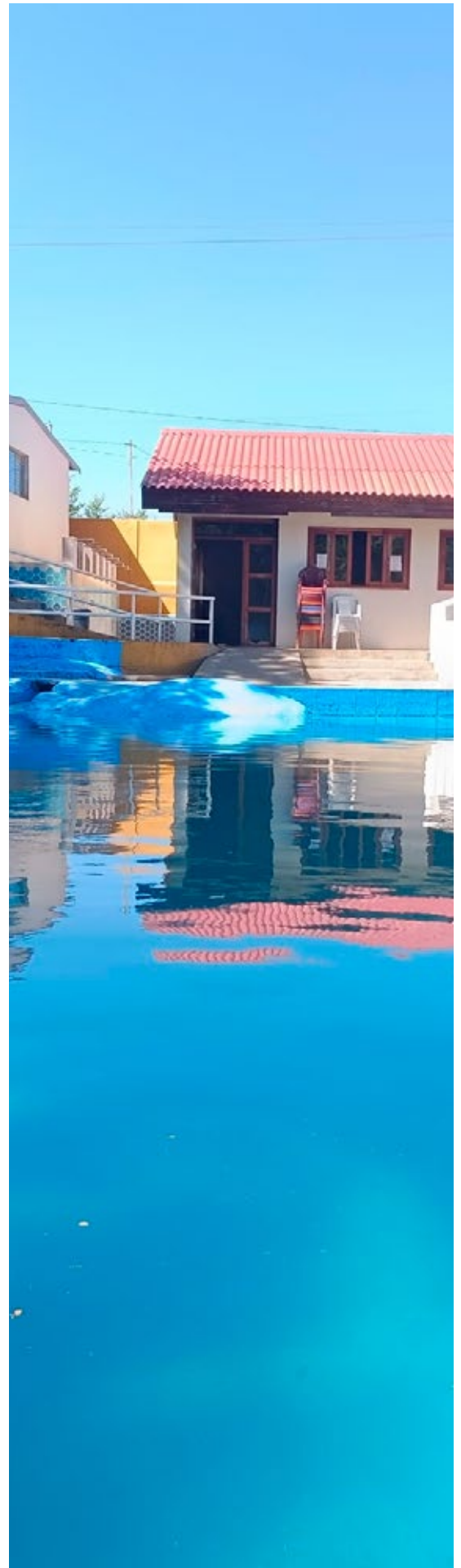
El renacer de los Termales de Tipitapa simboliza una nueva relación con los recursos hídricos y energéticos del país.

Aprovechar las aguas subterráneas calientes de forma controlada, limpia y turística, sin agotarlas ni contaminarlas, es un ejemplo de turismo sostenible y de gestión responsable del patrimonio natural.

Nicaragua forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la energía geotérmica es abundante. Lugares como Tipitapa, San Jacinto (León) o Teotecacinte (Nueva Segovia) son puntos clave para educar y sensibilizar sobre el valor del agua como fuente de vida, energía y salud.

Conclusión

El balneario de Aguas Termales de Tipitapa es más que un destino turístico: es un encuentro entre naturaleza, ciencia y bienestar. En sus piscinas burbujeantes, cada visitante puede sentir el pulso



del planeta, la calma del agua y la herencia de una tradición milenaria que nos recuerda algo esencial: El agua no solo nos limpia el cuerpo, también renueva el espíritu.

Información práctica

- **Ubicación:** Tipitapa, 25 km al noreste de Managua.
- **Horario:** 5:00 a.m. – 10:00 p.m.
- **Entrada:** C\$ 50 córdobas (adultos).
- **Servicios:** piscinas termales, sauna, restaurante, áreas verdes, estacionamiento.
- **Temperatura del agua:** 40–50 °C.
- Origen: geotérmico volcánico.
- **pH promedio:** 8.2 (INETER, 2009).

Fuentes consultadas

- Instituto Nicaragüense de Turismo (INTUR), Remodelación de los Termales de Tipitapa, 2023.
- INETER, Boletín Hidrogeológico de Nicaragua, julio 2009.



LUNA JAGUAR HOT SPRINGS: EL CORAZÓN TERMAL DE HONDURAS

ENTRE SELVA Y PIEDRA, DONDE EL AGUA CURA



En las montañas que rodean Copán Ruinas, al occidente de Honduras, nace uno de los tesoros naturales más fascinantes del país: Luna Jaguar Hot Springs & Spa, un santuario de aguas termales naturales que combina la energía volcánica del subsuelo con la sabiduría ancestral de la cultura maya.

El complejo se encuentra a unos 45 minutos de Copán Ruinas, en plena selva tropical. Su nombre rinde homenaje al jaguar, símbolo de fuerza y poder espiritual para los mayas. Al entrar, el visitante se sumerge en un entorno de piedra tallada, vapor, pozas burbujeantes y el sonido constante del bosque húmedo. Es una experiencia sensorial que une naturaleza, cultura y bienestar.

El poder curativo del agua

Las aguas termales de Luna Jaguar brotan a temperaturas entre 38 °C y 42 °C, ricas en minerales como azufre, calcio, potasio y magnesio.

Estos elementos, combinados con el calor natural, favorecen la circulación sanguínea, relajan los músculos y articulaciones y promueven una profunda sensación de calma.

El circuito termal permite pasar por distintas piscinas con temperaturas variables, duchas frías naturales y baños de lodo, siguiendo el principio terapéutico de alternar calor y frescor para reactivar el organismo. El visitante puede además disfrutar de un masaje relajante o una mascarilla mineral, todo en un ambiente de silencio y vegetación.

Inspiración maya y turismo sostenible

Cada detalle del balneario refleja la cosmovisión maya: esculturas de jaguares, relieves de dioses y símbolos del agua como fuente de purificación. Luna Jaguar se ha posicionado como un modelo de turismo termal sostenible, con un diseño que utiliza materiales locales, maneja los flujos termales sin contaminar y respeta el paisaje natural.

El agua caliente que brota del subsuelo se enfría en pequeñas cascadas y se distribuye hacia las pozas mediante canales de piedra, sin bombeo mecánico, demostrando cómo el termalismo puede integrarse armónicamente con el entorno.

Cómo llegar y qué esperar

- Ubicación: Norte de Copán Ruinas, departamento de Copán, Honduras.
- Acceso: Carretera pavimentada hasta la comunidad de Agua Caliente; desde allí, 2 km por camino rural.
- Horario: 9 a.m. – 8 p.m.
- Servicios: Piscinas termales, sauna natural, masajes, restaurante, vestidores y zonas de descanso.
- Recomendación: Llevar traje de baño, sandalias antideslizantes, toalla e hidratación. Evitar el baño prolongado si se padece hipertensión o afecciones cardíacas.

Otras joyas termales de Honduras

Aunque Luna Jaguar es el referente principal del país, Honduras cuenta con otros espacios de gran encanto:

- Aguas Termales Presidente (Gracias, Lempira): complejo familiar con pozas amplias en un entorno boscoso, muy visitado por su cercanía al Parque Celaque.
- Sambo Creek Hot Springs (Atlántida): pozas naturales de lodo caliente en las montañas de Pico Bonito, combinadas con canopy y vistas al Caribe.

Cada sitio representa una manera distinta de convivir con la energía geotérmica y aprovechar el agua caliente como fuente de salud y desarrollo local.

Termalismo: ciencia, cultura y bienestar

La balneoterapia moderna respalda lo que los pueblos antiguos ya sabían: el agua caliente mineral alivia dolor muscular y articular, mejora la circulación y contribuye al bienestar psicológico.

En lugares como Luna Jaguar, esta sabiduría se mezcla con la tradición maya y con un modelo de turismo responsable que protege la naturaleza y beneficia a las comunidades rurales.

Conclusión

Luna Jaguar Hot Springs no es solo un balneario: es una experiencia espiritual en medio de la selva hondureña. En sus aguas cristalinas, el visitante descubre la unión entre fuego y agua, entre la energía volcánica del subsuelo y la tranquilidad de la mente. Es, sin duda, el corazón termal de Honduras, donde el agua cura, la piedra guarda historia y el bosque respira junto a nosotros.



FILTROS DOMICILIARES DE AGUA: TIPOS, COMPOSICIÓN Y EFICIENCIA EN LA PURIFICACIÓN

Por qué filtrar el agua en el hogar

El agua que llega a los hogares, aunque haya pasado por tratamiento municipal, puede sufrir **recontaminación en tuberías, tanques o redes antiguas**, incorporando sedimentos, cloro residual, metales pesados o microorganismos.

Por eso, los **filtros domiciliarios** se han vuelto una defensa esencial para asegurar que el agua sea **segura, transparente y con mejor sabor**.

Su función no es solo "limpiar", sino **retener partículas, adsorber contaminantes y eliminar patógenos**, mediante diferentes materiales filtrantes.

Composición básica de un filtro domiciliario
Un filtro típico doméstico combina varios elementos filtrantes dispuestos en etapas.
Cada una cumple una función específica:



Por Nelson Medina Rocha

Etapa	Material filtrante	Función principal
1. Prefiltro de sedimentos	Polipropileno o algodón prensado	Retiene arena, óxidos, limo y partículas gruesas (≥ 5 micras)
2. Carbón activado granular (CAG) o en bloque	Carbón de coco o mineral activado	Adsorbe cloro, pesticidas, olores y compuestos orgánicos
3. Resinas de intercambio iónico	Polímeros con sodio o hidrógeno	Remueven calcio y magnesio (ablandamiento) y algunos metales (plomo, cobre)
4. Membrana de microfiltración / ultrafiltración	Polietersulfona (PES), PTFE o PVDF	Retiene bacterias y virus según el tamaño del poro
5. Postfiltro o pulidor final	Carbón activado fino o plata coloidal	Elimina sabor residual y refuerza la desinfección

En muchos modelos modernos, las **etapas se integran en un cartucho multicapa** dentro de una carcasa plástica o metálica con válvula de purga.

Tipos de filtros según el principio de funcionamiento

1. Filtros de sedimentos

- **Composición:** cartucho de polipropileno enrollado o plisado.
- **Ventaja:** económicos, fáciles de reemplazar.
- **Retención:** 1 – 50 μm (según modelo).
- **Uso:** primera etapa de sistemas domésticos o pretratamiento en plantas.

2. Filtros de carbón activado

- **Composición:** carbón vegetal microporoso (de cáscara de coco, madera o antracita).
- **Capacidad:** adsorbe cloro, compuestos orgánicos volátiles (COV), mal olor y sabor.
Tipos:
 - **Granular (GAC):** flujo rápido, menor retención fina.
 - **En bloque (CTO):** flujo más lento pero mayor adsorción.
- **Vida útil:** 3 – 6 meses (dependiendo del uso).

3. Filtros con resina de intercambio iónico

- **Composición:** perlas de polímeros sulfonados (cationitas o anionitas).
- **Función:** reemplazan iones duros (Ca^{2+} , Mg^{2+}) por Na^+ o H^+ → reducen la dureza del agua.
- **Aplicación:** cafeteras, lavadoras, purificadores con suavizador.
- **Limitación:** no eliminan microorganismos ni cloro; se usan combinados con carbón activado.

4. Filtros cerámicos

- **Composición:** cerámica microporosa de diatomeas, muchas veces recubierta con plata coloidal (efecto bactericida).
- **Ventaja:** eliminan bacterias sin químicos; reutilizables tras limpieza.
- **Porosidad:** 0.2 – 1 μm .
- **Ejemplo:** filtros tipo Candle o Berkey.

5. Filtros de membrana (micro, ultra, nano y ósmosis inversa)

Tipo de membrana	Tamaño de poro	Qué retiene	Uso típico
Microfiltración (MF)	0.1 – 1 μm	Bacterias, sedimentos	Filtros domésticos avanzados
Ultrafiltración (UF)	0.01 – 0.1 μm	Virus, coloides	Purificadores compactos
Nanofiltración (NF)	0.001 μm	Iones divalentes, metales pesados	Sistemas bajo fregadero
Ósmosis inversa (RO)	0.0001 μm	Sales disueltas, nitratos, arsénico	Agua ultrapura para beber

La ósmosis inversa requiere presión y genera rechazo de 30–50 % del agua; se recomienda solo para fuentes muy contaminadas o con alta salinidad.

6. Filtros con minerales y plata

- **Composición:** zeolita, arena de sílice, dolomita, carbón mineral o nanopartículas de plata.
- **Propósito:** reequilibrar el pH y aportar microelementos [en filtros "alcalinizantes"].
- **Ejemplo:** sistemas coreanos o japoneses de 7 etapas con cartuchos minerales.



Comparativa general de eficiencia

Tipo de filtro	Retención de partículas	Eliminación de cloro	Eliminación bacteriana	Coste	Requiere energía
Sedimentos	Alta ($\geq 5 \mu\text{m}$)	No	No	Bajo	No
Carbón activado	Media	Alta	Parcial	Medio	No
Cerámico	Alta ($\leq 1 \mu\text{m}$)	Media	Alta	Medio	No
Resina iónica	Nula	No	No	Medio	No
Ultrafiltración	Muy alta	Media	Alta	Medio	No
Ósmosis inversa	Máxima	Alta	Alta	Alto	Sí

Criterios para elegir un filtro domiciliario

1. Analiza la fuente de agua: si proviene de red municipal, pozo o cisterna.
2. Define el objetivo: mejorar sabor, eliminar cloro o desinfectar.
3. Evalúa el caudal y mantenimiento: filtros más finos requieren recambios más frecuentes.
4. Revisa certificaciones: NSF/ANSI 42 (cloro), 53 (metales y COV), 58 (ósmosis inversa).
5. Instalación: considera modelos de grifo, jarra, sobre o bajo fregadero según espacio.

Nuevas tendencias (2025)

- Filtros híbridos inteligentes: combinan sensores de turbidez y conectividad Bluetooth para indicar cuándo reemplazar cartuchos.
- Materiales sostenibles: carbón activado de biocáscara de coco o bambú, cerámicas reciclables y resinas sin sodio.
- Nanotecnología: membranas de grafeno y nanopartículas de plata o cobre que mejoran la desinfección.
- Sistemas de recirculación: modelos que aprovechan el rechazo del RO para riego doméstico.

Sugerencias visuales para la Revista AGUA

Tema	Imagen sugerida (libre de derechos)	Fuente
Esquema de un filtro multicapa	Polipropileno o algodón prensado	Retiene arena, óxidos, limo y partículas gruesas (≥ 5 micras)
Cartuchos y mallas filtrantes	Carbón de coco o mineral activado	Adsorbe cloro, pesticidas, olores y compuestos orgánicos
Filtro de ósmosis inversa doméstico	Polímeros con sodio o hidrógeno	Remueven calcio y magnesio (ablandamiento) y algunos metales (plomo, cobre)
Comparación de tipos de filtros	Polietersulfona (PES), PTFE o PVDF	Retiene bacterias y virus según el tamaño del poro
Postfiltro o pulidor final	Carbón activado fino o plata coloidal	Elimina sabor residual y refuerza la desinfección

Fuentes técnicas

- **NSF International (2024)**. Drinking Water Treatment Units – Standards 42, 53 y 58.
- **WHO (2023)**. Household Water Treatment and Safe Storage Guidelines.
- **EPA (2024)**. Home Drinking Water Filtration Facts.
- **ISO 30500 (2022)**. Non-sewered sanitation systems and point-of-use water treatment.
- **Aquatech Global (2025)**. New materials for sustainable water filters.





COSECHANDO AGUA DE LAS NUBES: TRAMPAS DE NIEBLA EN SUDAMÉRICA

El agua invisible del aire

En los desiertos costeros y montañas nubladas de Sudamérica, donde las lluvias escasean pero la humedad flota en el aire, comunidades y científicos han aprendido a **“atrapar” el agua de la niebla**.

Se trata de una tecnología tan simple como ingeniosa: **mallas verticales que condensan microgotas suspendidas en la neblina**. Cuando el viento impulsa esas gotas, se acumulan, descienden por canaletas y se almacenan en tanques, sin necesidad de electricidad, bombas ni combustibles.

Este sistema, conocido como **trampa o captador de niebla**, aprovecha un recurso atmosférico invisible, ofreciendo una alternativa limpia y sostenible para el abastecimiento de agua potable, la reforestación o el riego de viveros.

Donde la niebla se convierte en agua

El mayor desarrollo de estas tecnologías se encuentra en **Chile, Perú, Ecuador y Colombia**, cada uno con características climáticas y sociales propias.

Chile: pionero en el desierto más seco del mundo

En el norte de Chile, la **camanchaca** –la niebla costera del desierto de Atacama– ha sido estudiada desde los años 1990 por organizaciones como **FogQuest**. En lugares emblemáticos como **El Tofo, Chungungo y Alto Patache**, grandes colectores de malla Raschel han llegado a producir **hasta 10 litros de agua por metro cuadrado al día** en temporada alta.

Estos sistemas abastecieron comunidades, viveros y reservas naturales, convirtiendo al desierto en un laboratorio de innovación hídrica. Hoy, universidades chilenas experimentan con **mallas tridimensionales (3D)** que aumentan hasta seis veces la eficiencia de captación.

Perú: agua para las lomas y los barrios altos de Lima

En las **lomas costeras de Lima** y en asentamientos como Villa María del Triunfo, las trampas de niebla se han convertido en una herramienta de resiliencia urbana.

Diversas ONGs y universidades, junto con el Ministerio del Ambiente, han instalado **atrapanieblas comunitarios** para revegetar cerros, captar agua para riego y reducir el polvo urbano.

Los proyectos de **Cerro Orara y Pachacámac** demuestran que es posible recuperar ecosistemas secos mediante la niebla, contribuyendo a la **seguridad hídrica urbana**.

Ecuador: los Andes como esponja natural

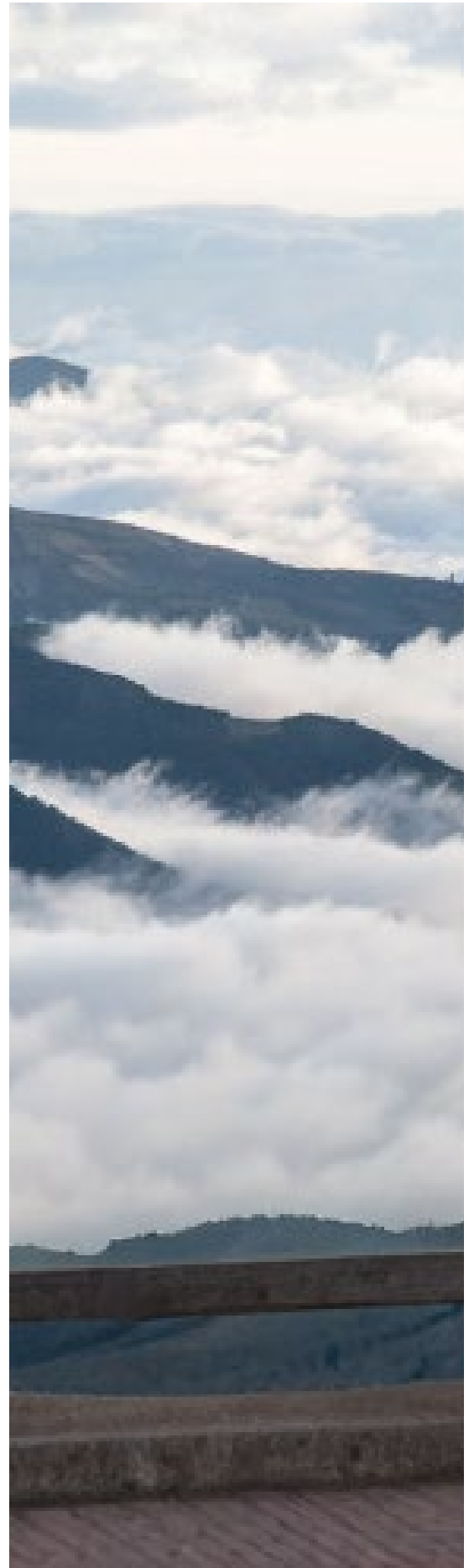
En los Andes centrales, comunidades de **Galte y Chimborazo** implementaron trampas de niebla entre 2014 y 2015 para regar cultivos y pastos. Aunque el rendimiento fue menor (cubriendo aproximadamente el 5 % de la demanda agrícola), la experiencia permitió combinar la técnica con **sensores IoT** y monitoreo digital, integrando saberes tradicionales y tecnología moderna. En la región costera, investigadores han identificado zonas con niebla estacional donde estos sistemas podrían apoyar proyectos de reforestación.

Colombia: educación y reforestación en la montaña

En la **Sabana de Bogotá** y zonas andinas de **Usme y Cundinamarca**, colegios rurales y comunidades campesinas han instalado **mini atrapanieblas escolares**. Aunque su producción es modesta, el valor educativo y ecológico es enorme: fomentan conciencia sobre el ciclo del agua y la importancia de los ecosistemas de niebla.

Tecnología sencilla, impacto profundo

Los **LFC (Large Fog Collectors)** estándar –mallas de 40 m² de polietileno– pueden captar entre **3 y 10 litros de agua por metro cuadrado al día**, dependiendo del viento y la densidad de la niebla.



El agua recolectada suele tener **baja salinidad y buena calidad**; solo requiere filtración básica o desinfección UV si se destina a consumo humano.

En términos de costo, un sistema completo (malla, estructura, tanque y canaleta) puede instalarse por **menos de 1 000 USD**, con un mantenimiento anual muy bajo. Esto convierte a las trampas de niebla en una **solución viable para comunidades rurales, áreas protegidas o escuelas en zonas áridas**.

De la física del aire al bienestar humano

La física detrás del proceso es sencilla: las partículas de niebla, de entre 10 y 20 micras, chocan con los filamentos de la malla. La tensión superficial y la gravedad hacen el resto.

Pero el impacto va mucho más allá: cada litro recolectado representa **autonomía, salud y educación ambiental**.

En regiones donde el acceso al agua depende de camiones cisterna o pozos agotados, capturar agua del aire se ha vuelto símbolo de **innovación social y adaptación climática**.

El futuro: agua atmosférica para la resiliencia

Con el avance del cambio climático y la irregularidad de las lluvias, **la captación de niebla y vapor atmosférico se perfila como tecnología estratégica**. Nuevas líneas de investigación en Chile, Perú y México exploran **mallas inteligentes, recubrimientos hidrofílicos y materiales reciclables** para aumentar la eficiencia y reducir costos.

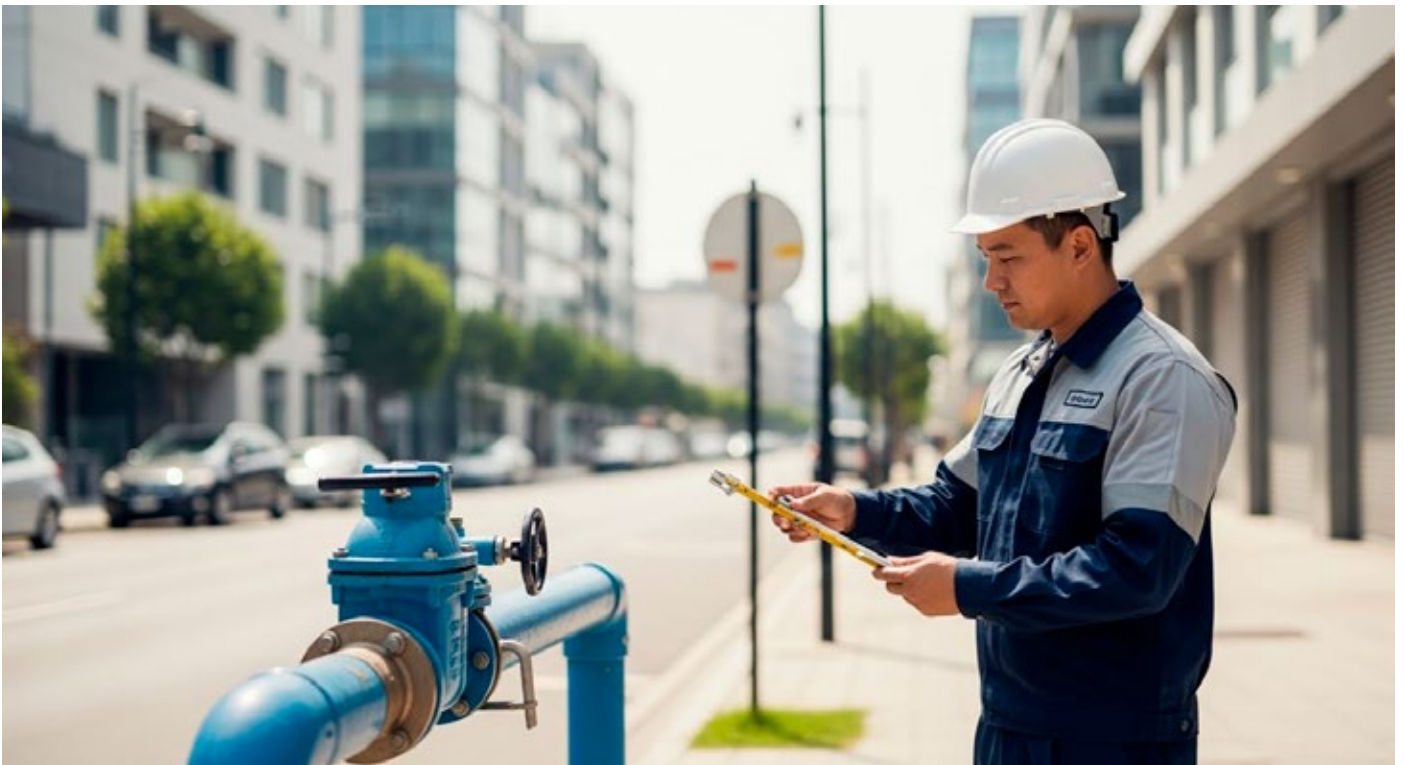
Además, los proyectos comunitarios están incorporando **energía solar y monitoreo digital** para registrar datos meteorológicos, calidad del agua y rendimientos. Estas innovaciones apuntan a un modelo de **infraestructura verde** que no solo provee agua, sino que restaura paisajes y reconstruye la relación entre las comunidades y su entorno.

Tema	Imagen sugerida (libre de derechos)	Fuente
Malla de atrapaniebla en Chile	Estructura con neblina de fondo	Wikimedia Commons
Proyecto en Lima	Voluntarios instalando mallas en cerros	Unsplash / MINAM Perú
Niño bebiendo agua recolectada	Educación ambiental	Pexels
Nube condensando en malla 3D	Diagrama científico simple	Freepik
Postfiltro o pulidor final	Carbón activado fino o plata coloidal	Elimina sabor residual y refuerza la desinfección

Fuentes y lecturas recomendadas

- *FogQuest International (2025). Fog collection projects in South America.*
- *UNESCO (2023). Water Harvesting and Atmospheric Sources.*
- *Vergara, García y Morales (2021). Patrimonio industrial de Puebla y tecnologías hidráulicas.*
- *Awad, J. & Schemenauer, R. (2024). Fog collection efficiency in coastal deserts of Chile.*
- *Ministerio del Ambiente del Perú (2024). Lomas costeras y sistemas de niebla.*

CÓMO LOGRAN LOS PAÍSES DESARROLLADOS MANTENER BAJO SU ANF



INTRODUCCIÓN: EL ANF, UN INDICADOR QUE DEFINE EL ÉXITO DEL ACUEDUCTO

El **Agua No Facturada (ANF)** –también conocida como Non-Revenue Water (NRW)– es uno de los indicadores más sensibles del desempeño de un sistema de agua potable. Resume pérdidas técnicas, comerciales y administrativas en un solo número. Mientras muchas empresas de agua en América Latina enfrentan niveles de ANF entre **35 % y 55 %**, varios países desarrollados han logrado mantenerlo por debajo del **15 %**, e incluso del **10 %** en ciudades con buena gobernanza.

¿Cómo lo logran? La respuesta no está sólo en la tecnología, sino en la combinación estratégica de **medición, sectorización, control de presión, digitalización y gestión disciplinada de activos**.

Medición inteligente: saber cuánta agua se produce y cómo se consume

La primera gran diferencia es la **precisión en la medición**.

Macromedición confiable

Los sistemas avanzados de países como Japón, Alemania o el Reino Unido utilizan:

- **Medidores electromagnéticos o ultrasónicos** en cada entrada y salida de sector,
- Lectura continua con data loggers,
- Integración a sistemas SCADA.

Esto permite construir balances de agua **diarios**, no mensuales.

Micromedición universal

Los países con ANF bajo tienen casi el 100 % de los usuarios medidos con:

Medidores volumétricos o ultrasónicos de alta precisión (clase C o mejor),

Programas de renovación sistemática cada 8-10 años,
Sistemas AMR/AMI (lectura remota por radio, celular o LoRaWAN).

La medición inteligente permite detectar anomalías en horas, no en meses.

Sectorización y control de presiones: la espina dorsal del éxito
No hay país con ANF bajo que no tenga su red completamente sectorizada.

District Metered Areas (DMA)

Un DMA típico tiene:

- Límites hidráulicos definidos,
- Una o dos entradas,
- Medición precisa en tiempo real,
- Un caudal nocturno objetivo (NMC: Night Minimum Consumption).

Al comparar el consumo nocturno con el esperado, se detectan fugas no visibles.

CONTROL ACTIVO DE PRESIONES

El exceso de presión es el enemigo invisible del ANF.
Por eso, los países desarrollados emplean:

- Válvulas reductoras de presión (VRP) inteligentes,
- Modulación por caudal y por horario,
- Sensores de presión remotos,
- Algoritmos que ajustan presión para evitar picos.

La presión estabilizada reduce roturas, fugas de fondo y sobreconsumo.





Tecnologías de búsqueda y localización de fugas: precisión quirúrgica

Las fugas no visibles son el componente más persistente del ANF real.

Para combatirlas:

Correladores acústicos digitales

Ubican fugas subterráneas mediante análisis de ruido correlado entre dos sensores.

Geófonos digitales

Herramientas de escucha portátil de alta sensibilidad.

Loggers permanentes de ruido

Dispositivos instalados en válvulas o hidrantes que:

- Registran sonidos nocturnos,
- Envían alarmas cuando detectan patrones típicos de fugas.

Analítica de presión y caudal

Con datos de telemetría y SCADA se analizan patrones para predecir fugas en sectores específicos.

Los países desarrollados no hacen campañas esporádicas: la detección de fugas es continua y sistemática.

Plataformas digitales, SCADA y gemelos digitales

La digitalización es una de las claves modernas del bajo ANF. SCADA integrado

- Monitoreo de presiones, caudales, niveles y estado de equipos,
- Alarmas automáticas por consumos fuera de patrón,
- Integración con análisis de fugas y balances hidráulicos.

Analítica avanzada / IA

- Modelos predictivos para:
- Optimizar la dosificación de presión,
- Identificar comportamientos atípicos,
- Localizar áreas con alta probabilidad de fuga o fraude.

Gemelos digitales (Digital Twins)

Simulan el comportamiento real de la red.

Permiten comparar:

- Datos reales vs. comportamiento esperado,
- Ubicar anomalías,
- Planificar renovación de redes.

Reducción de pérdidas aparentes: fraude y errores bajo control

El componente comercial del ANF se reduce mediante:

Medidores de alta precisión

Particularmente en usuarios comerciales e industriales.

Sistemas comerciales integrados

- Catastro actualizado,
- Facturación automática,
- Control de fraudes y conexiones clandestinas,
- Georreferenciación de usuarios.

Lectura remota y evidencia fotográfica

Reduce errores de lectura y elimina prácticas discrecionales.

Gestión de activos: la diferencia estructural

Los países desarrollados dedican recursos constantes al mantenimiento y renovación de tuberías.



GIS y registros digitales

Cada tubería se registra con:

- Material,
- Diámetro,
- Edad,
- Historial de roturas.

Renovación sistemática

Se renueva un porcentaje de la red cada año (0.5 %-2 %) según análisis de riesgo.

Evaluación de condición

Uso de:

- CCTV,
- Ensayos no destructivos,
- PIGs para tuberías grandes.

Sin gestión de activos es imposible sostener ANF bajo a largo plazo.

Lecciones para América Latina

América Latina tiene desafíos importantes –pérdidas físicas altas, fraude, limitaciones de inversión y gobernanza fracturada– pero también un enorme potencial. Los países desarrollados demuestran que el ANF bajo es posible cuando existen:

- Datos confiables,
- Operación basada en evidencia,
- Tecnología aplicada inteligentemente,
- Y una gestión que premia resultados.

La región puede avanzar si adopta modelos híbridos: **sectorización progresiva, medición inteligente, gestión de presión, fortalecimiento comercial y digitalización.**

Con la hoja de ruta adecuada, muchas empresas de agua latinoamericanas podrían reducir su ANF en 10–20 puntos en menos de una década.

LA CLAVE REAL: COMBINAR TECNOLOGÍA + DISCIPLINA

La tecnología importa, pero la gestión es lo que marca la diferencia.

Los países desarrollados tienen en común:

1. Sectorización total de la red (DMA)
2. Medición precisa en producción y consumo
3. Control activo de presiones 24/7
4. Detección continua de fugas
5. Sistemas comerciales fuertes
6. Renovación planificada de activos
7. Cultura operativa rigurosa y estable

No son soluciones “milagro”, sino disciplina técnica sostenida durante años

10 TEMAS CRÍTICOS PARA LA RESILIENCIA DE TU CIUDAD

La Resiliencia es una Decisión Estratégica

POR: ING. FERNANDO PRESA



El agua ha dejado de ser un simple commodity para convertirse en el factor limitante que define la viabilidad económica y social de cualquier comunidad. Ante la presión del cambio climático, las fallas de infraestructura y los desafíos regulatorios, la gestión hídrica exige abandonar la visión cortoplacista para adoptar una gobernanza integral y resiliente.

La resiliencia urbana no es un concepto abstracto; es la capacidad de mitigar riesgos (sequías, inundaciones, fallas sanitarias) y de garantizar la seguridad jurídica y la estabilidad del servicio a largo plazo.

Hemos condensado en diez pilares las directrices esenciales en materia de inversión, regulación y tecnología que toda Autoridad Competente (ya sea operador, regulador o administrador) debe abordar de inmediato para asegurar el futuro hídrico de su ciudad:

I. Pilares de la Estabilidad Regulatoria y la Planificación

Estos tres temas sientan las bases legales y estratégicas que sustentan toda la gestión hídrica.

1. **Marco Regulatorio y Soberanía Nacional del Agua** La base de la gobernanza es la certeza jurídica. Se debe definir el agua como un bien público y consolidar el rol de la concesión como un contrato social claro entre el Estado, el operador y el usuario.
2. **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)** La planificación no puede ser fragmentada. La clave de la GIRH es la coordinación estratégica de la gestión a nivel de Cuenca, priorizando la protección del área de captación como primera línea de defensa de la fuente de suministro.
3. **Adaptación al Cambio Climático y Resiliencia Hídrica** Es indispensable migrar de la reacción a la previsión. Esto se logra mediante la implementación de estrategias nacionales para gestionar sequías e inundaciones, y la diversificación de fuentes (planes de continuidad operacional) para no depender de una sola fuente en momentos de crisis.



II. Pilares de la Eficiencia Operativa y la Salud Pública

La eficacia de la gestión hídrica se mide en los resultados de salud y la optimización de cada litro disponible.

4. **Saneamiento y Salud Pública (ODS 6).** La resiliencia de la ciudad depende de asegurar la **cobertura universal** y la operación eficiente de las **Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**. **La directriz clave:** Invertir en **Sensores de Calidad en Tiempo Real (SCTR)** en puntos críticos de la red y efluentes. Esta tecnología permite migrar de muestreos periódicos (tardíos) a un control de flujo constante, habilitando una **reacción inmediata** ante cualquier incidente de contaminación y protegiendo a la población de un riesgo sanitario. Además, se requiere implementar un **Plan de Mantenimiento Predictivo (PMP)** para la infraestructura clave, evitando fallas catastróficas.



5. **Eficiencia en el Uso del Agua y Reducción de Pérdidas (ANF/NRW)** Perder agua antes de que llegue al consumidor es el principal indicador de una gestión débil. La reducción del **Agua No Contabilizada (ANF/NRW)** no es solo ahorro; es la fuente de agua más barata que puede encontrar una ciudad. **La implementación táctica:** La base es la sectorización de la red mediante la creación de **Zonas de Medición de Distrito (DMAs)**. Esto permite aislar y controlar micro-sectores, cuantificando con precisión el **Caudal Mínimo Nocturno** para localizar fugas no visibles. Esto debe complementarse con:

- a. **Monitoreo Continuo de Presión** para evitar roturas por fluctuaciones.
- b. **Micromedición Domiciliaria con Tele-lectura** para obtener datos de consumo reales y transparentes.

6. **Financiamiento Sostenible y Tarifas Justas (ODS 17)** La infraestructura hídrica requiere miles de millones en inversión constante. Esta no se logra sin un marco económico claro. Una gestión resiliente requiere que las **tarifas reflejen el costo real de producir, tratar y distribuir el agua**, pero garantizando la accesibilidad. **La estrategia doble:**

- a. **Soporte Social:** Implementar la **Segmentación Socioeconómica del Subsidio Cruzado**, focalizando el apoyo exclusivamente en los sectores más vulnerables e incentivando el ahorro en el resto de los usuarios.
- b. **Mobilización de Capital:** Diseñar proyectos que puedan financiarse a largo plazo mediante la emisión de Bonos Verdes o Bonos Hídricos con respaldo de gobiernos soberanos o instituciones multilaterales. Es vital la **Auditoría Anual del Costo Marginal de Producción** para dar transparencia al cálculo tarifario.





III. Pilares de la Transparencia y el Futuro Digital

Estos elementos son cruciales para la legitimidad de la gestión y la adopción de un modelo predictivo.

7. Gobernanza Hídrica y Participación Ciudadana La opacidad contractual es el principal vector de desconfianza. Es fundamental fortalecer la Autoridad Reguladora e implementar mecanismos de **rendición de cuentas**. Para esto, se recomienda establecer una plataforma de **Registro Hídrico Inmutable (Blockchain)** para auditar cada inversión en tiempo real, e involucrar al **Veedor Hídrico Ciudadano** (sociedad civil y academia) para certificar la probidad técnica.

8. Calidad del Agua y Vigilancia Epidemiológica La capacidad de detectar contaminantes antes de que impacten la salud pública separa a las Administraciones proactivas de las reactivas. La tecnología clave es la **Modelización Predictiva por IA** y el análisis de **Aguas Residuales (Waste water - Based Epideomology- WBE)** como un sistema activo de alerta temprana. Además, la **georreferenciación de puntos críticos** permite mapear las zonas de mayor vulnerabilidad.

9. Innovación y Digitalización (Smart Water Management) La red debe transformarse en un ecosistema inteligente. El uso de **sensores IoT y telemetría** (micromedición inteligente) permite la gestión predictiva. El desafío táctico es el desarrollo de un **Dashboard Operacional unificado** para visualizar alertas de Big Data y optimizar el consumo energético de las redes de bombeo mediante analítica predictiva.

10. Protección de Ecosistemas Acuáticos y Biodiversidad La infraestructura verde-azul es la primera línea de defensa. El enfoque debe ser la planificación territorial, exigiendo el **Mapeo de Servicios Ecosistémicos Hídricos (SEH)** para asignar presupuestos basados en el valor ecológico de la filtración y regulación. Es esencial establecer **Zonas de Amortiguamiento (Buffer Zones)** no edificables para proteger los cuerpos de agua de la contaminación difusa.



Conclusión

Estos diez temas conforman una hoja de ruta técnica indispensable para cualquier ciudad que aspire a ser verdaderamente resiliente. La Gobernanza del Agua es un sistema integrado donde la regulación, la eficiencia, la transparencia y la tecnología actúan como palancas interdependientes.

La resiliencia no es un lujo que se pueda posponer. Es la inversión más rentable para garantizar la seguridad hídrica, la estabilidad social y la viabilidad económica de las futuras generaciones.

La invitación es a la acción. Que estos diez pilares impulsen la seguridad hídrica y la resiliencia integral de su comunidad.

Para profundizar en cada tema, explorar los puntos clave y participar en la discusión, visite nuestra campaña completa en la serie #Agua10Criticos a través de LinkedIn

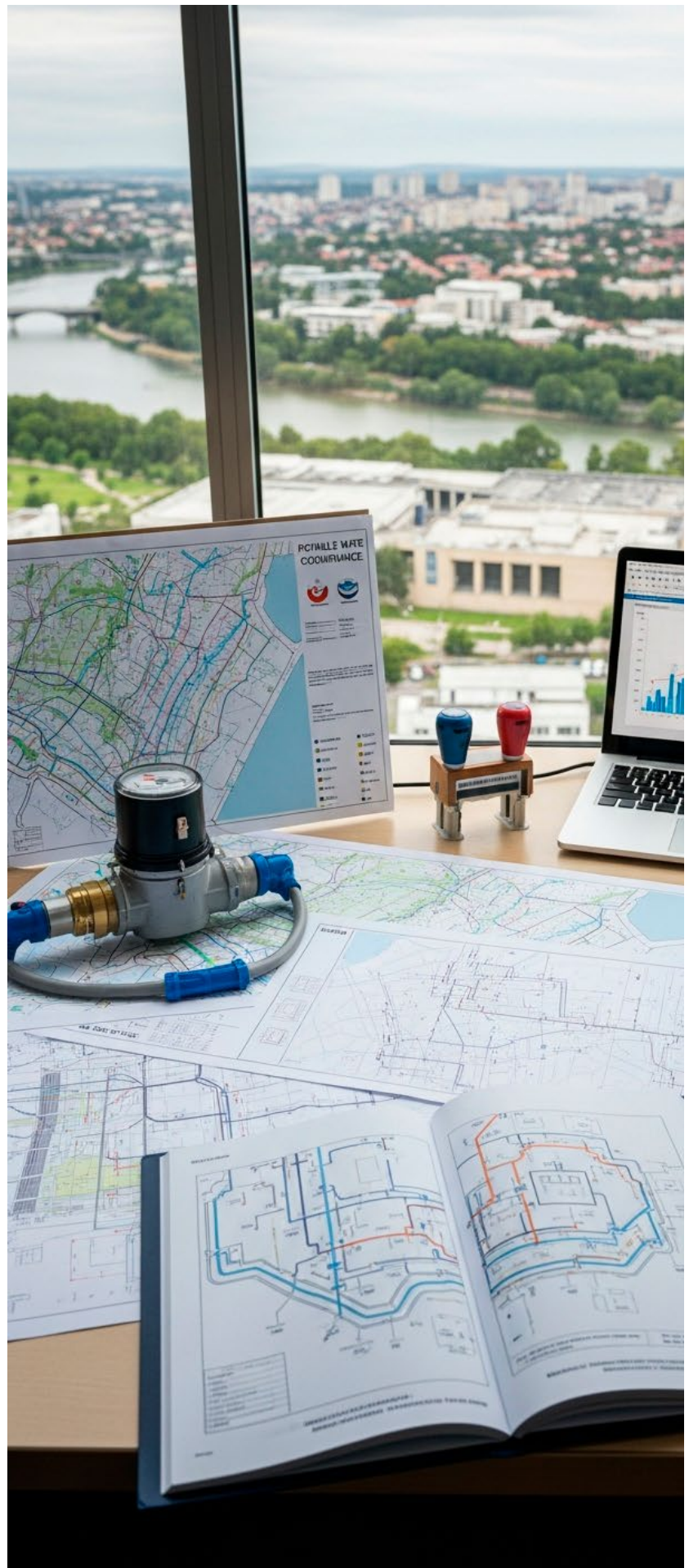
Sobre el Autor

Fernando Presa, Ingeniero Civil, con una distinguida trayectoria de más de **30 años dedicados a la infraestructura hídrica** y al diseño de soluciones resilientes. Su vasta experiencia se ha centrado en el desarrollo, planificación y ejecución de **obras de agua y saneamiento** de gran escala, adquiriendo un enfoque integral y estratégico a **nivel internacional**. El Ing. Presa tiene nacionalidad argentina.

Como especialista en la intersección entre la ingeniería y la gobernanza del agua, el Ing. Presa ha sido un activo promotor de la eficiencia operativa y de la adopción de tecnologías Smart Water Management para asegurar la sostenibilidad del servicio hídrico en Latinoamérica y otras regiones.

La visión presentada en este artículo, "Diez Pilares para la Gobernanza del Agua: La Hoja de Ruta de la Resiliencia Urbana", es un compendio de su experiencia práctica en la mitigación de riesgos y la optimización del capital en el sector hídrico.

Email de contacto:
presa.fernando@gmail.com



NO TE ENREDES: EL IMPACTO INVISIBLE DE LOS RESIDUOS DOMÉSTICOS EN EL SANEAMIENTO Y LA SALUD PÚBLICA

Cómo el mal uso del inodoro está saturando depuradoras, elevando costos y agravando la contaminación del agua en América Latina y el mundo



El inodoro suele percibirse como un simple dispositivo doméstico. Sin embargo, es la puerta de entrada a una compleja infraestructura de saneamiento que protege la salud pública y al medio ambiente. Cuando los residuos inadecuados entran en la red – toallitas húmedas, aceite de cocina, productos higiénicos, medicamentos, plásticos y hasta cabello – se desencadena un problema silencioso pero creciente: **el colapso de los sistemas de saneamiento y depuración.**

Aqualia, una de las principales empresas gestoras de agua y saneamiento en España, ha retomado su campaña “No te enredes: el pelo a la basura” para visibilizar el daño que provocan estos hábitos domésticos, especialmente en el marco del Día Mundial del Saneamiento (19 de noviembre).

Pero este fenómeno no es exclusivo de España: afecta gravemente a redes de saneamiento en América Latina, el Caribe, África y Asia, donde el aumento del consumo de productos desechables y la falta de cultura sanitaria elevan los costos y complican la operación de plantas de tratamiento.

1. Una crisis global: más de 3.500 millones de personas sin saneamiento seguro

Según Naciones Unidas, el 46% de la población mundial carece de servicios de saneamiento gestionados de forma segura. La OMS estima que cada año mueren más de 432.000 personas por enfermedades diarreicas asociadas a agua y saneamiento deficientes.

En 2022, solo 58% de las aguas residuales domésticas recibieron tratamiento adecuado antes de ser vertidas al ambiente. El resto –más de la mitad– contaminó ríos, lagos, acuíferos y zonas costeras, comprometiendo ecosistemas y producción agrícola.

El saneamiento, advierte la ONU, es una condición esencial para alcanzar los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 3 (Salud y bienestar) y ODS 11 (Ciudades sostenibles).

2. El problema oculto: el papel de los residuos no aptos en los atascos y fallos del sistema

Los sistemas de alcantarillado están diseñados para transportar únicamente tres elementos:

- Aguas negras (heces y orina)
- Aguas grises (duchas, lavamanos, cocina)
- Papel higiénico

Todo lo demás **no debería entrar en el inodoro.**

Sin embargo, la realidad es muy distinta. La Asociación Española de Agua Urbana (DAQUAS) estima que **las toallitas húmedas y otros residuos textiles generan un sobre costo de 230 millones de euros anuales** para los operadores del servicio.

A estos productos se suman:

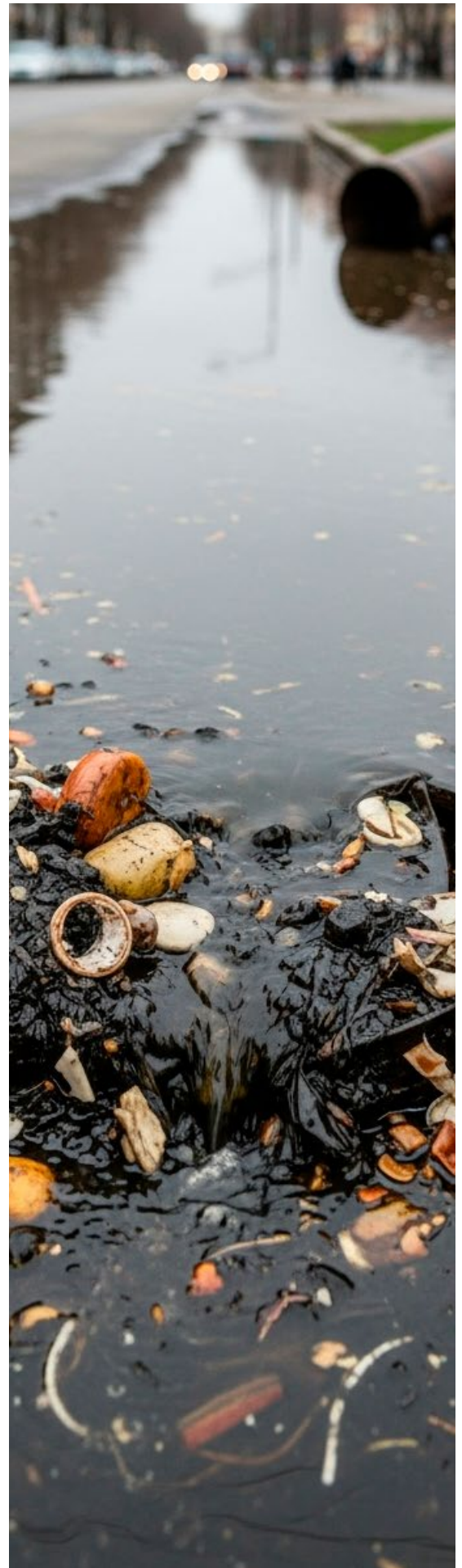
Cabello: un enemigo silencioso

Según Aqualia, solo en sus depuradoras en España se recuperan **más de 12.500 toneladas anuales de residuos de desbaste**, una parte significativa compuesta por cabellos y fibras que:

- pasan las rejillas de tamizado por su grosor fino,
- se enredan formando madejas con toallitas,
- causan atascos en bombas y digestores,
- provocan paradas, averías y pérdidas económicas.

Toallitas y textiles no biodegradables

Aunque muchos productos se venden como "flushables", no se degradan en tiempo adecuado y terminan formando las temidas fatbergs: auténticos "icebergs" de grasa y fibras que bloquean colectores completos.





Aceites de cocina y grasas

Solidifican en las tuberías y reducen la capacidad hidráulica. Un solo litro de aceite puede contaminar **1.000 litros de agua**.

Productos químicos y medicamentos

Alteran los procesos biológicos esenciales del tratamiento secundario, donde microorganismos degradan materia orgánica y nutrientes.

3. Cuando la depuradora se atasca: consecuencias ambientales y económicas

El mal uso del inodoro genera impactos significativos:

Sobrecostos operativos

Incrementos en energía, mano de obra y mantenimiento por extracción de residuos, limpieza de digestores, sustitución de bombas y equipos.

Menor eficiencia del tratamiento

Cuanto más contaminada llega el agua residual, más difícil y costoso es devolverla al medio ambiente con calidad adecuada.

Riesgo sanitario

Bloqueos pueden provocar desbordes de aguas residuales sin tratar, afectando calles, viviendas y cuerpos de agua.

Daño ambiental

Los residuos que superan los procesos de desbaste terminan en ríos y mares, afectando fauna, playas y ecosistemas enteros.

4. Saneamiento responsable: pequeñas acciones con gran impacto

Aqualia subraya que el mantenimiento de la red no solo depende de tecnología e infraestructura: **comienza en el hogar**.

Acciones recomendadas:

- Evitar tirar toallitas, algodón, pañales, preservativos y productos sanitarios al retrete.
- Usar filtros en la ducha para retener cabellos.

- **Desechar el cabello en el contenedor gris**, nunca en el inodoro.
- **No verter aceites usados**: deben depositarse en puntos limpios o reciclarse.
- **No tirar medicamentos** al desagüe.
- **Evitar verter pintura, solventes y químicos domésticos** que afectan el tratamiento biológico.

Estas acciones reducen costos, previenen fallas y protegen el medio ambiente.

5. Lecciones para América Latina: saneamiento urbano y cultura ciudadana

En América Latina y el Caribe, cerca de **150 millones de personas carecen de servicios de saneamiento adecuados**, según el Banco Mundial. Países como México, Colombia, Perú, Nicaragua o Honduras enfrentan desafíos similares a los señalados por Aqualia:

- sobrecarga de redes,
- plantas de tratamiento operando por debajo de su capacidad,
- descargas de aguas residuales sin tratar,
- escasa educación sanitaria,
- aumento del consumo de productos desechables.

Los gobiernos locales y operadores pueden incorporar campañas como **"No te enredes"** en programas de educación hídrica, escuelas, plataformas digitales y recibos de agua, replicando buenas prácticas que ya funcionan en Europa.

El saneamiento responsable empieza en casa

El saneamiento no es únicamente una necesidad básica: es un derecho humano y un componente esencial para construir **ciudades resilientes, saludables y sostenibles**. Las campañas como la de Aqualia nos recuerdan que **la infraestructura más avanzada puede fallar si los hábitos ciudadanos no acompañan**.

El reto global es enorme: lograr que todo el mundo tenga acceso a saneamiento seguro. Pero mientras se avanza en infraestructura, financiamiento y tecnología, cada persona puede contribuir con gestos tan simples como **no usar el inodoro como un basurero**.

El agua limpia y el saneamiento digno empiezan por nuestras elecciones diarias.



STARTUP POLACA LANZA SISTEMA AUTÓNOMO QUE PREDICE CONTAMINACIÓN DEL AGUA HASTA 72 HORAS ANTES



En un contexto en el que más del 63% de los ríos y lagos de la Unión Europea presentan niveles críticos de contaminación, la innovación en tecnologías de monitoreo hídrico se vuelve imperativa. Frente a métodos tradicionales manuales, costosos y poco frecuentes, surge desde Polonia una solución disruptiva: **WaterSense**, un sistema autónomo que no solo monitorea la calidad del agua en tiempo real, sino que también **predice episodios de contaminación con hasta 72 horas de antelación.**

La Crisis y la Respuesta Tecnológica

El problema es conocido: la mayoría de los cuerpos de agua dulce en Europa son monitoreados de forma esporádica, lo que dificulta la detección temprana de contaminantes y la implementación de acciones preventivas. WaterSense, desarrollado por una startup polaca, llega para transformar este paradigma. Se trata de una tecnología accesible y escalable que permite a municipios y comunidades realizar un **seguimiento continuo y automatizado**, sin depender

Un Sistema Autónomo e Inteligente

La arquitectura de WaterSense se basa en tres componentes principales:

1. WaterStation: Una plataforma modular que se instala directamente en ríos o lagos. Su sistema hidráulico permite extraer muestras de agua de **tres profundidades diferentes**, ofreciendo un análisis estratificado y representativo.

2. WaterSensor: Sensores electroquímicos desechables, impresos en rollos, capaces de medir más de **20 parámetros críticos** (pH, oxígeno disuelto, nitratos, metales pesados, etc.) con alta precisión. Estos sensores se reemplazan automáticamente cada día, garantizando datos confiables sin intervención humana.

3. WaterCloud: El cerebro del sistema. Esta plataforma basada en Inteligencia Artificial procesa los datos y, mediante su modelo predictivo **WaterForecast**, anticipa posibles eventos de contaminación. Toda la información se publica de forma abierta y en tiempo real en el portal público **watermap.pl**, fomentando la transparencia y la participación ciudadana.

Un diferencial clave es su **sostenibilidad operativa**. Las estaciones son energéticamente autónomas gracias a un hidrogenerador, lo que asegura su funcionamiento todo el año, incluso en condiciones climáticas adversas, con **mantenimiento prácticamente nulo**.

Pruebas en el Mundo Real y Potencial Predictivo

Más de 20 prototipos de la **WaterStation Mini** ya están desplegados en colaboración con instituciones como Warsaw Waterworks y varios municipios polacos. Estas pruebas han permitido validar el sistema en diversos entornos y mejorar su resistencia a desafíos como la bioincrustación.

Durante una prueba en el río Vístula, el sistema detectó una **caída anómala en los niveles de oxígeno disuelto**, permitiendo a las autoridades activar protocolos de verificación y prevenir una posible mortandad masiva de fauna acuática. Este caso

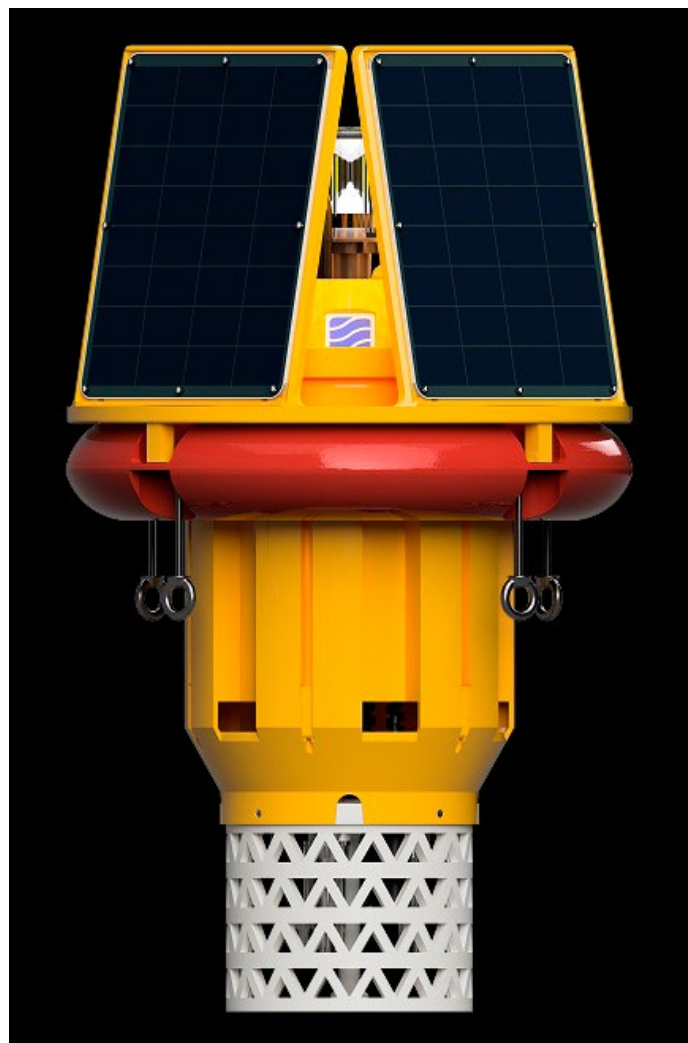
subraya el valor de la **capacidad predictiva**, que actualmente alcanza una precisión inicial del 11% en su versión beta y continúa siendo entrenada para cada ubicación específica.

Democratización y Visión de Futuro

El objetivo de WaterSense es claro: **democratizar el acceso al monitoreo hídrico de calidad**. Su enfoque busca empoderar tanto a grandes ciudades como a comunidades rurales con recursos limitados.

La hoja de ruta es ambiciosa:

- * 2025: Lanzamiento del modelo completo WaterStation e instalación de al menos 50 estaciones en Polonia.
- * 2026: Expansión a otros países europeos.
- * 2027: Llegada a Estados Unidos.





Un Radar Ecológico para el Siglo XXI

En tiempos de cambio climático y creciente presión sobre los recursos hídricos, tecnologías como WaterSense dejan de ser una opción para convertirse en una necesidad. No se limita a medir; está construyendo una ****red de vigilancia ecológica distribuida, silenciosa y eficaz.**** WaterSense representa un salto cualitativo hacia la gestión proactiva del agua, transformando datos en acciones oportunas que protegen los ecosistemas hoy y aseguran el recurso para las generaciones futuras.



TRANSFORMANDO EL DISEÑO DE DRENAJE CON ACOM Y AUTODESK INFODRAINAGE



POR: JAVIER SOTO; INFODRAINAGE PRODUCT MANAGER, AUTODESK WATER Y ROBIN CHAMBER HSENIOR ENGINEER · AECOM

EN BASE A CHARLA TÉCNICA “ TRANSFORMING DRAINING DESIGN WITH AECOM, DICIEMBRE 4, 2025, ORGANIZADA POR THE SMART WATER MAGAZINE TEAM

Innovación digital para sistemas urbanos resilientes frente al cambio climático

La presión creciente sobre los sistemas de drenaje urbano –producto de la urbanización acelerada y de eventos de lluvia más extremos derivados del cambio climático– ha impulsado una profunda transformación en la manera en que se diseñan, modelan y gestionan las infraestructuras hidráulicas. En países como el Reino Unido, **1 de cada 6 viviendas está en riesgo de inundación**, una cifra que seguirá aumentando debido a tormentas invernales cada vez más intensas y frecuentes. En respuesta, el Gobierno británico prepara la implementación del **Schedule 3 del Flood and Water Management Act**, que hará obligatorias las soluciones de drenaje sostenible (SuDS) en nuevos desarrollos.

En este contexto surge una alianza estratégica entre **ACOM**, una de las firmas de ingeniería más grandes del mundo, y **Autodesk Water**, desarrolladora de **InfoDrainage** y **Civil 3D**, herramientas líderes en la modelación de drenaje urbano. En el webinar **Transforming Drainage Design with ACOM**, los especialistas **Rob Chambers** (ACOM) y **Javier Soto** (Autodesk) exploraron cómo estas tecnologías están redefiniendo los flujos de trabajo para lograr diseños **más eficientes, precisos y sostenibles**.

El nuevo entorno del drenaje urbano: desafíos y oportunidades

El incremento del riesgo de inundaciones exige pasar de modelos estáticos o aislados a ecosistemas digitales integrados que permitan:

- Simular múltiples escenarios de tormenta.
- Analizar interacciones entre redes de aguas pluviales y aguas residuales.
- Modelar infraestructuras verdes como SuDS, pavimentos permeables, humedales, zanjas, cuencas y lagunas.
- Verificar en tiempo real el cumplimiento normativo.
- Facilitar la interoperabilidad entre disciplinas: urbanismo, carreteras, hidráulica, topografía y edificación.



ACOM ha adoptado InfoDrainage como herramienta central, integrándola profundamente con Civil 3D para mejorar su capacidad de validación, detección de interferencias (clash detection) y trabajo colaborativo.

InfoDrainage: evolución y capacidades clave

El sistema representa un salto significativo respecto a su antecesor MicroDrainage. Entre las mejoras destacan:

a) Interfaz moderna y visualización avanzada

- Vistas en planta, perfil y 3D, exportables a CAD o PDF.
- Mayor precisión geométrica para estructuras SuDS, permitiendo definir bordes, entradas y salidas reales.

b) Modelación unificada de aguas pluviales y residuales

ACOM demuestra cómo diseñar ambas redes en paralelo, integrando bombeos, diámetros variables, pendientes, controles de flujo e interacciones hidráulicas reales.

c) Incorporación de superficies y topografías

La importación de superficies LandXML, DWG y otros formatos permite modelar drenaje conforme al terreno real.

d) Validación obligatoria antes de ejecutar simulaciones

El software identifica errores como:

- Conexiones faltantes
- Pendientes incorrectas
- Conductividades no definidas
- Geometrías incongruentes

Esto reduce riesgos y mejora la trazabilidad del diseño.

e) Mejor modelación de SuDS y procesos naturales

InfoDrainage permite representar:

- Flujo a través de pavimentos permeables
- Zanjas con subdrenes
- Lagunas con geometrías complejas
- Controles de hidrobrake
- Transporte de contaminantes (hidrocarburos, metales pesados)

El flujo de trabajo de ACOM: del concepto al modelo integrado
Los casos reales donde ACOM ha aplicado InfoDrainage han sido en proyectos de:

- Conjuntos habitacionales
- Infraestructura vial
- Estaciones ferroviarias
- Hospitales
- Desarrollo urbano internacional (Perú, Finlandia, Grecia, Irlanda, Reino Unido)

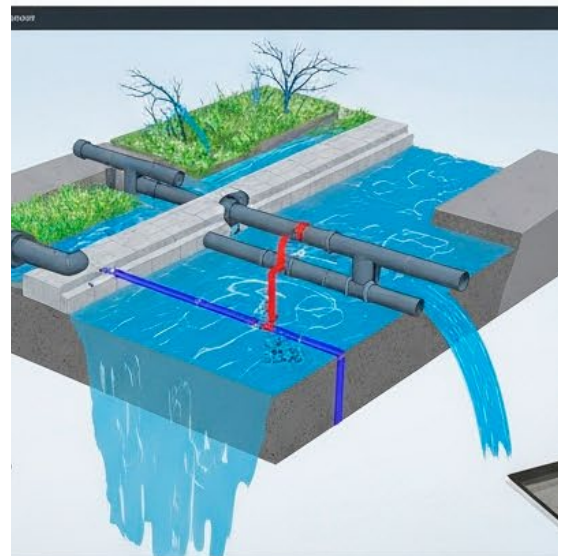
El proceso típico incluye:

1. Importar redes existentes

InfoDrainage puede convertir modelos de MicroDrainage para actualizarlos sin redibujar.

2. Incorporar CAD y superficies

Se integran planos arquitectónicos, pendientes viales y topografía para obtener coherencia geométrica.





3. Redefinir elementos SuDS con geometría real

ACOM demuestra cómo convertir lagunas rectangulares (auto-creadas por el software) en formas orgánicas que representan el diseño final.

4. Ejecutar simulaciones completas

Incluye tormentas de distintos periodos de retorno: 1, 30, 100 años, etc.

5. Identificar puntos de inundación

La capacidad de visualizar acumulaciones en 2D permite evaluar flujos superficiales (overland flow).

6. Exportar a Civil 3D

Una mejora clave en 2026 es que Civil 3D ya reconoce:

- Geometrías de lagunas
- Pozos y tuberías
- Etiquetas hidráulicas
- Partes estandarizadas DCG

Interoperabilidad InfoDrainage – Civil 3D: un avance decisivo

La integración bidireccional entre ambos sistemas es fundamental. Hoy los ingenieros pueden:

- Enviar un modelo desde Civil 3D a InfoDrainage.
- Modificar estructuras, tamaños, pendientes y SuDS.
- Enviarlo de vuelta sin perder asignaciones ni nomenclaturas.
- Generar planos, perfiles y cuantificaciones directamente en Civil 3D.

Autodesk confirmó que en las versiones nuevas (2026.1 y 2026.2):

- Será posible ejecutar cálculos menores desde Civil 3D sin abrir InfoDrainage.
- Se mejorará el manejo de redes complejas.
- Se ampliará la automatización de tareas repetitivas mediante plantillas.

Hacia ciudades resilientes: la visión de Autodesk Water

InfoDrainage avanza hacia:

- Más automatización en el diseño inicial (pre-sizing).
- Más compatibilidad con modelos BIM (Revit, Navisworks, ACC).
- Simulaciones más rápidas, incluso mediante cómputo en la nube.
- Herramientas para auditoría automática, comparando resultados con criterios regulatorios o internos.

El objetivo es que el ingeniero concentre su tiempo en la toma de decisiones, no en tareas repetitivas o de reconstrucción de modelos.

El futuro del diseño de drenaje es digital, colaborativo y sostenible

La integración ACOM–Autodesk muestra cómo la ingeniería del agua está entrando en una nueva era:

- Modelos unificados, donde drenaje pluvial, aguas residuales y SuDS se analizan como un solo sistema.
- Mayor precisión geométrica, fundamental para cumplir normativas emergentes.
- Interoperabilidad total con plataformas de diseño civil.
- Capacidad para escalar, desde pequeños desarrollos hasta ciudades enteras.

En un mundo donde los eventos extremos ya no son excepcionales, herramientas como InfoDrainage permiten diseñar sistemas más resilientes, eficientes y respetuosos con el medio ambiente.



LA REVOLUCIÓN SOLAR FLOTANTE EN EUROPA: UN LAGO ALEMÁN SE CONVIERTE EN LA PRIMERA CENTRAL FOTOVOLTAICA FLOTANTE DEL CONTINENTE

ALEMANIA INAUGURA EN BAVIERA UNA PLANTA SOLAR FLOTANTE QUE COMBINA ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO IMPACTO AMBIENTAL Y UN MODELO REPLICABLE PARA PAÍSES CON ESCASEZ DE SUELO Y AMPLIO POTENCIAL HÍDRICO.

Europa ha dado un paso decisivo hacia el futuro de las energías renovables: por primera vez, **un lago se ha transformado en una planta solar flotante** capaz de producir electricidad limpia sin ocupar terreno firme ni alterar el paisaje agrícola o urbano. Este innovador proyecto, desarrollado en la región de Baviera, Alemania, marca un precedente en el uso de cuerpos de agua como plataformas estratégicas para la transición energética del continente.

El diseño evita la competencia por suelo –cada vez más escaso y costoso– y propone una alternativa sostenible para países con lagos, embalses o canteras inundadas que buscan incrementar la generación renovable sin sacrificar espacios productivos o naturales.

Una idea simple pero visionaria: llevar la energía solar al agua

La base del proyecto consiste en instalar paneles solares sobre estructuras flotantes, aprovechando la estabilidad de un lago y su superficie disponible. Este enfoque ofrece varias ventajas:

- Se evita ocupar terrenos agrícolas o industriales.
- La eficiencia de los paneles mejora gracias a la refrigeración natural del agua.
- Se reduce la evaporación del lago, ayudando a conservar recursos hídricos.
- El impacto visual es mínimo, ya que la planta queda integrada en su entorno natural.

La planta, ubicada en una gravera inundada del distrito de Starnberg, demuestra que la transición energética puede integrarse con actividades mineras rehabilitadas, convirtiendo pasivos ambientales en activos renovables.



Tecnología Skipp-Float: paneles verticales que producen más y mejor

El corazón de la innovación es la tecnología Skipp-Float, desarrollada por la empresa SINN Power. Su principal característica es la disposición vertical de los paneles solares en orientación este-oeste.

Este diseño permite:

- Capturar radiación desde las primeras horas de la mañana hasta el atardecer.
- Generar una producción más uniforme durante el día.
- Reducir las pérdidas por sombreado.
- Facilitar la ventilación natural gracias a corredores de agua de más de cuatro metros entre paneles.

El sistema ofrece una ventaja adicional: al mantenerse fríos, los paneles prolongan su vida útil y operan con mayor eficiencia, un beneficio crítico para proyectos de larga duración.

Producción y capacidad: energía limpia para cientos de hogares

La central solar flotante tiene una capacidad instalada cercana a **2 megavatios (MW)**, lo que le permite generar alrededor de **2 gigavatios-hora (GWh)** anuales. Esta producción es suficiente para abastecer a cientos de viviendas, evitando la emisión de miles de toneladas de CO₂ al año.

Para conectar la planta a la red eléctrica terrestre, se utiliza un cable flotante, que reduce el impacto sobre el fondo del lago y evita obras invasivas. Este enfoque refuerza el principio de la ingeniería ambiental moderna: producir energía sin degradar los ecosistemas.

Un impacto ambiental positivo y sorprendente

Lejos de generar daños, la infraestructura ha demostrado **beneficios ecológicos inesperados:**

- Las sombras de los paneles crean microhábitats para peces y aves acuáticas.
- La reducción de la evaporación mejora la estabilidad del cuerpo de agua.
- Los paneles actúan como refugios de biodiversidad.
- No se detectaron alteraciones significativas en la calidad del agua.

El cumplimiento estricto de las normativas hídricas nacionales demuestra que la coexistencia entre energía y naturaleza es viable cuando la ingeniería implementa enfoques ecosistémicos.

Alemania como pionera y la expansión hacia el mar

Alemania vuelve a liderar la innovación energética con esta planta, ubicada en el **lago de Jais**, un sitio que encarna la transformación de una cantera en desuso en un activo estratégico para la sostenibilidad.

El director de la instalación, **Gottfried Jais**, subraya que la planta se integra perfectamente a la demanda industrial local, especialmente entre marzo y diciembre, cuando la radiación solar permite aprovechar al máximo el sistema.

La empresa SINN Power ya analiza llevar esta tecnología a nuevas fronteras: el mar abierto. Los futuros parques solares flotantes oceánicos podrían combinar energía fotovoltaica con oleaje y viento, creando híbridos energéticos de alta resiliencia y producción constante.

El agua como plataforma del futuro energético

El éxito de la primera central solar flotante de Europa demuestra que los cuerpos de agua –lagos, embalses, canteras y eventualmente el mar– pueden convertirse en aliados indispensables para la transición hacia energías limpias.

Este proyecto alemán marca el inicio de una tendencia que podría expandirse rápidamente por el continente y el mundo, especialmente en regiones con:

- alta densidad poblacional,
- escasez de suelo disponible,
- recursos hídricos abundantes,
- metas climáticas ambiciosas.

La energía solar flotante ya no es un experimento: es una solución real, replicable y estratégica para un planeta que necesita urgentemente alternativas sostenibles.



AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES: SITUACIÓN DE COSTA RICA EN EL MUNDO



Darner Adrián Mora Alvarado
Salubrista Público.

Agua potable

Avances Globales y Nacionales en Agua Potable Según Informe OMS/UNICEF (2000-2024)

En agosto de 2025, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó el informe "Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene. Con énfasis especial en las desigualdades: 2000-2024". Este documento, elaborado en conjunto con el Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) de la OMS y UNICEF, estructuró la valoración del acceso al agua potable a través de una "Escalera para el Agua Potable".

La Escalera para el Agua Potable

La Escalera para el Agua Potable considera el origen del recurso hídrico y las condiciones de acceso. En su nivel más básico, contempla el acceso directo a fuentes superficiales como ríos, presas, lagos, arroyos, estanques o canales de riego. El siguiente nivel es el acceso "sin mejorar", que corresponde a agua obtenida de pozos o manantiales sin protección.

El concepto "Básico" se refiere al agua potable proveniente de una fuente mejorada, siempre que el tiempo total de recogida, incluyendo la espera en la cola, no supere los 30 minutos para un viaje de ida y vuelta. El nivel "Limitado" implica que el agua potable proviene de una fuente mejorada, pero el tiempo de recogida no supera los 30 minutos para el recorrido de ida y regreso, también incluyendo las colas.

El nivel más avanzado es el de "agua potable gestionada en forma segura" (APGFS), definida como agua procedente de una fuente mejorada, accesible directamente en las instalaciones, disponible cuando se necesita y libre de contaminación fecal y sustancias químicas prioritarias.

Medición de los Avances Según los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Para el seguimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS6, los avances se miden principalmente bajo los conceptos de "Básico" y "APGFS". Según el informe, para el año 2024, el 74% de los 8.200 millones de habitantes del mundo utilizó servicios de APGFS, con una cobertura del 60% en zonas rurales y del 83% en zonas urbanas. A pesar de estos avances, 2.100 millones de personas aún carecen de acceso a APGFS, incluyendo 106 millones que consumen agua superficial.

Desde el año 2015, al cierre de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), 961 millones de personas accedieron por primera vez a servicios de APGFS, y el consumo de agua superficial sin tratar disminuyó en 61 millones de personas. El informe también señala que 160 países contaban con presupuesto para promover servicios de agua potable, representando al 72% de la población mundial.

Retos para Alcanzar la Meta Global

A pesar de los progresos, alcanzar la meta 6.1 de los ODS6 –que busca el acceso universal y equitativo de agua potable asequible para todos en el 2030– requerirá un aumento de ocho veces en las tasas de progreso actuales. Actualmente, el mundo no está encaminado hacia la cobertura universal de los servicios básicos de agua (99% de la población), y menos aún en el acceso a agua potable gestionada en forma segura: de un 68% en 2015, se avanzó al 74% en 2024, con la perspectiva de alcanzar el 94% en el futuro, aunque las proyecciones para 2030 se quedan apenas en el 77%.

Situación de Costa Rica

En el caso específico de Costa Rica, el informe de la OMS indica que en 2024, el 81% de la población tenía acceso a servicios de APGFS. Además, más del 99% de la población recibía agua por cañería y el 94% era abastecida con agua libre de contaminación fecal y de sustancias químicas tóxicas.

Es importante destacar la diferencia entre el 81% de acceso a APGFS y el 94% de agua libre de contaminantes. Esta diferencia radica en que el concepto de APGFS abarca, además de la calidad, la disponibilidad del agua cuando el usuario la necesita. Por ello, aunque varias comunidades en Costa Rica reciben agua de calidad potable, el servicio es discontinuo en muchas zonas del país. Ante estos datos, es importante recalcar, que Costa Rica ocupa posiciones de privilegio a nivel mundial; no obstante, para





hacer sostenible y mejorar lo alcanzado es necesario reiterar, que el agua potable es una vacuna social, al prevenir enfermedades infecciosas, por lo que es menester cumplir con los proyectos de inversión, para atender las necesidades al 2030, 2050 y más allá.

FUENTE OMS/ UNICEF

Situación del saneamiento y disposición de aguas residuales:

Informe OMS/UNICEF 2025: Avances en Agua Potable, Saneamiento e Higiene

En agosto del 2025, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y UNICEF presentaron el informe titulado "Avances en materia de agua potable, saneamiento e higiene: 2000-2024". Este documento pone especial énfasis en las desigualdades existentes en el acceso y la gestión de los servicios relacionados con el agua y el saneamiento a nivel global. Dentro de este contexto, se aborda la relevancia de la disposición de aguas residuales en Costa Rica, comparando su situación con la del resto del mundo.

La Escalera de Saneamiento: Conceptos Clave

Para facilitar la comprensión de los avances en saneamiento, la OMS definió la "Escalera de Saneamiento", que consta de cinco niveles o escalones:

- Defecación a cielo abierto (DACA): Consiste en la disposición de las heces humanas en espacios abiertos como campos, bosques, cuerpos de agua y playas, ante la ausencia de servicios sanitarios adecuados. La meta global establecida por la OMS para el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS6) es eliminar esta práctica para el año 2030.
- Sin Mejorar: Uso de letrinas de pozo sin losa, letrinas

colgantes o de cubo, que no garantizan condiciones higiénicas suficientes.

- Limitado: Instalaciones mejoradas que son compartidas entre varios hogares, lo que limita la privacidad y la higiene.
- Básico: Instalaciones mejoradas que no se comparten con otros hogares, brindando mayor seguridad sanitaria.
- Saneamiento Gestionado en forma Segura (SGEFS): Instalaciones mejoradas, privadas y gestionadas adecuadamente, donde los excrementos se eliminan de forma segura in situ o se retiran y tratan fuera del hogar mediante sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Avances Globales en Saneamiento

Al año 2024, el 58% de la población mundial –estimada en 8.200 millones de personas– utilizó servicios de Saneamiento Gestionado en forma Segura (SGEFS). La cobertura de SGEFS fue del 49% en zonas rurales y del 66% en áreas urbanas. Entre 2015 y 2024, 1.200 millones de personas lograron acceder a la disposición segura de excretas mediante SGEFS, con datos recopilados en 145 países que representan el 86% de la población mundial.

En total, 3.400 millones de personas obtuvieron acceso a una disposición segura de excretas con SGEFS. Sin embargo, para alcanzar la meta 6.2 de los ODS será necesario multiplicar por seis las tasas de progreso actuales. En cuanto a los servicios básicos de saneamiento –sin tratamiento–, la cobertura mundial pasó del 73% en 2015 al 82% en 2024, con una proyección de alcanzar el 89% en 2030. Es relevante destacar que en 2024 aún existían 429 millones de personas practicando la defecación a cielo abierto, con la expectativa de erradicar esta práctica para el 2030.

Situación de Costa Rica en la Disposición de Aguas Residuales

En Costa Rica, la evolución en la disposición de excretas no ha sido proporcional al avance en el suministro de agua potable. Aunque durante el inicio del siglo XX se realizaron esfuerzos gubernamentales para implementar sistemas de alcantarillado con tratamiento, los gobiernos posteriores optaron principalmente por el uso de tanques sépticos en la mayoría de los hogares.

Para el año 2024, los datos indican que el 74,5% de la población (aproximadamente 3.954.025 habitantes) disponía de excretas mediante tanques sépticos, el 17,6% (372.177 habitantes) contaba con alcantarillado con tratamiento o servicios de SGEFS, y un 0,8% (45.413 habitantes) utilizaba letrinas u otras formas de disposición. La defecación a cielo abierto solo afectaba al 0,1% de la población.

Estos datos reflejan que Costa Rica ha alcanzado una cobertura del 99% de su población con servicios de saneamiento básico. Sin embargo, el porcentaje de acceso a SGEFS es reducido, situándose en apenas 17,6%. Por lo tanto, el país se encuentra lejos de alcanzar las metas planteadas para el año 2030 en este indicador.

Ante esta realidad, se recomienda implementar de manera efectiva la “Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales: 2020-2045” para lograr avances sustanciales y sostenibles en el manejo seguro de las aguas residuales y el saneamiento, encaminando al país hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



CONFUSIONES EN LOS CONCEPTOS SOBRE AGUA POTABLE

Darner Adrián Mora Alvarado

Salubrista Público

En setiembre del 2015, en la Asamblea de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), con la asistencia de 193 representantes de los Estados, aprobaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con 17 objetivos, 169 metas, en donde en el ODS 6 "Agua Limpia y Saneamiento", en la meta 6.1 "De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos", concentrándose en el indicador 6.1.1 sobre los servicios de agua potable gestionados en forma segura (APGEFS), lo que implica agua de una fuente mejorada, disponible y libre de contaminación fecal y sustancias químicas tóxicas.

Asequible en donde el costo no debe impedir el acceso al servicio; accesible y razonablemente segura, incluyendo conexiones a la red pública (en viviendas, patio o parcela o grifo público) pozos protegidos, agua de lluvia captada, agua embotellada, agua de camiones cisterna, siempre y cuando el viaje es corto y la calidad confiable. No obstante, la aplicación de APGEFS (Agua Potable Gestionada En Forma Segura) ha generado confusiones. Para analizar estas dudas, en el 2024 y en el 2025, el suscrito, aprovechando los informes de "Avances en materia de agua potable, saneamiento e higiene: 2000-2022 y 2000-2024", ha elaborado dos estudios, titulados "Agua potable gestionada en forma segura en el mundo" y "Agua potable gestionada o no en forma segura en el mundo:2000-2024".

En el primer estudio publicado en el 2023, los resultados reportaron datos de cobertura con APGEFS en 131 naciones -sin contar con los áreas y territorios-, el 48,10% concordaron con las coberturas de servicios libres de contaminación fecal y sustancias químicas tóxicas; 51,90% presentaron coberturas superiores de agua libre de contaminación (fecal y química) pero lo más grave fue que al menos el 49% de naciones estudiadas no aportaron datos de APGEFS.

En el segundo estudio, elaborado en noviembre del 2025, con datos del informe de la OMS/UNICEF de agosto del mismo año, se estudiaron 160 países y territorios, en donde 30 naciones no aportaron datos (18,79%), 130 (81,25%) si aportaron datos de APGEFS; 62 (38,75%) presentaron datos inferiores entre APGEFS y Agua libre de contaminación fecal y sustancias químicas tóxicas y, en 68 naciones y territorios (42,50%), arrojaron datos semejantes entre ambos indicadores. Las conclusiones entre ambos estudios se comprueba una disminución del 49% al 30% entre los países que no aportaron datos de APGEFS, entre el primer y segundo estudio.

Las semejanzas entre APGEFS y agua libre de contaminación de un 48,10% bajo al 42,50%. En este orden, el 51,90% con coberturas de agua libre de contaminación bajó a 38,75% entre el primer y segundo estudio. En resumen, se percibe que el concepto APGEFS no ha sido asimilado en forma correcta en una importante porción de las naciones del mundo. En ese sentido, para efectos prácticos presento dos ejemplos: México con una cobertura de APGEFS de 43% y Agua libre de contaminación fecal y química también del 43%, en el 2024. Costa Rica con 81% de APGEFS y 94% de Agua libre de contaminación en el mismo periodo, demuestran que México con datos semejantes en ambos indicadores, posiblemente no esta aplicando correctamente el concepto APGEFS, mientras Costa Rica, si bien es cierto reporta datos diferentes entre ambos indicadores, corrobora que la cobertura de agua de calidad potable de un 94%, el 81% si esta gestionada en forma segura y, la diferencia entre los indicadores se fundamenta en que el 2024, al menos 6,990 sistemas suministraron agua en forma discontinua en el Área Metropolitana y otras zonas del país. Sin embargo, lo más preocupante es que muchas naciones no realizan el control de calidad de sus aguas para consumo humano.

PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN URBANIZACIONES DE CENTROAMÉRICA



INTRODUCCIÓN Urbanización rápida, servicios que no se adaptan

CENTROAMÉRICA EXPERIMENTA UNA URBANIZACIÓN ACELERADA Y FRAGMENTADA: NUEVOS CONDOMINIOS, RESIDENCIALES CERRADOS, LOTIFICACIONES Y BARRIOS PERIURBANOS CRECEN CON VELOCIDAD, MIENTRAS LOS SISTEMAS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO AVANZAN CON DIFICULTAD. AUNQUE LAS ESTADÍSTICAS MUESTRAN COBERTURAS URBANAS RELATIVAMENTE ALTAS, LA REALIDAD COTIDIANA EVIDENCIA INTERMITENCIA, BAJA PRESIÓN, CONTAMINACIÓN, FOSAS SÉPTICAS SATURADAS Y DESIGUALDAD DE SERVICIO ENTRE BARRIOS. EN ESTE ESCENARIO, LAS URBANIZACIONES CENTROAMERICANAS REPRESENTAN UN DESAFÍO URGENTE, PERO TAMBIÉN UNA OPORTUNIDAD ESTRATÉGICA PARA INNOVAR EN GESTIÓN, GOBERNANZA Y SOSTENIBILIDAD HÍDRICA.

Las ciudades de la región crecen más rápido que las redes. En muchas zonas, los desarrolladores avanzan sin que exista la capacidad técnica o financiera para integrar las nuevas urbanizaciones a los sistemas públicos. Esto da lugar a **micro-sistemas privados**, pozos internos, pequeñas redes o plantas compactas que funcionan sin estándares claros y con supervisión limitada. El resultado: un **paisaje urbano fragmentado**, donde coexisten condominios con sistemas modernos de agua y saneamiento junto a barrios cercanos que dependen de camiones cisterna o conexiones informales.

Cobertura aparente, calidad insuficiente

Aunque la mayoría de urbanizaciones reporta "agua por tubería", el servicio dista de ser continuo y seguro. Los problemas comunes incluyen:

- **Intermitencia:** agua solo algunas horas al día.
- **Baja presión:** imposible llenar tanques sin bombas domésticas.

- **Calidad dudosa:** riesgos de contaminación fecal por fallas en cloración o infiltración.
- **Falta de monitoreo:** muchos sistemas privados no realizan análisis periódicos.

El acceso "mejorado" no siempre equivale a un servicio gestionado de forma segura, como exige el ODS 6. Esta brecha técnica y social es uno de los grandes retos del sector.

El talón de Aquiles: saneamiento disperso y poco regulado

En gran parte de las urbanizaciones de clase media y media-baja, el saneamiento se resuelve con fosas sépticas individuales o compartidas, muchas veces sin diseño adecuado ni mantenimiento regular.

Esto genera:

- Descargas crudas a ríos y quebradas.
- Contaminación de acuíferos superficiales y pozos.
- Olores, inundaciones de aguas negras y riesgos sanitarios.

El alcantarillado urbano avanza lentamente, y las plantas de tratamiento municipales suelen ser insuficientes para cubrir la expansión urbana. El saneamiento "**invisible**" es hoy uno de los mayores desafíos ambientales de las ciudades centroamericanas.

Desigualdad dentro de la misma ciudad

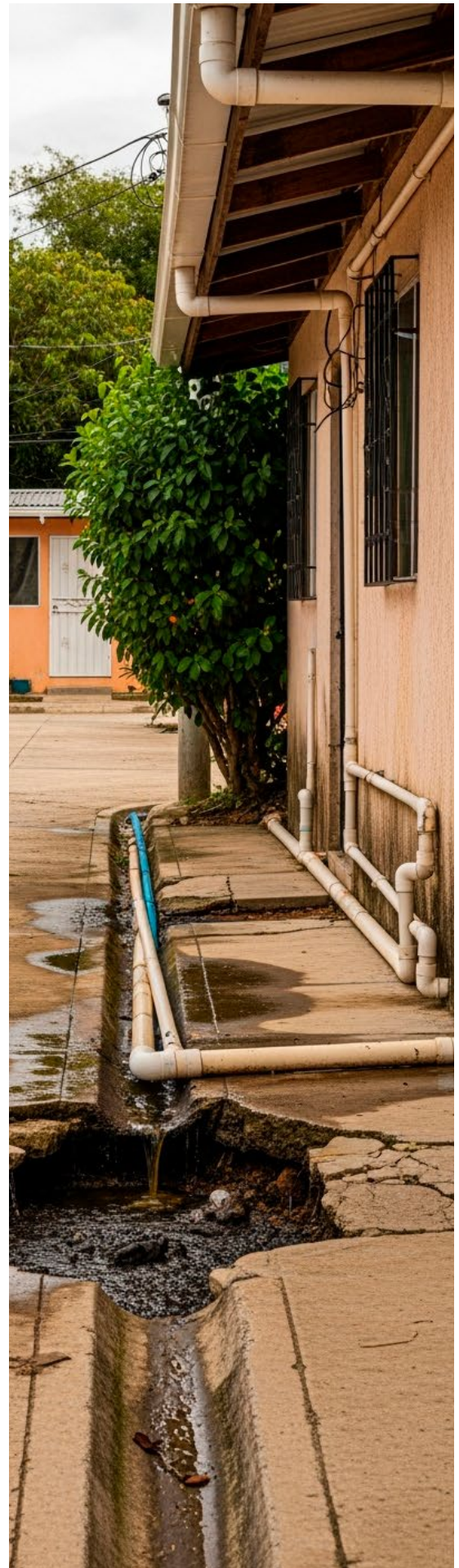
La brecha hídrica urbana es profunda. Mientras algunas urbanizaciones cerradas cuentan con:

- Pozo propio
- Cloración y monitoreo
- Pequeñas PTAR
- Sistemas de reutilización de aguas grises

en barrios vecinos, miles de familias dependen de:

- Puntos comunitarios
- Camiones cisterna
- Conexiones irregulares
- Baja presión y largos cortes

Las desigualdades de servicio dentro de la misma ciudad ponen en evidencia una región que aún avanza hacia la **equidad hídrica**, incluso en zonas urbanas consolidadas.





Gobernanza fragmentada y regulación débil

La coexistencia de prestadores públicos, privados, comunitarios y desarrolladores genera una gobernanza difícil. Entre los principales desafíos destacan:

- Regulaciones heterogéneas y poco exigentes para urbanizadores.
- Falta de supervisión técnica sobre pequeños sistemas privados.
- Escasez de incentivos para que los desarrolladores transfieran redes en buen estado al operador público.
- Instituciones fragmentadas con competencias superpuestas.

Sin una gobernanza integrada, la fragmentación del servicio tiende a empeorar con cada nueva urbanización.

Oportunidades: hacia urbanizaciones resilientes, eficientes y circulares

A pesar de los retos, las urbanizaciones ofrecen una plataforma ideal para innovar. Entre las principales oportunidades:

a) Planificación urbana con enfoque hídrico

Incluir desde el diseño requisitos obligatorios de:

- Agua potable continua
- Saneamiento seguro
- Drenaje sostenible
- Gestión pluvial
- Medición inteligente

La integración temprana reduce costos, mejora la eficiencia y previene problemas futuros.

b) Circularidad del agua

Las urbanizaciones pueden aplicar prácticas modernas de economía circular:

- Reúso de aguas grises en jardines
- PTAR modulares con agua para riego no potable
- Sistemas de infiltración y retención pluvial
- Pavimentos permeables y humedales artificiales

Estas soluciones reducen la presión sobre los sistemas municipi-

pales y aumentan la resiliencia climática.

c) Modelos de negocio claros, con participación privada regulada

Es posible mejorar el servicio mediante:

- Contratos donde el desarrollador construye infraestructura estándar y la transfiere al operador público.
- Operadores especializados en pequeñas redes.
- Esquemas tarifarios escalonados con subsidios focalizados.
- Incentivos para mantenimiento preventivo en sistemas privados.

d) Digitalización y transparencia

La adopción de tecnologías digitales permite:

- Telemetría y micromedición
- Detección temprana de fugas
- Monitoreo de cloro residual y calidad
- Aplicaciones ciudadanas para reportar fallas
- Gemelos digitales para planificar expansión urbana

e) Urbanizaciones resilientes ante el cambio climático

Con eventos extremos más frecuentes, las urbanizaciones pueden ser centros de resiliencia mediante:

- Captación de agua de lluvia
- Reducción de escorrentía con infraestructura verde
- Sistemas anti-inundación basados en la naturaleza
- Planes de contingencia frente a cortes prolongados

Recomendaciones para mejorar el servicio en urbanizaciones

1. **Actualizar normativas de urbanización y construcción** con criterios de agua y saneamiento seguros.
2. **Registrar y supervisar** pozos, plantas compactas y redes internas privadas.
3. **Integrar urbanizaciones** en los planes maestros de agua y alcantarillado.
4. **Promover alianzas público-privadas** para PTAR modulares, digitalización y drenaje sostenible.
5. **Capacitar a juntas de condóminos** en mantenimiento de redes, fosas sépticas y uso eficiente del agua.
6. **Crear indicadores de desempeño** específicos para urbanizaciones y residenciales.

Las urbanizaciones centroamericanas están en el punto crítico donde se define si las ciudades del futuro serán más fragmentadas o resilientes. Aunque enfrentan problemas severos –intermitencia, inequidad, saneamiento deficiente y falta de regulación– también representan una gran oportunidad para transformar el modo en que se diseñan, operan y gestionan los servicios de agua y saneamiento.

Si la región aprovecha estas oportunidades con planificación, innovación y gobernanza efectiva, las urbanizaciones pueden convertirse en modelos de sostenibilidad hídrica, demostrando que es posible ofrecer servicios seguros, continuos y resilientes para todos.

ENCUESTA: CONSUMO DE AGUA POTABLE

¿Qué tanto sabe sobre el consumo del agua potable? Especialista o no, el agua está en nuestras vidas desde que nacemos hasta que morimos y desde que nos despertamos hasta que nos dormimos.

Instrucciones:

Lee cada afirmación y selecciona la opción que consideres correcta:

Verdadero Falso

Al final de la edición de la revista se presentan los resultados para los interesados.

Sección 1: Conocimientos básicos

1. El agua potable es aquella que puede beberse sin riesgo para la salud.
 Verdadero Falso
2. El agua transparente y sin olor siempre es segura para el consumo humano.
 Verdadero Falso
3. Hervir el agua durante al menos un minuto elimina la mayoría de los microorganismos peligrosos.
 Verdadero Falso
4. El consumo de agua contaminada puede causar enfermedades diarreicas.
 Verdadero Falso
5. El cuerpo humano puede pasar varios días sin agua sin afectar la salud.
 Verdadero Falso

Sección 2: Agua y salud

6. Beber suficiente agua potable diariamente ayuda al buen funcionamiento de los riñones.
 Verdadero Falso
7. El agua potable solo se utiliza para beber y no para preparar alimentos.
 Verdadero Falso
8. Los niños, personas adultas mayores y mujeres embarazadas son más vulnerables a la falta de agua segura.
 Verdadero Falso
9. El cloro se utiliza en los sistemas de abastecimiento para eliminar microorganismos peligrosos.
 Verdadero Falso
10. El consumo adecuado de agua potable ayuda a prevenir la deshidratación.
 Verdadero Falso

Sección 3: Hábitos de consumo

11. Las bebidas azucaradas pueden sustituir completamente el consumo de agua potable.
 Verdadero Falso
12. Beber agua potable ayuda a regular la temperatura corporal.
 Verdadero Falso
13. Sentir sed es el único indicador confiable de que el cuerpo necesita agua.
 Verdadero Falso
14. Reutilizar envases limpios puede ser seguro para almacenar agua potable si se hace correctamente.
 Verdadero Falso

Sección 4: Agua potable y sociedad

15. El acceso al agua potable segura es un derecho humano reconocido internacionalmente.
 Verdadero Falso
16. El acceso a agua potable reduce los gastos familiares en atención médica.
 Verdadero Falso
17. La falta de agua potable afecta el rendimiento escolar y laboral.
 Verdadero Falso
18. El agua potable debe cumplir normas de calidad física, química y microbiológica.
 Verdadero Falso
19. El tratamiento del agua no es necesario si proviene de un río o manantial.
 Verdadero Falso
20. El cuidado del agua potable es responsabilidad exclusiva del gobierno.
 Verdadero Falso

▲ Respuestas |

1 V | 2 F | 3 V | 4 V | 5 F |
6 V | 7 F | 8 V | 9 V | 10 V |
11 F | 12 V | 13 F | 14 V |
15 V | 16 V | 17 V | 18 V | 19 F | 20 F



EL AGUA EN LA BOLSA DE VALORES: LA NUEVA FRONTERA DE LA INVERSIÓN GLOBAL

INTRODUCCIÓN ¿Qué significa que el agua esté en la bolsa?

EL AGUA, TRADICIONALMENTE VISTA COMO UN BIEN PÚBLICO ESENCIAL Y UN RECURSO NATURAL VITAL, SE HA CONVERTIDO EN UN SECTOR ESTRATÉGICO DE INVERSIÓN A ESCALA GLOBAL. LEJOS DE LA IDEA DE “VENDER AGUA”, EL MERCADO BURSÁTIL VINCULADO AL SECTOR HÍDRICO SE CENTRA EN TECNOLOGÍAS, INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS PÚBLICOS, TRATAMIENTO, INGENIERÍA Y SOLUCIONES DE EFICIENCIA, ELEMENTOS INDISPENSABLES PARA ENFRENTAR LA CRISIS MUNDIAL DEL AGUA. EN ESTE ARTÍCULO EXPLORAMOS CÓMO SE INVIERTE EN AGUA EN LAS BOLSAS DEL MUNDO, CUÁLES SON LAS EMPRESAS CLAVE, LOS RIESGOS, LAS OPORTUNIDADES Y POR QUÉ ESTE SECTOR ESTÁ GANANDO PROTAGONISMO EN EL ESCENARIO FINANCIERO INTERNACIONAL.

El agua como recurso natural **no se vende en la bolsa, pero las empresas que la gestionan sí.** Se trata de compañías dedicadas a:

- Abastecimiento de agua potable
- Tratamiento y saneamiento
- Tecnologías hídricas (filtración, sensores, IoT, digitalización)
- Reuso y desalación
- Construcción y operación de infraestructura
- Servicios ambientales vinculados al agua

Los inversionistas acceden a este sector a través de **acciones directas, índices temáticos y ETFs especializados**, que agrupan a empresas del mundo hídrico bajo un portafolio diversificado.

Los principales índices del agua en el mundo

El mercado financiero ha creado indicadores específicos que miden el comportamiento de las empresas del sector hídrico.

El más influyente es:

• S&P Global Water Index

Agrupar a más de 100 compañías globales líderes en tecnología, infraestructura y servicios del agua. Este índice permite visualizar la salud y tendencias del negocio hídrico a nivel mundial y es la referencia para inversionistas institucionales.

Otros indicadores, como el **NASDAQ OMX Global Water** y el **Dow Jones Water Index**, también monitorean el desempeño de este sector creciente.

Las grandes compañías del agua que cotizan en bolsa

Entre las empresas más destacadas se encuentran:

• Xylem Inc. (Estados Unidos)

Líder mundial en tecnologías del agua: bombeo, tratamiento, sensores y digitalización de redes.

• Veolia Environnement (Francia)

Gigante global de servicios ambientales, con fuerte presencia en tratamiento de agua y saneamiento.

• Severn Trent (Reino Unido)

Una de las principales empresas de agua potable y drenaje en Europa, regulada pero estable.

• Pennon Group (Reino Unido)

Operador de agua y residuos con alto foco en eficiencia y sostenibilidad.

Estas compañías muestran que el "sector hídrico" es diverso y abarca tecnología, ingeniería, operación de servicios públicos y gestión ambiental.

¿Cómo invierten los mercados en agua?

a) Acciones directas

Comprando títulos de empresas como Xylem, Veolia o Severn Trent.

b) ETFs y fondos temáticos

Fondos que siguen índices como el S&P Global Water Index, permitiendo invertir en 50 a 100 empresas del agua de forma diversificada.

c) Fondos sostenibles (ESG)

El agua es hoy uno de los ejes más fuertes de inversión ESG, lo que atrae capital de fondos verdes, fondos climáticos y banca de impacto.

Oportunidades del sector hídrico global

1. Demanda estructural en aumento

Urbanización, escasez de agua, cambio climático y fallas en infraestructura generan una demanda imparable de plantas de tratamiento, redes inteligentes y tecnologías de eficiencia.

2. Expansión de la tecnología del agua

Filtración avanzada, reuso potable directo, desalación, inteligencia artificial para redes y sensores IoT están revolucionando el sector.



3. Auge de la inversión sostenible

Cada vez más inversionistas institucionales buscan empresas con impacto ambiental positivo y el agua es el eje de muchas carteras ESG.

4. Crecimiento en mercados emergentes

América Latina, el Caribe y Asia-Pacífico requieren inversiones masivas en agua potable y saneamiento, lo que abre oportunidades para empresas globales y locales.

Riesgos y desafíos del negocio bursátil del agua

• Regulación estricta

Las empresas de agua suelen ser altamente reguladas, lo que puede limitar tarifas y márgenes.

• Crecimiento moderado en servicios públicos tradicionales

Muchas utilities de agua crecen lentamente; el mayor dinamismo está en tecnología y tratamiento.

• Costos de capital elevados

Las inversiones en infraestructura hídrica son intensivas y sus retornos tardan en materializarse.

• Riesgos climáticos y reputacionales

Cortes de agua, fallas sanitarias o episodios de contaminación pueden impactar seriamente en la cotización de una empresa.

¿Y América Latina? ¿Hacia dónde se mueve la región?

Aunque todavía pocas empresas latinoamericanas cotizan en el sector hídrico, hay una tendencia clara:

- Gran necesidad de **modernizar redes urbanas** y plantas de tratamiento.
- Interés de empresas internacionales en mercados como Brasil, México, Chile, Colombia y Perú.

- Aparición de compañías tecnológicas locales con potencial de crecimiento.
- Proyectos de inversión mixta y APPs que podrían abrir la puerta a más empresas cotizadas.


Para inversionistas globales, América Latina es un mercado de alto potencial, alto impacto ambiental y social, aunque con riesgos regulatorios y de infraestructura.

El agua en la bolsa no es la "venta del agua" sino la capitalización financiera de las soluciones que mantienen el ciclo urbano del agua funcionando: tratamiento, distribución, reutilización, tecnología, medición inteligente y sostenibilidad.

En un planeta marcado por la crisis hídrica, invertir en empresas del agua se ha convertido en una apuesta estratégica: estable, necesaria y con alto potencial de crecimiento tecnológico.

Para 2026 y más allá, el sector hídrico seguirá siendo un pilar de la inversión sostenible, un motor de innovación y un punto de encuentro entre finanzas, ambiente y desarrollo humano.





EL USO DE TIKTOK COMO HERRAMIENTA DE COMUNICACIÓN, EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN SOCIAL EN EL SECTOR AGUA (2025)

Resumen

TikTok se ha consolidado como una de las plataformas de comunicación digital más influyentes del mundo, con más de 1.8 mil millones de usuarios activos mensuales. Su algoritmo de recomendación y su capacidad para generar atención sostenida lo han convertido en un medio estratégico para la divulgación científica, la educación ambiental y la comunicación en el sector agua. Este artículo analiza el potencial, limitaciones y oportunidades del uso de TikTok para promover la gestión integrada de los recursos hídricos, el saneamiento, el cambio climático y la cultura del agua. Asimismo, se discuten lineamientos metodológicos para instituciones públicas, operadores de agua, ONG y proyectos de cooperación en América Latina que buscan fortalecer su comunicación con audiencias jóvenes y diversas.

1. Introducción

La gestión hídrica enfrenta desafíos crecientes en el contexto de la urbanización acelerada, el estrés hídrico, los eventos climáticos extremos y las brechas persistentes de acceso al agua potable y saneamien-

to en América Latina. En paralelo, las dinámicas de información han cambiado radicalmente: el 70% de los jóvenes entre 16 y 24 años utiliza redes sociales como fuente principal de conocimiento, y TikTok se posiciona como la plataforma dominante tanto en alcance como en influencia.

La irrupción de TikTok como espacio de educación informal –denominado EduTok– representa una oportunidad inédita para comunicar conceptos técnicos sobre agua, saneamiento y cambio climático de manera accesible, emocionalmente potente y culturalmente contextualizada. A diferencia de redes tradicionales, TikTok opera sobre un modelo algorítmico que privilegia el valor del contenido por encima del número de seguidores, permitiendo que mensajes de interés público alcancen audiencias masivas con costos relativamente bajos.

Este artículo plantea un análisis académico del uso de TikTok como herramienta emergente para fortalecer la gobernanza del agua mediante comunicación transmedia y estrategias de alfabetización hídrica.

2. Metodología

El análisis se estructura a partir de:

1. Revisión bibliográfica sobre comunicación digital, redes sociales y educación ambiental (2021–2025).
2. Observación de tendencias de TikTok vinculadas a temas de agua, saneamiento, clima, infraestructura y divulgación científica en América, Europa y Asia.
3. Comparación con estudios de la OMS, OPS, ONU-Agua, UNESCO y BID, sobre participación social y comunicación de riesgos.
4. Aplicación del enfoque de Gobernanza del Agua de la OCDE, con énfasis en transparencia, involucramiento y efectividad comunicativa.
5. Análisis algorítmico-teórico del FYP como dispositivo de mediación cultural e informacional.

3. Resultados y análisis

3.1 TikTok como ecosistema de comunicación hídrica

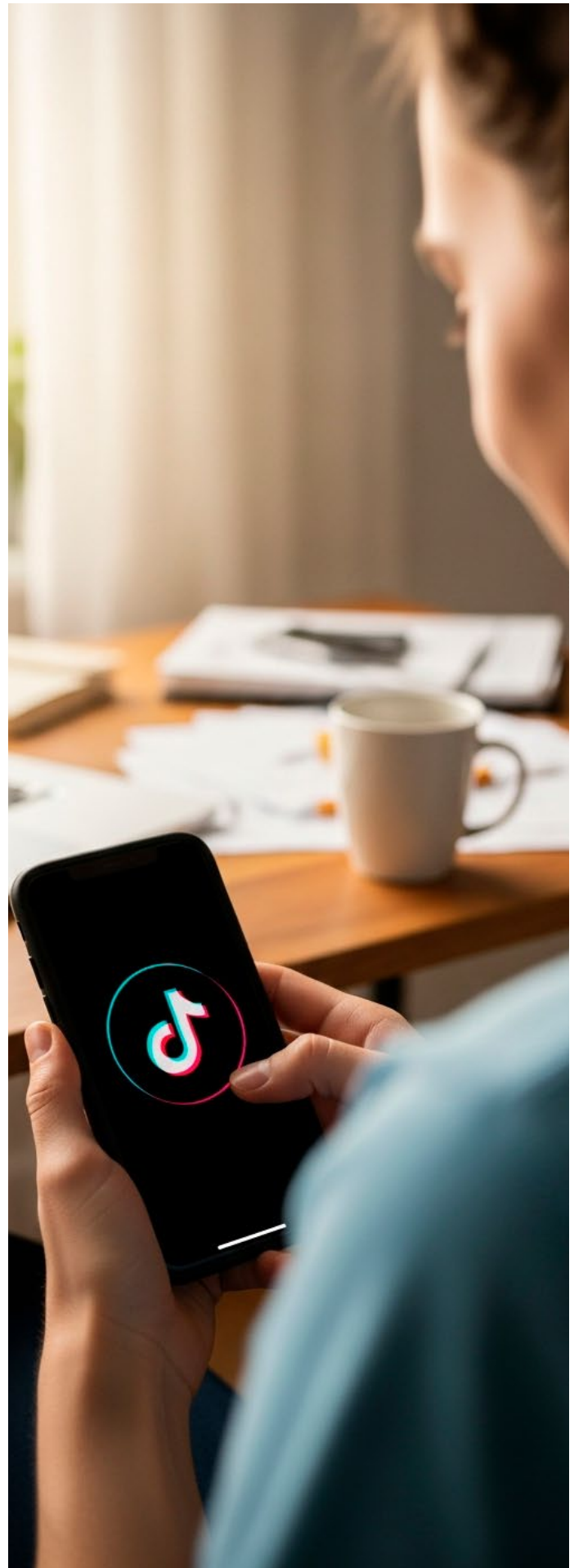
TikTok ha dejado de ser una plataforma de entretenimiento para convertirse en un espacio de aprendizaje rápido, donde millones de usuarios consumen contenidos educativos cortos, testimonios, procesos técnicos y narrativas ambientales. Para el sector agua, esto se traduce en:

- Mayor visibilidad de problemáticas locales (fugas, escasez, contaminación, sequías).
- Potencial para explicar procesos complejos: potabilización, tratamiento, distribución, ANF, calidad del agua, acuíferos.
- Incremento de la participación comunitaria en torno al monitoreo del recurso.
- Sensibilización sobre eficiencia hídrica, reutilización y cambio climático.

3.2 Funcionamiento algorítmico y su relevancia estratégica

El algoritmo de recomendación de TikTok (For You Page, FYP) prioriza:

- Retención del video, repetición y tiempo de visualización.



- Interacciones significativas: comentar, compartir, guardar.
- Relevancia geográfica y cultural.
- Reconocimiento semántico mediante IA: voz, texto en pantalla, objetos, escenarios.

Para temas de agua, esto significa que videos didácticos sobre captación, análisis de calidad o infraestructura hídrica pueden volverse virales independientemente del tamaño de la institución.

3.3 Temáticas hídricas con mayor impacto en TikTok

Entre 2022 y 2025, los contenidos sobre agua que registran mayor alcance incluyen:

- Historias personales relacionadas con acceso al agua.
- Explicaciones visuales de procesos de potabilización y saneamiento.
- Demostraciones de tecnologías apropiadas o innovaciones (filtración, captación de lluvia, ósmosis inversa, PTAR).
- Divulgación científica sobre eventos climáticos, mega sequías o inundaciones.
- Alertas comunitarias y respuestas rápidas ante emergencias.
- Contenido turístico o cultural alrededor de cuerpos de agua y patrimonio hídrico.

En América Latina, el contenido vinculado a agua para consumo humano, lagos y ríos emblemáticos (Nicaragua, México, Perú), y proyectos de saneamiento muestra alta viralidad.

3.4 Riesgos y limitaciones

Aunque TikTok es una herramienta poderosa, presenta desafíos:

- Propagación de desinformación técnica sobre calidad del agua o salud pública.
- Burbujas informativas que limitan el debate crítico.
- Riesgo de sensacionalismo ambiental para obtener interacciones.
- Dificultades en garantizar rigurosidad científica en formatos de 15–30 segundos.

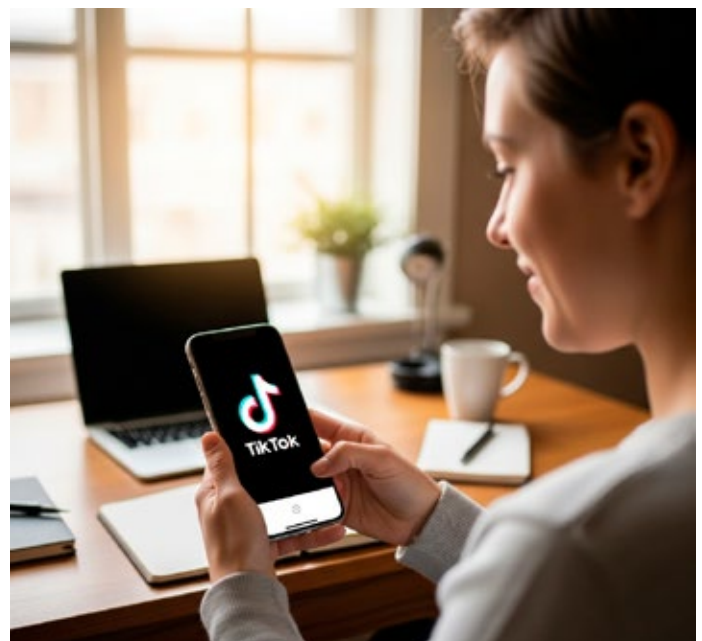
- Alto nivel de exposición de menores de edad a contenidos sensibles.

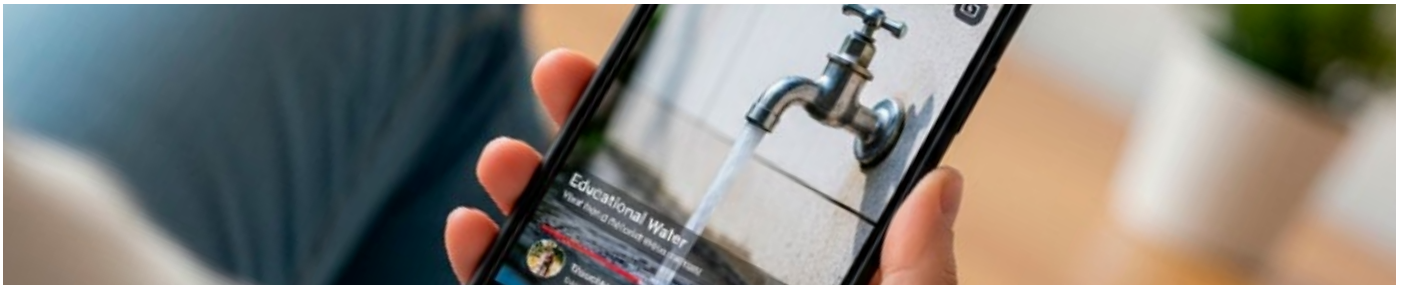
Estos riesgos obligan a que las instituciones del agua adopten estrategias de verificación, narrativa responsable y producción ética de contenido.

3.5 Beneficios para la educación y gobernanza del agua

TikTok puede fortalecer la alfabetización hídrica mediante:

1. Aprendizaje microsegmentado: conceptos complejos explicados en cápsulas breves.
2. Comunicación de riesgo efectivo durante huracanes, tormentas, inundaciones o cortes de servicio.
3. Participación ciudadana en reportes de fugas, denuncias y observación ambiental.
4. Humanización del operador: mostrar equipos, ingenieros, procesos y laboratorios.
5. Atracción de talento joven al sector agua, mostrando su relevancia social.
6. Difusión de políticas públicas, metas ODS 6 y avances institucionales.





4. Discusión

El impacto de TikTok en la comunicación hídrica debe interpretarse bajo marcos de gobernanza, educación ambiental y estudios culturales de la tecnología. Su capacidad para moldear percepciones y comportamientos lo convierte en un actor central del ecosistema informacional contemporáneo.

Sin embargo, el reto principal reside en traducir conocimiento técnico en narrativas accesibles sin perder rigor. Esto implica la adopción de metodologías comunicativas basadas en:

- Storytelling científico.
- Visualización clara de procesos.
- Uso de subtítulos y lenguaje inclusivo.
- Adaptación de tendencias sin trivializar temas críticos.
- Evaluación continua de métricas de impacto.

Instituciones como CONAGUA, ANA (Perú), AySA (Argentina) y organismos multilaterales pueden utilizar TikTok para elevar el nivel de conciencia pública sobre el recurso hídrico, reducir brechas informativas y promover una cultura de corresponsabilidad.

5. Conclusiones

TikTok se ha consolidado como una herramienta estratégica para la educación, comunicación y participación ciudadana en el sector agua. Su modelo algorítmico democratiza el acceso a la divulgación científica y permite alcanzar audiencias jóvenes, multilingües y diversas. Aunque existen riesgos asociados a la desinformación y la superficialidad, el potencial educativo y social de TikTok es significativo si se aplica de manera consciente y ética.

La gestión del agua en el siglo XXI requiere no solo infraestructura y financiamiento, sino también una narrativa poderosa capaz de conectar emocional e intelectualmente con la ciudadanía. TikTok ofrece ese puente.

6. Recomendaciones para el sector hídrico

1. Crear series de videos educativos ("El agua en 30 segundos", "Cómo funciona una PTAR").
2. Capacitar equipos de comunicación en storytelling técnico y análisis algorítmico.
3. Establecer protocolos para verificar datos antes de publicar.
4. Integrar TikTok en estrategias de educación ambiental escolar y comunitaria.
5. Medir indicadores de impacto (retención, comentarios, guardados, alcance local).
6. Colaborar con creadores de contenido que aborden ciencia, salud y medio ambiente.

7. Referencias

- UNESCO (2024). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos.
- ONU-Agua (2023–2025). Water Action Agenda.
- OCDE (2022). Principios de Gobernanza del Agua.
- OPS/OMS (2024). Comunicación de riesgos para agua y saneamiento en emergencias.
- TikTok Research (2024). Global Trends Report.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2023–2025). Estudios de modernización del sector agua.
- Sundar, S. (2024). Short-form video as educational media. *Journal of Digital Learning*.



LA ROMA IMPERIAL Y EL ARTE DE DRENAR LA CIUDAD: EL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS SERVIDAS QUE REVOLUCIONÓ LA INGENIERÍA SANITARIA

CLOACAS MONUMENTALES, ACUEDUCTOS INTELIGENTES Y NORMAS CÍVICAS HICIERON DE ROMA LA PRIMERA SUPERPOTENCIA DEL SANEAMIENTO URBANO.

Hablar del esplendor de la Roma imperial suele llevarnos a pensar en sus foros majestuosos, sus termas, sus anfiteatros y su ejército invencible. Sin embargo, gran parte del poder y longevidad de la civilización romana se sostuvo sobre una infraestructura mucho menos visible: **el sistema de evacuación de aguas servidas**, una auténtica revolución sanitaria y urbana sin precedentes en la Antigüedad.

Mientras otras ciudades del mundo antiguo luchaban contra enfermedades producidas por aguas estancadas, malos olores y contaminación, Roma desarrolló un **sistema cloacal complejo, duradero y eficiente**, que permitió a más de un millón de habitantes convivir en un entorno saludable y técnicamente avanzado.

Cloaca Máxima: el corazón del drenaje romano

El símbolo máximo de la ingeniería sanitaria romana es la Cloaca Máxima, uno de los sistemas de alcantarillado más antiguos del mundo aún en funcionamiento parcial.

Origen y función

- Construida inicialmente en el siglo VI a. C. bajo el reinado de Tarquinio Prisco.

- Creada para **drenar pantanos** entre colinas y permitir el desarrollo urbano del Foro Romano.
- Con el tiempo, se transformó en la **columna vertebral del sistema cloacal** de la ciudad.

La ingeniería romana la amplió y la reforzó con **grandes bloques de toba y tufo**, convirtiéndola en un túnel resistente a crecidas del Tíber y al uso constante.

Su función principal era transportar aguas residuales domésticas, aguas servidas de baños públicos, aguas pluviales y filtraciones subterráneas hacia el río Tíber.

Una red cloacal extensa, estructurada y jerárquica

La Cloaca Máxima era solo la arteria principal. A ella desembocaban **cientos de cloacas secundarias y terciarias**, construidas con:

- ladrillo cocido,
- piedra tallada,
- opus caementicium (hormigón romano),
- canalizaciones de cerámica.

Esta red estaba tan bien planificada que:

- seguía la inclinación natural de las siete colinas,
 - aprovechaba la gravedad para asegurar el flujo,
 - usaba arcos y bóvedas para resistir presión y erosión,
 - permitía inspección y limpieza a través de accesos subterráneos.
- Los **curatores**, ingenieros-administradores, coordinaban inspecciones y reparaciones.
 - Los **esclavos públicos** y trabajadores especializados realizaban labores de limpieza.

Este nivel de organización, para una ciudad antigua,

Muchos tramos eran lo suficientemente altos como para que un hombre pudiera caminar dentro, lo cual facilitaba el mantenimiento, un aspecto muy valorado por los curatores cloacarum, funcionarios responsables de las cloacas.

Baños, letrinas y cultura del agua: Roma como ciudad higiénica

Roma poseía una cultura urbana basada en el agua:

• Letrinas públicas y privadas

Las letrinas comunales podían tener decenas de asientos de mármol alineados, con un flujo constante de agua bajo ellos que transportaba los residuos hacia las cloacas.

• Termas y baños públicos

Las aguas residuales de las termas –calientes, jabonosas y abundantes– servían para **arrastrar sedimentos** dentro de la red cloacal, actuando como un mecanismo de limpieza periódica.

• Fuentes y acueductos

Gracias a los acueductos, Roma tenía una constante circulación de agua. Esta renovación continua evitaba aguas estancadas, reducía olores y favorecía la salud pública.

Normas, mantenimiento y gestión pública

Una innovación notable fue que Roma institucionalizó la gestión del saneamiento.

- Los **edictos** prohibían verter basura en las cloacas o bloquearlas.
- Existían impuestos y sanciones para quienes contaminaran el sistema.



fue extraordinario. Otros pueblos de la época no contaban ni siquiera con drenajes básicos.

Impacto en la salud pública y en la vida cotidiana

Gracias a su sistema cloacal, Roma logró:

- limitar enfermedades transmitidas por aguas contaminadas,
- eliminar aguas estancadas que atraían insectos y peste,
- mantener un entorno urbano limpio y habitable,
- permitir densidades poblacionales inéditas para la época,
- garantizar que las actividades domésticas y comerciales funcionaran sin interrupciones.

No es casualidad que Roma fuera llamada “**la ciudad del agua**”.

Innovación para su tiempo: un sistema comparable a ciudades modernas

Lo más sorprendente de las cloacas romanas es que muchos de sus principios son idénticos a los que hoy rigen la ingeniería sanitaria:

- **Pendientes calculadas** para asegurar flujo constante.
- **Uso de materiales resistentes** a químicos y abrasión.
- **Accesos para mantenimiento.**
- **Integración con drenaje pluvial.**
- **Vertimiento final en un cuerpo receptor** (el Tíber).
-

Aunque hoy contamos con plantas de tratamiento y normas ambientales que los romanos no tenían, la **base conceptual** de un sistema de alcantarillado moderno ya estaba presente hace 2.000 años.

El legado de Roma: ingeniería que perdura

Aún hoy, partes de la Cloaca Máxima siguen funcionando. Esta durabilidad demuestra:

- la calidad de la ingeniería romana,

- la sofisticación de sus cálculos estructurales,
- la relevancia de su visión urbanística,
- y la importancia que daban a la salud pública.

Roma entendió que sin saneamiento no hay ciudad, una lección que muchas urbes modernas todavía no han asimilado.

Bajo las calles de Roma nació el saneamiento moderno

La Roma imperial no solo construyó caminos, anfiteatros y acueductos; construyó **infraestructura sanitaria inteligente**, adelantada a su tiempo por siglos. Su sistema de evacuación de aguas servidas permitió que una de las ciudades más grandes de la historia antigua prosperara, creciera y mantuviera niveles de salubridad que otras civilizaciones tardarían mil años en alcanzar.

En un mundo donde aún 3.600 millones de personas carecen de saneamiento seguro, mirar hacia la Roma imperial no es un ejercicio arqueológico, sino un recordatorio de que el **saneamiento es civilización, salud y futuro**.





BAIKAL: EL ABISMO AZUL QUE GUARDA UN CUARTO DEL AGUA DULCE DEL PLANETA

Con 25 millones de años de historia y profundidades que superan los 1.600 metros, el Lago Baikal es el archivo líquido de la Tierra: un ecosistema único, sagrado y hoy bajo amenaza.

En el corazón helado de Siberia, entre montañas de taiga y respiraciones de viento polar, se abre un espejo azul profundo que parece conectado al origen del mundo. Es el **Lago Baikal**, el más antiguo y el más profundo del planeta: una grieta en la corteza terrestre que comenzó a formarse hace **25 millones de años** y que, desde entonces, guarda silenciosamente secretos geológicos, biológicos y culturales como ningún otro cuerpo de agua en la Tierra.

Con una profundidad máxima de **1.642 metros** y una cuenca que sigue expandiéndose, Baikal no es solo un lago: es un **abismo vivo**, una cápsula del tiempo y una de las mayores reservas de agua dulce del planeta.

Un coloso azul: la mayor reserva de agua dulce líquida del planeta

El Baikal contiene aproximadamente **el 20% de toda el agua dulce no congelada del planeta Tierra**. Su volumen es tan extraordinario que, según estimaciones científicas, podría abastecer a la humanidad durante décadas si todas las demás fuentes se agotaran.

Su extensión supera los 31.000 km², un tamaño comparable al de Bélgica, una inmensidad que se pierde entre cordilleras nevadas y bosques de coníferas que respiran a su ritmo.

Una falla tectónica activa –parte del Rift Baikal, uno de los pocos sistemas de rift continentales en desarrollo– sigue hundiendo lentamente su cuenca. Por eso los científicos consideran que Baikal es, en realidad, el océano del futuro, un mar que aún está en gestación geológica.

Un laboratorio viviente: el 80% de sus especies no existen en ningún otro lugar

Baikal es un paraíso biológico. Sus aguas frías, profundamente oxigenadas y aisladas durante millones de años permitieron la evolución de una biodiversidad única:

- **La foca nerpa**

La única foca de agua dulce del planeta. Su presencia sigue sorprendiendo a los investigadores: ¿llegó desde el Ártico durante una glaciación? ¿O evolucionó localmente? El misterio persiste.

- **Los golomyankas**

Peces transparentes que viven a gran profundidad y dan crías vivas, una rareza evolutiva en ecosistemas lacustres.

- **Más de 2.500 especies únicas**

El 80% no existe en ninguna otra parte de la Tierra, incluyendo esponjas verdosas que filtran el agua y crustáceos diminutos que mantienen su transparencia legendaria.

Estos seres componen un ecosistema endémico tan delicado que cualquier cambio en la temperatura, contaminación o presión turística podría resultar irreversible.

Un lago sagrado: el "ojo azul de Siberia"

Para los pueblos buriatos y otras comunidades indígenas, Baikal no es un lago: es un espíritu ancestral, un ser vivo que observa y respira. Su nombre aparece en cantos chamánicos, leyendas sobre su profundidad infinita y rituales que buscan equilibrar la relación entre humanos y naturaleza.

La cultura local lo llama:

- "El Ojo Azul de Siberia"
- "El Mar Sagrado"
- "La Perla de Asia"

Durante el invierno, cuando la superficie se congela hasta más de un metro de espesor, el hielo se vuelve tan transparente que se ven burbujas atrapadas, grietas azules y fracturas que parecen cortes en el tiempo. Esta escena, casi irreal, es hoy uno de los paisajes más fotografiados de Rusia.



Memoria líquida del planeta: un archivo del pasado y una ventana al futuro

Baikal conserva en sus sedimentos un registro climático continuo de millones de años. Es, literalmente, una base de datos natural sobre:

- cambios de temperatura,
- variaciones atmosféricas,
- actividad tectónica,
- evolución de especies,
- eventos glaciares y volcánicos.

Por eso los científicos consideran al lago como una de las claves para comprender la historia climática de la Tierra y prever escenarios futuros.

5. Amenazas modernas: el gigante que resiste

A pesar de su tamaño, Baikal es frágil. Hoy enfrenta amenazas complejas:

- **Contaminación industrial**

Descargas históricas de celulosas y desarrollo urbano en sus márgenes.

- **Turismo masivo**

Crecimiento sin control de hoteles y embarcaciones.

- **Cambio climático**

El hielo invernal se forma más tarde y se derrite antes; aparecen algas invasoras; aumenta la temperatura superficial.

Aun así, Baikal resiste. Su inmensidad, su profundidad y su poder de regeneración lo mantienen como uno de los ecosistemas de agua dulce más puros del planeta, aunque cada año su equilibrio es más vulnerable.

Baikal es el espejo donde la Tierra guarda su alma

El Lago Baikal es mucho más que un dato geográfico o una curiosidad científica. Es:

- Un archivo profundo de la historia planetaria.
- Un monumento natural a la evolución biológica.
- Un santuario cultural para los pueblos siberianos.
- Una reserva vital de agua dulce para el futuro de la humanidad.

En tiempos de crisis climática y degradación ambiental, Baikal nos recuerda que la naturaleza es un legado irremplazable, y que protegerla es una obligación ética hacia las generaciones venideras.

Mientras sus aguas sigan siendo un abismo transparente, el planeta conservará –al menos en un rincón remoto de Siberia– un reflejo intacto de sí mismo.



Lago Baikal: la joya azul de Siberia



LA DEUDA INVISIBLE DEL AGUA: EL COSTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE VIVIR SIN SERVICIOS FORMALES EN LOS BARRIOS POPULARES DE ARGENTINA



Tomado del artículo con el mismo título elaborado por:

María Eva KOUTSOVITIS¹, Matías GOYENECHÉ²

¹ Departamento de Hidráulica e Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Cátedra de Ingeniería Comunitaria de la UBA, Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria (AIDIS), Argentina, ekoutsovitis@fi.uba.ar.

² Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Cátedra de Ingeniería Comunitaria de la UBA, Argentina, matiasgoyeneche@gmail.com.

Artículo original: "Análisis de la erogación económica familiar como consecuencia de la falta de acceso al agua y al saneamiento en barrios populares de la Argentina."

Más de 5 millones de personas habitan en barrios populares en Argentina, donde el 86% carece de acceso formal al agua potable y el 97% no cuenta con saneamiento cloacal. Esta exclusión histórica obliga a las familias a cubrir por su cuenta necesidades esenciales mediante la compra de agua envasada o el mantenimiento de pozos ciegos.

Un estudio reciente realizado en ocho barrios populares de las ciudades de Resistencia (Chaco) y Santa Fe (Santa Fe) revela que esta precariedad representa una erogación económica mensual equivalente a USD 8,50 y USD 9,70, respectivamente, es decir, entre el 2,3% y el 2,9% del ingreso familiar mensual.

Los resultados subrayan la urgencia de implementar políticas de integración socio-urbana y expansión del saneamiento básico como estrategia de equidad, salud pública y justicia territorial.

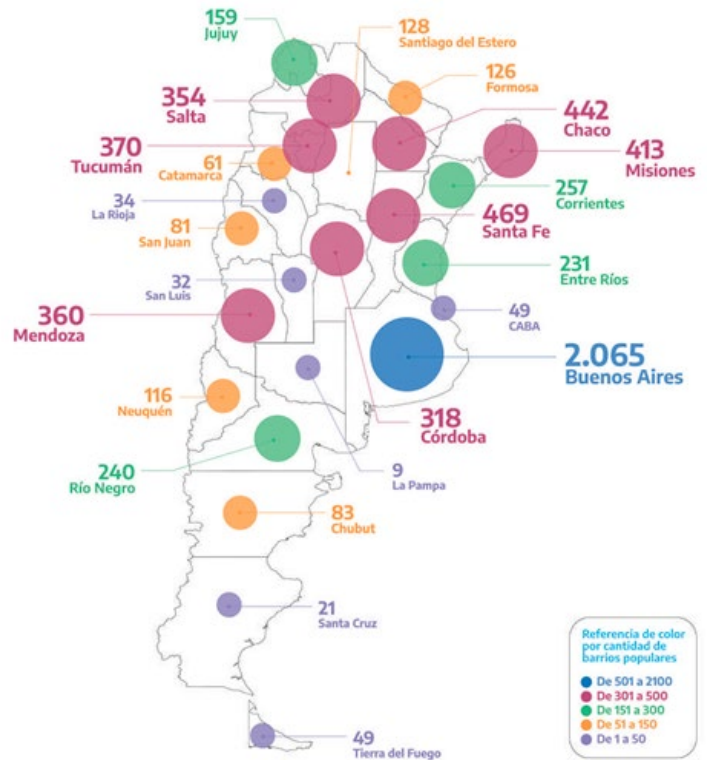


La expansión de la ciudad informal y el desafío del agua

El crecimiento demográfico urbano en América Latina ha intensificado la expansión de ciudades informales carentes de infraestructura básica. En Argentina, pese a los avances globales en cobertura urbana (88% en agua y 63% en cloacas), la desigualdad se profundiza dentro de los 6.467 barrios populares registrados por RENABAP.

En estos territorios, solo el 14% accede formalmente al agua potable y solo el 3% dispone de desagües cloacales, lo que refleja una brecha estructural que impacta en la salud, la equidad de género, el ingreso familiar y la esperanza de vida.

6.467 Barrios Populares



Objetivo del estudio

El trabajo de Koutsovitits y Goyeneche tiene un propósito claro: Medir cuánto cuesta para una familia vivir sin agua y saneamiento formal.

Para ello, se estimaron:

- Los ingresos medios mensuales familiares,
- Los gastos asociados a suplir la falta de servicios (compra de agua, vaciado de pozos ciegos),
- Y el porcentaje del ingreso destinado a estas prácticas de supervivencia.

Además, se aplicó una encuesta sociosanitaria y se construyeron cinco indicadores de calidad del servicio que permiten caracterizar integralmente la situación de cada barrio.

Metodología: un enfoque territorial y comunitario

El estudio se desarrolló durante 2023 en los barrios:

Resistencia (Chaco)

Primavera, Niño Jesús, Vista Linda II, Juan José del Valle.

Santa Fe (Santa Fe)

Candioti Norte, Las Delicias, Transporte, San José (sector consolidado y no consolidado).

La investigación combinó:

- Relevamientos físicos de infraestructura urbana y sanitaria,
- Encuestas familiares (10% de viviendas por barrio),
- Mediciones in situ de parámetros fisicoquímicos del agua,
- Estimación de presiones de red,
- Construcción de indicadores de calidad, formalidad, infraestructura interna, género y ambiente, con valores entre 0 y 10.

Esta aproximación integral permite observar no solo el acceso físico, sino sus impactos sociales, económicos y ambientales.



Componente	Descripción	Ponderación
Indicador I1: Calidad del Servicio		
I11	Continuidad del servicio: % de hogares que refieren contar con presión y cantidad de agua en forma permanente.	3 puntos
I12	Calidad del agua recibida: % de hogares que refieren que el agua recibida NO presenta características organolépticas alteradas	3 puntos
I13	Control del servicio: % de hogares que indican conocer si algún organismo controla periódicamente la calidad del agua de consumo	2 puntos
I14	Confiabilidad en el agua recibida: % de hogares que refieren NO comprar agua envasada NI tomar medidas para beber el agua de red.	2 puntos
Indicador I2: Formalidad del Servicio		
I21	Conexión a Red de empresa prestadora: % de hogares que refieren estar conectados a la red de la empresa prestadora.	4 puntos
I22	Ejecución de la conexión: % de hogares que refieren haber sido conectados por la empresa prestadora.	3 puntos
I23	Facturación actual del servicio: % de hogares que indican recibir actualmente la factura de la empresa prestadora por el servicio.	2 puntos
I24	Facturación eventual del servicio o contacto con la prestadora: % de hogares que indican haber recibido en el pasado la factura de la empresa prestadora por el servicio, o tener o haber tenido algún contacto con la empresa prestadora referente al servicio.	1 punto
Indicador I3: Infraestructura Interna y Factibilidad de Conexión Futura		
I31	Canilla interna: % de hogares que refieren contar con al menos una canilla en el interior de la vivienda.	3 puntos
I32	Baño interno: % de hogares que refieren tener baño al interior de la vivienda.	3 puntos
I33	Baño completo: % de hogares que refieren tener baño con inodoro, ducha y lavatorio.	2 puntos
I34	Facilidad de conexión cloacal futura: % de hogares que indican tener el pozo ciego en la parte delantera de la vivienda o terreno, para una eventual futura conexión a la red cloacal de la empresa prestadora.	2 puntos
Indicador I4: Género, Oportunidades y Uso de Tiempo		
I41	Mujer responsable de hogar: % de hogares que NO refieren contar con mujer como única responsable de hogar. [1]	2,5 puntos
I42	Afectación de asistencia escolar: % de hogares que refieren que el servicio deficiente o la falta de agua afectó la asistencia escolar de los niños del hogar. [2]	2,5 puntos
I43	Afectación de tareas de cuidado: % de hogares que refieren que el servicio deficiente o la falta de agua afecta las tareas de cuidado de personas a cargo. [2]	2,5 puntos
I44	Afectación de oportunidades de trabajo u otras actividades: % de hogares que refieren que el servicio deficiente o la falta de agua afecta oportunidades de trabajo remunerado u otras actividades (educación, ocio, descanso, etc.) [2]	2,5 puntos
Indicador I5: Calidad Ambiental		
I51	Vuelco de aguas grises a vía pública: % de hogares que NO refieren disponer las aguas grises de lavado en zanja o en la vía pública.	2,5 puntos
I52	Desbordes cloacales en zanjas: % de hogares que refieren que NO se observan desbordes de agua cloacal en las zanjas de vía pública.	2,5 puntos
I453	Recolección de residuos sólidos: % de hogares que refieren contar con servicio de recolección de residuos frecuente.	2,5 puntos
I54	Quema de residuos sólidos: % de hogares que refieren que NO existe quema de residuos.	2,5 puntos

Resultados: indicadores que revelan desigualdades profundas

Calidad del servicio

En Resistencia, los cuatro barrios presentan indicadores críticos, asociados a:

- Falta de continuidad del agua,
- Baja presión,
- Ausencia de control de calidad,
- Baja confianza en la potabilidad.
- En Santa Fe, se observó mayor variabilidad:
- Dos barrios con valores críticos (Candioti Norte y Las Delicias),
- Uno regular (San José),
- Uno bueno (Transporte).

Calidad ambiental

Las condiciones más severas se registran en barrios donde:

- Se vuelcan aguas grises a zanjas,
- Son frecuentes los desbordes cloacales,
- No hay recolección de residuos,
- Se quema basura de manera habitual.

El caso extremo: **JJ Del Valle** (Resistencia), con valor mínimo posible en el indicador ambiental.

Infraestructura interna y potencial de conexión

Un hallazgo crucial es que **la mayoría de las viviendas posee baño y canilla interna**, lo que significa que **la conexión formal sería técnicamente viable con obras de baja envergadura**.

Este punto es clave para las políticas públicas:

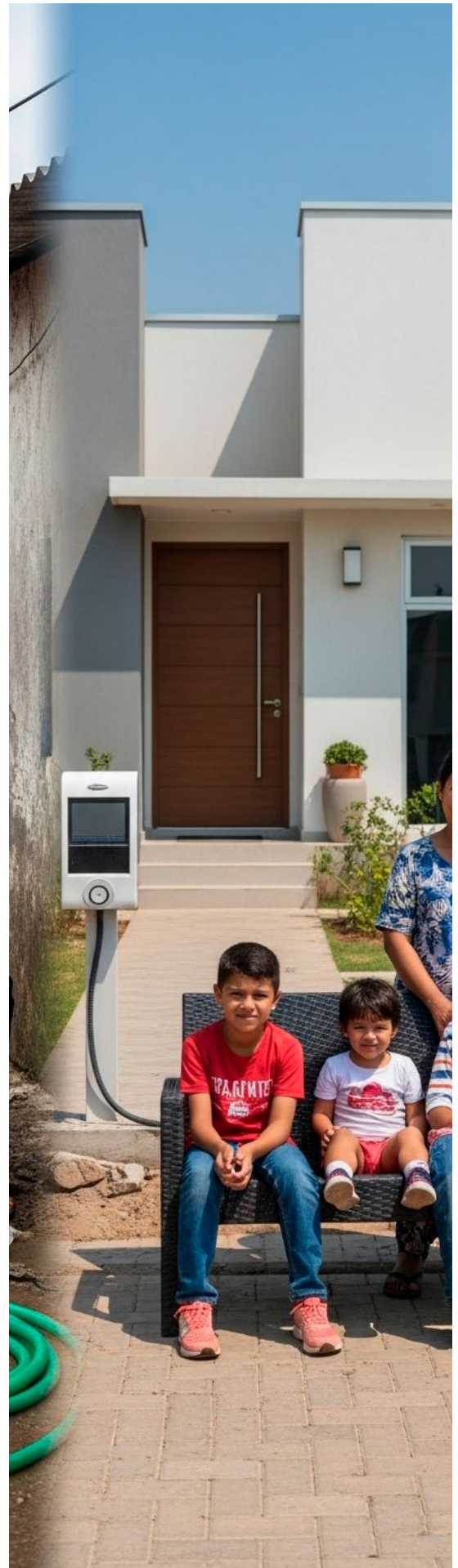
La falta de acceso no depende solo de infraestructura domiciliaria, sino de la ausencia de redes formales y servicios públicos.

¿Cuánto cuesta no tener agua ni cloacas?

El análisis económico arroja cifras contundentes:

Resistencia (Chaco)

- Gasto mensual promedio: USD 8,50
- Representa el 2,9% del ingreso familiar



Santa Fe (Santa Fe)

- Gasto mensual promedio: USD 9,70
- Representa el 2,3% del ingreso familiar

¿En qué gastan las familias?

- Compra semanal de bidones de agua (20 L)
- Vaciado anual de pozos ciegos, cuyo costo se prorroga mensualmente.
- Además de estos costos monetarios, existen costos invisibles no monetizados, como:
 - Tiempo invertido en acarrear agua,
 - Sobrecarga de tareas de cuidado (particularmente sobre mujeres),
 - Ausentismo escolar,
 - Oportunidades laborales perdidas.

Un hallazgo clave

Existe correlación inversa entre la calidad del servicio (Indicador I1) y el porcentaje de ingresos destinados a suplir carencias.

Cuanto peor es el servicio, **más pagan las familias pobres.**

La paradoja de pagar más por tener menos

Los hogares más vulnerables terminan pagando tarifas implícitas mucho más altas que las que tendrían si contaran con conexión formal a redes de agua y saneamiento.

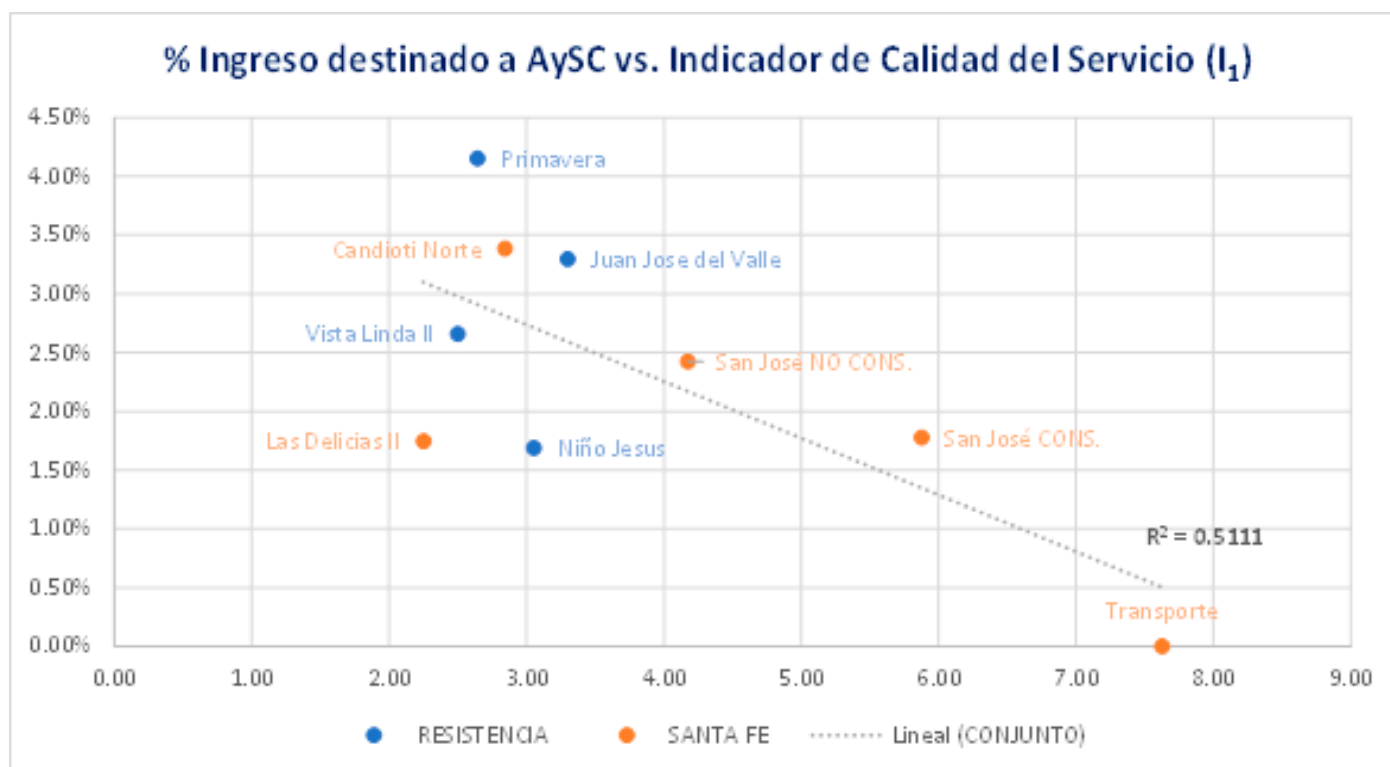
Este fenómeno, ampliamente documentado en América Latina, profundiza:

- La desigualdad territorial,
- La pobreza estructural,
- La brecha sanitaria.

El estudio demuestra que la **capacidad de pago existe**, pues las familias ya están erogando montos comparables a una tarifa formal.

Lo que falta no es disposición a pagar, sino **presencia del Estado y de los operadores.**





Conclusiones para política pública

El estudio evidencia que:

1. El acceso formal es asequible

Las familias ya pagan entre USD 8.5 y 9.7 mensuales para suplir la carencia del servicio.

2. La infraestructura interna permitiría conexiones rápidas

No se requieren grandes obras intradomiciliarias.

3. La mejora del servicio tendría impacto inmediato en salud y equidad

Reduciría enfermedades hídricas, incendios por quema de residuos, inundaciones y desigualdad de género en el uso del tiempo.

4. Pequeñas intervenciones pueden producir grandes impactos

Dado el potencial de conexión, la formalización es viable técnica, económica y socialmente.

Este trabajo se convierte así en una herramienta valiosa para:

- Prestadores de agua,
- Municipalidades,
- Programas de integración socio-urbana,
- Organismos de planificación y financiamiento.

Relevancia para América Latina

La situación documentada en Argentina refleja patrones comunes en la región:

- Urbanización acelerada,
- Expansión de asentamientos informales,
- Falta de inversión en agua y saneamiento,
- Impactos desproporcionados en grupos vulnerables.

Por ello, este estudio constituye un caso de referencia para programas de agua, saneamiento y equidad social en toda América Latina.

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

“Fortaleciendo la capacidad técnica de profesionales, de las áreas de ingeniería o licenciatura, relacionadas con procesos productivos, ambiente, tecnología y gerencia.”


Brindamos


- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE P+L
- AUDITORÍAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EMPRESAS DE DIVERSOS SECTORES INDUSTRIALES.
- DIAGNÓSTICO DE P+L ENFOCADO EN EL RECURSO AGUA (CONSUMO Y REDUCCIÓN DE CONSUMO, EFLUENTES, ETC.).
- DIAGNÓSTICO DE P+L ENFOCADO EN MATERIALES Y GENERACIÓN DE RESIDUOS.


- DISEÑO DE PROGRAMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL.
- ASESORÍA PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS MÁS LIMPIAS.
- CAPACITACIONES EN P+L



 (505)2270-1517 / 815-27314

 atencion.cliente@piensa.uni.edu.ni

 piensa.uni.edu.ni

 Avenida Universitaria, frente a la escuela de danza UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**¡Juntos...
Somos el
ambiente**

AGUA

Agradeceremos su patrocinio

OPCIONES DE PUBLICIDAD Y FUNCIONES PUBLICITARIAS

Costos en 2026

DIMENSIONES

Entre 50 y 70 páginas. 💧

Tamaño carta (8,5 x 11"). 💧



Espacio publicitario	Costo US\$
Portada interna	\$200
1 página	\$100
Publirreportaje por página	\$100
Bisagra	\$300
1/2 Página	\$75
1/4 Página	\$50
Contraportada interior	\$100
Contraportada	\$100

Equivalente a la tasa de cambio del Banco Central el día acordado