

AGUA: LA URGENCIA DE LA COLABORACIÓN INTERDISCIPLINARIA: Aspectos relevantes de la mesa de discusión

Herrera Cárdenas, J. A.* , E., Herrera López, H.

Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Prolongación Reforma 168, Barrio de Santiago Mihuacán, C.P- 74420 Izúcar de Matamoros, Pue. Teléfono: (243) 4363896

*Autor de correspondencia: jorgeahc@live.com.mx

RESUMEN

La contaminación del agua como resultado de la falta de gobernanza, la ineficiencia de la infraestructura instalada y la escasa participación social ha generado y agravado un problema que impacta principalmente en la pérdida de la biodiversidad, la disponibilidad de agua de calidad, y el incremento en la incidencia de enfermedades gastrointestinales y mutagénicas. A pesar del desarrollo tecnológico en el tratamiento de aguas residuales y en el establecimiento de documentos regulatorios aplicables a los generadores, la falta de seguimiento efectivo no ha permitido mitigar o revertir el deterioro de los ecosistemas acuáticos. Por lo que es urgente impulsar espacios, en los que diversos actores compartan y discutan puntos de vista, con el objetivo de estructurar soluciones integrales que reviertan el impacto de la contaminación. En este trabajo, se concentran las opiniones que se presentaron en una mesa de discusión en la que se abordó la necesidad de una colaboración interdisciplinaria, Identificando la urgencia de fomentar la educación ambiental, fortalecer la vinculación entre los sectores académico, gubernamental e industrial, y garantizar la participación ciudadana en las acciones encaminadas al monitoreo y ejecución de soluciones para recuperar los servicios que nos ofrecen los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: *Impacto ambiental, Enfoque holístico, Participación social.*

ABSTRACT

Water pollution resulting from poor governance, inefficient infrastructure, and limited public participation has created and exacerbated problems that primarily affect biodiversity loss, the availability of clean water, and an increase in the incidence of gastrointestinal and mutagenic diseases. Despite technological advances in wastewater treatment and the establishment of regulatory frameworks for wastewater generators, the lack of effective enforcement has prevented the mitigation or reversal of aquatic ecosystem deterioration. It is therefore urgent to create forums where various stakeholders can share and discuss their perspectives, with the aim of developing comprehensive solutions to reverse the impact of pollution. This paper compiles the views presented during a panel discussion that addressed the need for interdisciplinary collaboration, highlighting the urgency of promoting environmental education, strengthening ties between the academic, government, and industrial sectors, and ensuring public participation in efforts aimed at monitoring and implementing solutions to restore the services provided by aquatic ecosystems.

Keywords: *Environmental impact, Holistic approach, Social participation.*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el agua ha enfrentado diversas problemáticas que requieren atención urgente. Entre las más relevantes destacan, por un lado, la contaminación derivada del vertido de efluentes urbanos sin tratamiento en los cuerpos receptores y, por otro, la disminución de la disponibilidad del recurso, ocasionada por el acelerado crecimiento poblacional y el incremento de la demanda asociado a patrones de consumo cada vez más intensivos. La actividad antropogénica impacta negativamente sobre la calidad y la cantidad de agua, afectando a 2,300 millones de personas en zonas con escasez hídrica, de las cuales el 31% residen en Asia, África y América Latina (Hasan et al., 2023).

La contaminación del agua limita el suministro constante en la cantidad y calidad necesarias para abastecer las necesidades de la población, por lo que estas afectaciones impactan en la economía de los países debido a que actividades como la agricultura y la industria manufacturera dependen en gran medida de este recurso (Yang et al., 2024). Tanto las actividades agrícolas como las industriales demandan grandes volúmenes de agua, lo cual obliga a extraerla con mayor frecuencia y en mayores cantidades, acelerando el agotamiento y deterioro de este recurso (Mishra, 2023). La sobreexplotación es mayor en las poblaciones rurales debido a la intensa actividad agrícola, lo que disminuye la calidad y la capacidad de regeneración de las fuentes de agua subterránea (Sharma et al., 2024).

De acuerdo con Mahato et al., (2022), en este último siglo el consumo de agua se ha multiplicado seis veces, y de seguir con esta tendencia, para 2050 1,800 millones de personas en el mundo vivirán en regiones con escasez absoluta de agua y dos tercios de la población podrían vivir en condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, el creciente uso de combustibles fósiles, la mala gestión de las aguas residuales y el elevado consumo de agroquímicos, potencializan este problema (Gyawali et al., 2023), lo que, aunado a la frecuencia cada vez mayor de los fenómenos meteorológicos podrían aumentar el riesgo de epidemias infecciosas y la erosión de tierras bajas y zonas costeras (Mishra, 2023).

El deterioro de la calidad del agua tiene severas consecuencias sobre la salud de la población y la fauna, el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, alteración de las cadenas tróficas, pérdida de biodiversidad, escasez de agua potable y eutrofización de cuerpos receptores (Kadiri, 2026). Es la causa de diversas patologías como enfermedades gastrointestinales, cutáneas, alteraciones mutagénicas y otras enfermedades infantiles (Lin et al., 2022). Se ha reportado que anualmente mueren 1.6 millones de personas por enfermedades relacionadas con la contaminación del agua (Gyawali et al., 2023). La amenaza a la seguridad hídrica es evidente, por lo que requiere soluciones integrales que permitan preservar las fuentes de abastecimiento naturales y transformar los recursos hídricos alternativos en fuentes de alta calidad, con lo que se garantizaría el abastecimiento del recurso para las generaciones futuras (Shemer et al., 2023).

Para hacer frente a la problemática del agua a nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha incluido como uno de los objetivos principales dentro de la Agenda 2030, el Objetivo 6, que establece: "Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos para 2030" (Biswas et al., 2025). Por lo tanto, es urgente abordar la calidad del agua en las futuras políticas de gestión hídrica, a través de acciones enfocadas hacia la sostenibilidad hídrica (Bilalova et al., 2023; Wang et al., 2024). Para ello, se proponen enfoques holísticos que incorporen acciones regulatorias, de sensibilización pública, programas de monitoreo eficiente y la interconexión entre las partes interesadas, incluyendo agencias gubernamentales, Organizaciones No gubernamentales (ONG), grupos de campesinos, entre otras (Tzanakakis et al., 2023; Zahoor y Mushtaq, 2023).

La gestión integral de los recursos hídricos ha enfrentado limitantes en su implementación debido a las estructuras de gobernanza, circunstancias económicas, y la cooperación y colaboración entre las partes interesadas (Hasan et al., 2023). Por lo que se ha identificado como aspecto crucial para las soluciones a largo plazo, el empoderamiento de las comunidades, para que comprendan la relación recíproca entre su entorno y su salud. En donde también destaca la participación de los representantes políticos y la promoción de políticas ambientales que prioricen los indicadores en materia de salud pública (Olorunsogo et al., 2024). Por lo anterior, los desafíos relacionados con el agua dulce pueden representar áreas de oportunidad si todas las partes interesadas abren sus espacios para debatir políticas y acuerdos sobre la gestión del agua, ampliar redes de monitoreo e intercambio de datos, así como una institucionalización diplomática en la que se promueva la cooperación en lugar de obstaculizar los procesos (du Plessis, 2023).

En este contexto, el miércoles 22 de abril, en el marco de las actividades de la Semana de la Vinculación 2026, se realizó una mesa de discusión denominada "Agua: la urgencia de la colaboración interdisciplinaria". La cual tuvo como objetivo compartir puntos de vista desde diferentes enfoques, con la finalidad de construir una perspectiva integral sobre este problema y fomentar principios éticos y comportamientos positivos que guíen la interacción del ser humano con la naturaleza, promoviendo el respeto, la conservación y la responsabilidad para lograr la sostenibilidad. Para la conformación del panel se convocó a participantes de los diferentes

sectores entre ellos, la Dra. Patricia Ramírez Romero, Profesora Investigadora del Departamento de Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas y de Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana (área toxicológica), la Dra. María Yolanda Reyes Vidal, titular de la Subdirección de Investigación en Agua y Medio Ambiente, del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica Querétaro (área tecnología del agua), la Mtra. Mariana Negrete Cardoso, representante de la Secretaría de Medio Ambiente Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Estado de Puebla, quien está a cargo de la planeación hídrica en el estado de Puebla (sector gubernamental), la Dra. Sonia Emilia Silva Gómez, Profesora Investigadora del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (área social), el Mtro. Humberto Herrera López, Profesor de Tiempo Completo del Programa Educativo de Agricultura Sustentable y Protegida en la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros (sector productivo), y el Dr. Jorge Antonio Herrera Cárdenas, titular del del Departamento de Investigación y Desarrollo (sector académico).

El desarrollo de la mesa se realizó a través de la discusión de seis cuestionamientos enfocados a lograr que cada panelista desde su ámbito laborar externara su percepción sobre la problemática del agua, las limitaciones que han obstaculizado la implementación de soluciones, los factores que han frenado la colaboración multi e interdisciplinaria, el avance tecnológico en materia de tratamiento de aguas y las limitaciones para su implementación, y propuestas de solución a corto plazo para mitigar los efectos de la contaminación del agua. En el siguiente apartado se presentarán los aspectos más relevantes expuestos por parte los participantes de la mesa.

La primera pregunta que se realizó fue: desde tu disciplina **¿Qué es lo más preocupante de la contaminación del agua y por qué debería importarnos?**

Desde un enfoque toxicológico se mencionó que uno de los problemas que más preocupan es la gran cantidad de contaminantes que se encuentran en el agua, los cuales ya han reflejado afectaciones en todos los niveles de la organización biológica, además del incremento en la incidencia de enfermedades en las poblaciones, lo cual es un indicador de el grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos.

Desde el aspecto social, se comentó lo siguiente: del 35 al 45% del territorio nacional se encuentra bajo estrés hídrico; por otra parte, el consumo promedio *per cápita* en el país es de 366 L/día, volumen destinado no solo a necesidades básicas sino también a servicios. No obstante, el volumen disponible varía en función de los ingresos de las personas, por ejemplo, personas de bajos ingresos pueden disponer de 24 a 26 L/día, mientras que personas de mayores ingresos pueden disponer de 1000 L o más por día. Por otra parte, se dio a conocer que los pozos están sobreexplotados hasta en un 130%, debido al modelo extractivista que predomina actualmente.

Desde el área tecnológica se comentó sobre la coexistencia de los contaminantes convencionales y los contaminantes emergentes. Lo cual limita la capacidad de los procesos de tratamiento debido a que, estos sistemas no fueron diseñados para eliminar este tipo de componentes. Por otra parte, se mencionó que, pese a los cambios que ha tenido la legislación nacional, no se ha podido dar cumplimiento a los límites permisibles de algunos compuestos, sobre todo microcontaminantes orgánicos que se utilizan como aditivos alimentarios, hormonas, antibióticos, productos de cuidado personal, entre otros; los cuales representan un reto para garantizar la eficiencia de los sistemas de tratamiento convencionales.

Desde el sector productivo se mencionó que la escasez de agua ocasiona que los agricultores disminuyan sus superficies de cultivo, lo cual afecta los rendimientos. Impactando en la disponibilidad de alimentos y en la aparición de nuevas enfermedades por el uso de fuentes de agua sin la calidad requerida, que garantice la inocuidad de los productos cosechados.

Desde el sector gubernamental se dio a conocer que es importante generar este tipo de espacios de vinculación entre diversos actores con la finalidad de transmitir el conocimiento generado en el sector académico a las dependencias de gobierno. También se mencionó el tema de la contaminación del río Atoyac, como consecuencia del vertido constante de residuos industriales, que no se ha podido regular eficientemente. Por otro lado, los lagos también presentan un nivel de perturbación significativo, principalmente por la presencia de lirio acuático. Se comentó que otro de los problemas detectados es la pérdida de la capacidad de almacenamiento, que impacta directamente sobre la disponibilidad del agua. Por último, se señalaron las deficiencias de la

infraestructura para el tratamiento de aguas y la débil coordinación institucional para trabajar de manera conjunta en la solución de esta problemática.

Desde el sector académico se comentó que, a través de los proyectos que se han desarrollado en la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, se ha identificado que en la subcuenca del río Nexapa existe una gran cantidad y diversidad de sustancias que llegan a los cuerpos receptores a través del vertido de efluentes urbanos sin tratar. Efluentes cuya composición comprende sustancias recientemente identificadas cuyo efecto tóxico no ha sido estudiado, lo cual impide regular su presencia y concentración en los diferentes cuerpos de agua del país. Esta limitante también se ha reflejado en la eficiencia de depuración de los sistemas de tratamiento, los cuales, lejos de eliminarlos, los concentran, lo cual ocasiona un problema mayor al liberar efluentes con concentraciones mayores de sustancias potencialmente tóxicas, de las cuales existen reportes de genotoxicidad.

Con relación a la pregunta, **¿Por qué, si conocemos el problema, no se resuelve?, las aportaciones desde el área gubernamental, social y toxicológica fueron las siguientes:**

Desde el sector gubernamental se mencionó que los factores que limitan la implementación de soluciones a la problemática del agua son diversos; sin embargo, uno de los más importantes es el interés económico por invertir en este tratamiento. Lo anterior se debe a que se piensa que es más fácil descargar sin tratar que invertir en la depuración de las aguas residuales, sobre todo porque para muchos generadores el tratamiento del agua no es una prioridad. Por otra parte, se citó la falta de infraestructura operativa, por lo que el volumen de aguas residuales generado rebasa la capacidad de las plantas tratadoras en funcionamiento.

Por parte del área social, se comentó que las limitaciones pueden ser multicausales; no obstante, uno de los factores que más influyen sobre la contaminación del agua son las grandes empresas, debido a que este sector ejerce presión sobre este recurso al tomarlo como insumo (de una forma descontrolada) y utilizarlo como vertedero, principalmente cementeras, refresqueras, papeleras, mineras a cielo abierto y minería metálica. Por ejemplo, para el proceso de pintado, se requieren 60,000 L por automóvil; en el caso de las granjas, se necesitan anualmente 8 millones de m³ para que beban 2.5 millones de cerdos. También se mencionó las 300 industrias que descargan en el

río Santiago en Jalisco, uno de los cuerpos de agua severamente contaminados en México. Con relación a la minería, se requieren aproximadamente de 0.75 a 1.1 m³ para extraer un gramo de oro. Por lo anterior, no existe una intención real de atender esta problemática.

Desde el área toxicológica se mencionó que el modelo de desarrollo que hemos adoptado como país (cultura del consumismo), fomenta una actitud irresponsable en la que las personas. Que se enfocan en agregar más ceros a sus cuentas bancarias sin concientizarse sobre los efectos que este modelo puede generar en el medio ambiente. Por lo que es importante fomentar una educación ambiental, no solo a niños y jóvenes, sino también a nuestras autoridades para garantizar la calidad de vida de la población.

Respecto a la pregunta, **¿Dónde se rompe la colaboración entre disciplinas?**

Desde la parte social se comentó que, a pesar de que se asume la colaboración, es posible que esa colaboración nunca haya existido. Lo anterior debido a que, en las instituciones educativas de nivel superior en México a diferencia de los países desarrollados, no se ha consolidado una vinculación entre el sector industrial y el académico. Por otra parte, la diferencia de los propósitos que persigue cada disciplina ralentiza los procesos colaborativos entre instituciones y empresas. Por lo que es necesario identificar un problema común en el que se pueda trabajar de manera interdisciplinaria, además de estandarizar el lenguaje con el que se abordará la problemática.

En la intervención del sector gubernamental se explicó que son diversos los puntos en los que se rompe la colaboración; el primero de ellos es entre la ciencia y la política, ya que muchas veces la información que se genera desde el sector académico y se transmite a las dependencias gubernamentales no siempre se interpreta adecuadamente. Por lo tanto, no genera un impacto significativo en las decisiones del gobierno. Por otra parte, en el sector gubernamental, muchos de los proyectos que se planean no siempre se ejecutan debido a la ruptura de la continuidad de las políticas públicas. Por otra parte, la colaboración entre gobierno e industria pocas veces se consigue; lo anterior es debido a que, pese a la regulación de descargas aplicables al sector industrial no siempre se cumplen las obligaciones ambientales establecidas en estos documentos, debido a la falta de capacidad de las instituciones para aplicar las sanciones

correspondientes. Por otra parte, se debe garantizar la participación ciudadana con la finalidad de involucrar a todos los actores involucrados en esta problemática, poniendo especial interés en lograr que todos comprendan la magnitud del problema.

Con relación a las soluciones que se han evaluado, cuáles de ellas han tenido éxito y cuáles no, se formuló la siguiente pregunta: **¿Qué soluciones han surgido? ¿Cuáles de estas han fracasado y por qué?** y las respuestas fueron las siguientes:

Desde el ámbito tecnológico se mencionó que muchas de las tecnologías que se han desarrollado, más que fracasar, no se han podido escalar debido a algunas limitaciones. Uno de los factores que influyen en la implementación de estas tecnologías es el factor social, ya que a pesar de que se han hecho mejoras en tecnologías (lodos activados, reactores de membrana, fotocátalisis), de las que se ha probado su eficiencia en la depuración, no se han logrado implementar de manera generalizada. También se ha trabajado en la implementación de sistemas híbridos, que evidencian el desarrollo tecnológico en materia de tratamiento de aguas; sin embargo, no se han implementado por la magnitud de la inversión requerida. Por lo tanto, además del desarrollo tecnológico, el compromiso de los generadores de aguas residuales también influye sobre la toma de decisiones.

Por parte del sector académico se comentó que el desarrollo de tecnología para el tratamiento del agua en estas últimas décadas ha sido considerable, sin embargo, los presupuestos tanto gubernamentales como industriales no siempre son suficientes para cubrir los gastos de instalación, operación y mantenimiento de estos sistemas de tratamiento. Por otra parte, se citaron datos del reporte de "Estadísticas del Agua en México 2023" publicado por la Comisión Nacional del Agua (2024), en 2022, en el que se menciona que, los principales procesos implementados para el tratamiento de aguas residuales en 2022 fueron: lodos activados, lagunas, filtros biológicos, lagunas aireadas, tratamiento primario avanzado, humedales, biodiscos, y reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Con los primeros cinco tratamientos se trató el 96.4% de un caudal de 143.8 m³/s en las 2,774 plantas municipales del país. Por otra parte, según este mismo informe, en 2022, la industria trató un caudal de 58.11 m³/s, mediante 3,809 plantas de tratamiento, con lo que se suma un caudal tratado total de 201.91 m³/s.

Finalmente, se comentó que, muchas de las tecnologías recientes precisan de condiciones específicas para su funcionamiento. Las cuales no siempre se cumplen, lo cual incide en su eficiencia de depuración.

Siguiendo la temática de la mesa, y considerando el enfoque interdisciplinario que se buscó a través de la interacción de panelistas de áreas diversas, la siguiente pregunta consistió en abordar sobre **¿Qué actores faltaron en la mesa de discusión?**

Desde el área del sector productivo se comentó que los actores que pudieron haber faltado en la mesa son el gubernamental, el industrial y el social. Por lo que se considera necesaria la creación de un ente intersectorial que coordine las acciones de todos los actores involucrados en la generación, gestión, regulación y tratamiento de las aguas residuales. Con la finalidad de dar seguimiento a las acciones de regulación en materia de contaminación del agua.

Por su parte, el sector gubernamental mencionó que, uno de los actores más importantes que deberían participar en este tipo de foros es el sector industrial, como principal generador de aguas residuales. En segundo lugar, las comunidades afectadas por la exposición a estos efluentes, debido a que ellos son quienes conocen el problema y quienes más padecen las consecuencias. Por otra parte, al igual que en la primera intervención, también considera necesaria la creación de una dependencia que vincule todos los sectores involucrados. Se comentó que, desde la Comisión de Seguridad Hídrica se está impulsando un proyecto denominado, Observatorio Estatal Hídrico, a través de cual se pretenden impulsar mecanismos de participación ciudadana, así como mecanismos en el que diferentes actores se coordinen para atender este tipo de problemáticas, a través de proyectos, políticas, programas y canales de denuncias.

Desde el sector social se señaló que hace falta el sector agrícola, la voz de ejidatarios, grupos indígenas y los llamados grupos minoritarios. Sobre todo, al publicar las convocatorias para estos eventos, se deje claro el objetivo de la participación de estos sectores y qué se espera de ellos. Considerando que muchas veces solo asisten los líderes de estos grupos y su participación más allá del bien común refleja sus intereses políticos, económicos, de contacto, de gestión, etc.

Finalmente, para concluir la mesa, se consultó a los participantes sobre propuestas de solución a corto plazo a través de la siguiente pregunta: **“Si tuvieras que implementar una sola acción mañana para mejorar la calidad del agua en tu ciudad, ¿Cuál sería?,** para la cual las aportaciones fueron las siguientes:

Desde el sector académico se comentó lo siguiente: para que las propuestas de solución a la contaminación del agua sean eficientes, se debe incluir a personas capacitadas en temas ambientales, que comprendan la magnitud del problema, para que las acciones que se emprendan impacten significativamente en la recuperación de la calidad del agua.

Desde el sector gubernamental se indicó que, dado que la sociedad civil entiende y comprende la gravedad de la problemática del agua, se debe fomentar la educación ambiental. Porque solo conociendo las causas y los efectos del problema, se podrá lograr la participación de todos los actores involucrados.

Por parte del sector productivo se comentó que, en el entendido de que las actividades agrícolas dependen en gran medida del abastecimiento de agua, y que, para poder hacer uso de las fuentes de agua subterránea, se deben realizar trámites ante dependencias de gobierno, es necesario generar un organismo con la autoridad de gestionar el agua como un bien común y no como una mercancía.

Desde el ámbito tecnológico, se propone establecer plantas de tratamiento descentralizadas, instaladas en las fuentes generadoras, con la finalidad de atender el problema desde el origen. Además de impulsar la educación ambiental, a través de la difusión de los resultados que se generan en el sector académico, con la finalidad de que la sociedad civil comprenda la seriedad del impacto que genera el vertido de efluentes urbanos a los cuerpos receptores, principalmente aquellos componentes presentes en el agua, como los contaminantes emergentes.

Con relación al sector social, se comentó que, es necesario generar un registro de empresas que permita regular el abastecimiento del agua, poniendo énfasis en aquellas industrias que no cubran necesidades básicas. Estableciendo tarifas en función del tipo de productos que manufacturen, de tal manera que, todas aquellas empresas cuyo ramo se enfoque en actividades no esenciales paguen una mayor tarifa, o se destine un menor volumen de agua. Por otra parte,

bajo el argumento de que las empresas generan empleo, se sugiere que este mecanismo se flexibilice con la finalidad de no generar un impacto en la economía de la región, mediante la presentación de alternativas que beneficien a ambas partes.

Por parte del área de toxicología, se propone la implementación de un programa de ciencia ciudadana, que primero fomente la educación ambiental, y posteriormente, se puedan dar las herramientas para que la sociedad civil sea capaz de monitorear la calidad de sus cuerpos de agua. Lo anterior, debido a que a nivel nacional las dependencias están rebasadas ante la severidad de esta problemática.

COMENTARIOS FINALES

El deterioro de la calidad del agua es un tema que debe atenderse de manera urgente, debido a los impactos que han generado la cantidad y la diversidad de sustancias que se vierten a los principales cuerpos de agua del país.

A pesar de los avances tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales persiste una limitada disposición para invertir en infraestructura y procesos que garanticen una gestión adecuada del recurso hídrico. Además de los intereses económicos de las grandes industrias, que ven el agua como una mercancía más que como un bien común debe estar al alcance de toda la población. Asimismo, los actuales patrones de consumo, caracterizados por una lógica consumista, también han contribuido a fortalecer este modelo extractivista, cuyos impactos sociales afectan significativamente a comunidades y ecosistemas.

Por lo anterior, es fundamental fortalecer la colaboración entre el sector académico, empresarial y social, para fortalecer la transferencia y aplicación de los conocimientos generados en las instituciones de educación superior. Esta articulación permitirá que las dependencias responsables de regular las descargas industriales cuenten con herramientas científicas y técnicas que faciliten la toma de decisiones, el cumplimiento de la normativa ambiental y la preservación de la calidad del agua. También, resulta indispensable promover la educación ambiental y reconocer el papel estratégico de la sociedad civil, en las acciones orientadas a la

protección, conservación y restauración de las fuentes de agua, fomentando una participación efectiva y corresponsable en la gestión sostenible de este importante recurso.

Si bien los avances tecnológicos han demostrado la eficacia de diversas tecnologías para la depuración de aguas residuales, la limitada asignación de recursos y la falta de interés en su implementación han restringido la adopción de tratamientos especializados. Por lo tanto, sustancias que no pueden ser removidas por procesos convencionales siguen presentes en los efluentes, representando un desafío para la protección de los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

En futuros foros de discusión será fundamental incorporar la participación del sector empresarial, y social, particularmente de las comunidades asentadas en las inmediaciones de los cauces de los ríos, con el propósito de conocer sus percepciones y experiencias respecto a los impactos generados por la contaminación de estos cuerpos receptores. Por otra parte, será necesario que los objetivos, alcances y resultados de estos espacios de dialogo sean comunicados de manera clara y accesible, a fin de mantener una participación informada y activa en el diseño e implementación de estrategias orientadas a la solución de esta problemática.

Finalmente, entre las principales estrategias a corto plazo se destacó la necesidad de que las dependencias gubernamentales sean dirigidas por personal con el perfil adecuado para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental. También se propuso descentralizar las plantas tratadoras para atender la contaminación desde su origen, fortalecer la regulación del suministro de agua bajo el principio de que es un recurso que constituye un bien común y establecer mecanismos que regulen la extracción por parte de actividades no esenciales. Por último, se enfatizó la importancia de la educación ambiental y el desarrollo de programa de ciencia ciudadana que promuevan la concientización y la participación de la sociedad en la vigilancia y protección de las fuentes de abastecimiento.

REFERENCIAS

- Bilalova, S., Newig, J., Tremblay-Lévesque, L. C., Roux, J., Herron, C., & Crane, S. (2023). Pathways to water sustainability? A global study assessing the benefits of integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, 343, 118179. [https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118179]
- Biswas, A., Sarkar, S., Das, S., Dutta, S., Choudhury, M. R., Giri, A., Bera, B., Bag, K., Mukherjee, B. & Paul, D. (2025). Water scarcity: A global hindrance to sustainable development and agricultural production—A critical review of the impacts and adaptation strategies. *Cambridge Prisms: Water*, 3, e4. [https://doi.org/10.1017/wat.2024.16]
- du Plessis, A. (2023). Water resources from a global perspective. In *South Africa's Water predicament: Freshwater's unceasing decline* (pp. 1-25). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24019-5_1]
- Gyawali, K., Acharya, P., & Poudel, D. (2023). Environmental pollution and its effects on human health. *Interdisciplinary Research in Education*, 8(1), 84-94. [https://doi.org/10.3126/ire.v8i1.56729]
- Hasan, N., Pushpalatha, R., Manivasagam, V. S., Arlikatti, S., & Cibin, R. (2023). Global sustainable water management: a systematic qualitative review. *Water Resources Management*, 37(13), 5255-5272. [https://doi.org/10.1007/s11269-023-03604-y]
- Kadiri, M. O. (2026). Water Pollution: Human and Environmental Consequences of Water Crisis. In *Environmental Health and Toxicology* (pp. 69-88). CRC Press. [https://doi.org/10.1201/9781003500452]
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review. *Frontiers in environmental science*, 10, 880246. [https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246]

- Mahato, A., Upadhyay, S., & Sharma, D. (2022). Global water scarcity due to climate change and its conservation strategies with special reference to India: A review. *Plant Archives* (09725210), 22(1). [<https://doi.org/10.51470>]
- Mishra, R. K. (2023). Fresh water availability and its global challenge. *British journal of multidisciplinary and advanced studies*, 4(3), 1-78. [<https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0207>]
- Olorunsogo, T. O., Ogugua, J. O., Muonde, M., Maduka, C. P., & Omotayo, O. (2024). Environmental factors in public health: A review of global challenges and solutions. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 1453-1466. [<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0176>]
- Sharma, K., Rajan, S., & Nayak, S. K. (2024). Water pollution: Primary sources and associated human health hazards with special emphasis on rural areas. In *Water resources management for rural development* (pp. 3-14). Elsevier. [<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00014-3>]
- Shemer, H., Wald, S., & Semiat, R. (2023). Challenges and solutions for global water scarcity. *Membranes*, 13(6), 612. [<https://doi.org/10.3390/membranes13060612>]
- Tzanakakis, V. A., Capodaglio, A. G., & Angelakis, A. N. (2023). Insights into global water reuse opportunities. *Sustainability*, 15(17), 13007. [<https://doi.org/10.3390/su151713007>]
- Wang, M., Bodirsky, B. L., Rijneveld, R., Beier, F., Bak, M. P., Batool, M., Droppers, B., Poop, A., van Vliet, M. T. H. & Strokal, M. (2024). A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution. *Nature Communications*, 15(1), 880. [<https://doi.org/10.1038/s41467-024-44947-3>]
- Yang, J., Li, J., van Vliet, M. T., Jones, E. R., Huang, Z., Liu, M., & Bi, J. (2024). Economic risks hidden in local water pollution and global markets: A retrospective analysis (1995–2010) and future perspectives on sustainable development goal 6. *Water Research*, 252, 121216. [<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121216>]
- Zahoor, I., & Mushtaq, A. (2023). Water pollution from agricultural activities: A critical global review. *Int. J. Chem. Biochem. Sci*, 23(1), 164-176.