

Un futuro hídrico sostenible: desde filtros de bioarena hasta celdas microbianas

Andrés López López,¹ Andrés Manuel Gómez Hernández,² Roberto Adrián González Domínguez³

La crisis del agua, un desafío global que demanda soluciones innovadoras

El agua es un recurso esencial para la vida, pero su disponibilidad y calidad están cada vez más amenazadas debido a la contaminación, el crecimiento poblacional y el cambio climático. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 2 mil millones de personas en el mundo carecen de acceso al agua potable, lo que genera graves problemas de salud. Por lo tanto, La purificación y el tratamiento del agua es una necesidad global que requiere soluciones innovadoras y sostenibles.

Estas tecnologías han evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de métodos tradicionales como la filtración por arena o la cloración, a sistemas avanzados que combinan procesos físicos, químicos y biológicos. Estas innovaciones priorizan la eficiencia energética, el bajo costo y la flexibilidad para implementarse en zonas urbanas, rurales o industriales, según las necesidades

Tecnologías de tratamiento y purificación del agua: entre filtrado y generación de energía.

Frente a este panorama desafiante, la ciencia y la tecnología han respondido con soluciones creativas y eficaces que buscan no solo limpiar el agua, sino también hacerlo de manera sostenible y accesible. A continuación, se presentan seis tecnologías con distintos niveles de eficacia. Mientras que algunas pueden purificar el agua hasta hacerla potable, otras están diseñadas para tratamientos de uso no potable, como el riego o procesos industriales.

Los filtros de bioarena que combinan capas de arena, grava y un biofilm (comunidad de microorganismos que se adhieren a la arena y forman una película viscosa) son una opción simple y económica para el tratamiento de agua en zonas rurales. Entre sus ventajas destacan: el bajo costo de instalación y mantenimiento, no necesitan electricidad porque funcionan por gravedad, y son efectivos contra bacterias y parásitos. Por el contrario, algunas

desventajas son: la capacidad para eliminar virus o químicos es reducida, requieren limpieza regular y el flujo de agua es bajo. Aun así, son una solución práctica y sostenible para comunidades con recursos limitados.

Los filtros cerámicos con plata usan una membrana (tela delgada) de cerámica cubierta con partículas muy pequeñas de plata para retener impurezas, matar bacterias y virus. Estos filtros son reutilizables y no requieren electricidad, por lo que resultan ideales para zonas rurales. Sin embargo, presentan limitaciones: no eliminan eficientemente los contaminantes químicos y sus membranas son frágiles. A pesar de estos inconvenientes, constituyen una excelente alternativa para hogares, escuelas y comunidades rurales.

La ósmosis inversa es un sistema que usa una membrana (tela delgada) especial para filtrar sales, metales pesados (mercurio, cobre, etc.) y químicos del agua. El sistema es tan eficaz que puede tratar agua de mar, subterráneas o residuales. Aunque la ósmosis inversa es eficaz para desalinizar agua de mar, su alto consumo de energía y costos de mantenimiento la hacen viable principalmente para industrias o zonas con recursos económicos. En la actualidad, su aplicación principal es la potabilización de agua para consumo doméstico.

Los sistemas fotocatalíticos son tecnologías que utilizan dióxido de titanio (TiO₂), un material que al recibir luz genera radicales libres que actúan como tijeras químicas, descomponiendo contaminantes como plaguicidas y microplásticos en sustancias como agua y dióxido de carbono (CO₂) (Reyes Vallejo et al., 2024). Esta tecnología no consume químicos adicionales (solo requiere luz solar), y genera residuos tóxicos. Los componentes del sistema se muestran en la Figura 1.

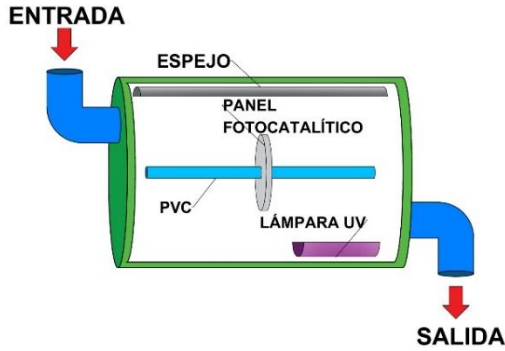


Figura 1. Sistema fotocatalítico

Entre sus principales desventajas, destacan el alto costo de instalación y una eficiencia que depende de factores como la intensidad de la luz solar y el nivel de contaminantes presentes. A pesar de estas limitaciones, son ideales para tratar aguas residuales de consumo urbano en zonas con contaminación química.

Las celdas de combustible microbianas (CCM) usan bacterias que, al descomponer materia orgánica en el agua, liberan electrones (Ramírez Guerrero et al., 2024). Estos electrones se capturan para generar electricidad, combinando así el tratamiento de aguas residuales con la producción de energía, observe la Figura 2. Aunque las celdas microbianas generan electricidad, las cantidades son reducidas y la operación es complicada (requieren control de pH y temperatura).

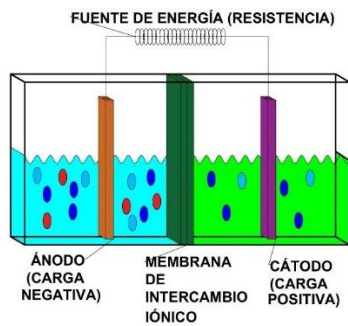


Figura 2. Celda de combustible microbiana (CCM).

A pesar de ello, se han incrementado los esfuerzos para implementar su aplicación para tratar aguas residuales en comunidades y pequeñas industrias.

Los filtros magnéticos usan imanes para eliminar partículas metálicas presentes en el agua, como el plomo (Pb) y el mercurio (Hg), tal como se muestra en la Figura 3. Estos filtros no requieren químicos y son fáciles de limpiar o reutilizar. A diferencia de los

sistemas fotocatalíticos (que degradan químicos orgánicos), los filtros magnéticos solo retienen metales, por lo que su uso en minería y lubricación de maquinaria es ideal, pero requieren combinarse con otros métodos para tratar contaminación orgánica.

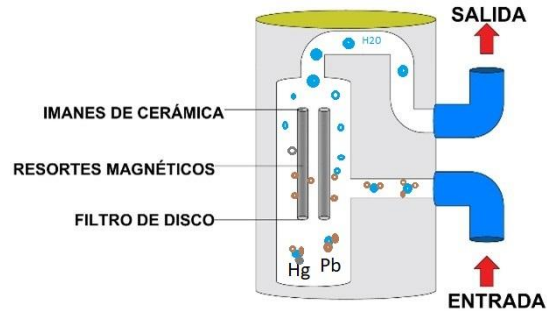


Figura 3. Filtro magnético

Cada tecnología produce agua con características específicas que determinan su posible uso. La siguiente tabla resume el aprovechamiento del agua recomendado para cada una de ellas.

Tabla 1. Usos del agua tratada por tecnología

Tecnología	Usos recomendados
Filtros de bioarena	Riego agrícola, limpieza de superficies, sanitarios.
Filtros cerámicos con plata	Lavado de ropa, riego urbano, limpieza doméstica.
Ósmosis inversa	Consumo humano, aplicaciones médicas.
Sistema fotocatalítico	Fuentes públicas, riego no alimentario, procesos industriales
Celdas microbianas (CCM)	Riego agrícola, descarga en ríos no potables, enfriamiento industrial.
Filtros magnéticos	Minería, lavado de maquinaria, tratamiento de aguas industriales.

Se identifica que tecnologías como la osmosis inversa potabilizan el agua para consumo humano; mientras, que los filtros de bioarena y los cerámicos con plata son ideales para el tratamiento en zonas rurales: simples, económicos y sin requerir electricidad. Su implementación promovería el agua para todos, y demuestra que la tecnología efectiva es la que se integra localmente. Este enfoque sostenible invita a crear soluciones con las comunidades, no para ellas, avanzando hacia el acceso universal al agua.

Conclusiones

Innovar con propósito y crear soluciones hídricas para las comunidades que más las necesitan.

La escasez y la contaminación del agua exigen soluciones innovadoras urgentes. Si bien las tecnologías analizadas son avances clave en la purificación del agua, su impacto real dependerá de cómo las adaptemos a comunidades sin recursos. El reloj no se detiene: ¿cuál será tu aporte para garantizar un futuro con agua sostenible? Como próxima generación de profesionales, tienen la capacidad única de reinventar estas soluciones o desarrollar alternativas disruptivas. El acceso al agua limpia es un derecho humano fundamental, ¿cómo elegirás contribuir a este desafío global?

Palabras clave: Purificación de agua; Tecnologías sostenibles, Comunidades rurales

¹ **Andrés López López:** Doctor en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables y miembro del Sistema Nacional de Investigadores SNI. Su trabajo se enfoca en el desarrollo de ecotecnologías sostenibles de alto impacto social y ambiental para mejorar la calidad de vida en comunidades vulnerables. Universidad del Valle de México.

Contacto: andreslopezlopez91@hotmail.com

² **Andrés Manuel Gómez Hernández:** estudiante de Ingeniería Civil en la Universidad del Valle de México. Actualmente, realiza su servicio social en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico de la misma institución, donde participa en proyectos enfocados a la divulgación científica. Universidad del Valle de México.

Contacto: 650135533@my.uvm.edu.mx

³ **Roberto Adrián González Domínguez:** Doctor en sistemas energéticos renovables, especializado en energía eólica. Ingeniero e investigador en control, optimización y monitoreo de aerogeneradores. Desarrolla tecnologías sustentables y tiene y publicaciones sobre calidad de energía y sistemas inteligentes. Agencia Digital Tecnológica del Estado

Contacto: rober1895@hotmail.com

Lecturas recomendadas

CASTELLANOS ESPINOZA, Raúl, GUERRA Balcázar, Minerva y ESPAÑA SÁNCHEZ, Beatriz Liliana. *Membranas nanoestructuradas para el tratamiento de aguas* [en línea]. 13 de mayo de 2024. Disponible en: <https://redicye.upeg.edu.mx/2024/05/13/membranas-nanoestructuradas-para-el-tratamiento-de-aguas/>.

CANO, Francisco J., REYES-VALLEJO, Odín y ADHIKARI, Ashok. *Nanoadsorbentes al rescate del agua* [en línea]. 22 de enero de 2025. Disponible en: <https://redicye.upeg.edu.mx/2025/01/22/nanoadsorbentes-al-rescate-del-agua/>.

RAMÍREZ GUERRERO, José Alfredo, MARTÍNEZ SÁNCHEZ, Carolina y SANDOVAL GONZÁLEZ, Antonia. *Tratamiento sostenible de aguas residuales en celdas microbianas* [en línea]. 5 de septiembre de 2024. Disponible en: <https://redicye.upeg.edu.mx/2024/09/05/tratamiento-sostenible-de-aguas-residuales-en-celdas-microbianas/>.

REYES VALLEJO, Odín, SÁNCHEZ ALBORES, Rocío Magdalena y MONTEJO LÓPEZ, Wilbert. *Fotocatálisis y residuos en el tratamiento de agua* [en línea]. 13 de mayo de 2024. Disponible en: <https://redicye.upeg.edu.mx/2024/05/13/fotocatálisis-y-residuos-en-el-tratamiento-de-agua/>.

SOLÍS MARCIAL, Óscar Joaquín, TALAVERA LÓPEZ, Alfonso y ORTIZ MARÍN, Alejandro David. *Electrocoagulación en aguas de procesos mineros* [en línea]. 20 de septiembre de 2023. Disponible en: <https://redicye.upeg.edu.mx/2023/09/20/electrocoagulacion-en-aguas-de-procesos-mineros/>