



# ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA AL AGUA: PERSPECTIVAS PARA EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN

CIRCULAR ECONOMY IN WATER MANAGEMENT: OPPORTUNITIES FOR RECYCLING AND REUSE

**Sara Luz García Ccahuana**

garciascc839@gmail.com

 ORCID: 0009-0003-8018-3643

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú

**Aceptación:** 08 de Enero del 2025

**Publicación:** 31 de Enero del 2025

## RESUMEN

Esta investigación bibliográfica con enfoque de revisión narrativo-cualitativo se realizó a partir de 22 referencias recopiladas de plataformas académicas con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar las principales perspectivas, tecnologías y prácticas de economía circular (EC) aplicadas al manejo del agua mediante las 3R (reducir, reciclar y reutilizar), así como destacar la importancia y el impacto positivo en diferentes países del mundo en sus diferentes actividades económicas como la agricultura, donde se ha encontrado un mayor uso no medido del agua. La investigación destaca la relación entre la EC del agua y la conservación de la biodiversidad, porque al cuidar el recurso hídrico también se cuida la vida humana y otros ecosistemas debido a la interdependencia biológica. Por ello, se resalta la necesidad de admitir técnicas a las tecnologías que contribuyan a la EC y ayude a la eliminación de sal en las aguas para que tengan un óptimo proceso de purificación, reaprovechamiento y recuperación de este recurso natural; del mismo modo, se insta a las instituciones tanto públicas como privadas de cada nación priorizar la sustentabilidad y sostenibilidad del agua; así como a los investigadores, el fomento de información para mitigar las lagunas del conocimiento del tema.

**Palabra clave:** Economía circular; Recursos hídricos, Reciclaje, Reutilización, Desarrollo sustentable, Aguas residuales.

## ABSTRACT

This bibliographic review, adopting a narrative-qualitative approach, was conducted based on 22 references gathered from academic platforms. Its objective was to identify, analyze, and synthesize the main perspectives, technologies, and practices of the circular economy (EC) applied to water management through the 3Rs (reduce, recycle, and reuse), as well as to highlight the significance and positive impact of these practices in various countries across different economic activities, such as agriculture, where unmeasured water use has been found to be most prevalent. The review underscores the relationship between water EC and biodiversity conservation, emphasizing that preserving water resources also safeguards human life and other ecosystems due to biological interdependence. Therefore, it highlights the need to integrate techniques into technologies that contribute to EC and facilitate salt removal from water to enhance purification, reuse, and recovery processes for this natural resource. Similarly, it urges both public and private institutions in each nation to prioritize water sustainability and conservation. Additionally, it calls on researchers to promote the dissemination of information to bridge knowledge gaps on this topic.

**Keyword:** Circular economy, Water resources, Recycling, Reuse, Sustainable development, Wastewater.





## INTRODUCCIÓN

El año 2023 fue el año más seco para los ríos del mundo de los últimos 33 años, los glaciares sufrieron la mayor pérdida de masa registrada en las últimas cinco décadas, y como resultado del cambio climático, el ciclo hidrológico se ha vuelto más errático e impredecible. En consecuencia, el mundo se enfrenta a problemas cada vez mayores de escasez de agua para las comunidades, la agricultura y los ecosistemas, señalando cambios críticos en la disponibilidad del agua en una era de creciente demanda (WMO, 2024).

La ONU - Hábitat (2021) expresa que las fugas y el uso indebido del agua generan pérdidas estimadas en USD 141 mil millones anuales. En países en desarrollo, aproximadamente 45 millones de metros cúbicos se desperdician diariamente en las redes de distribución, cantidad que podría abastecer a cerca de 200 millones de personas.

El agua es un recurso natural esencial, utilizado como un insumo importante con fines económicos; por ello, garantizar su accesibilidad para su uso en todos los sectores, respetando al mismo tiempo los caudales ambientales y haciéndolo de forma sostenible, representa un desafío clave en la actualidad (Morseletto et al., 2022). En este contexto, la UNESCO (2023) presentó el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023, avalado por el sistema de Naciones Unidas, en el cual se muestra que establecer alianzas y mejorar la cooperación en todas las dimensiones del desarrollo sostenible es esencial para acelerar el avance hacia el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) dedicado al agua y al saneamiento.

En Latinoamérica la gestión inadecuada del agua se ha convertido en un problema persistente, a medida que aumenta la población, la cantidad de aguas servidas generadas por actividades domésticas, industriales y agrícolas también se incrementa (Jiménez et al. 2024). En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe es una práctica común verter aguas residuales (AR) en lagos, ríos y arroyos sin un tratamiento adecuado, lo que plantea graves problemas a quienes se encuentran a lo largo de estos cursos de agua, y que dependen de ello para el suministro de agua potable. Por tal razón, se encuentran altamente contaminados muchos sistemas fluviales responsables del abastecimiento de agua potable para la población y del riego para productos de consumo tanto humano como animal, que también son el medio de vida de muchas especies acuáticas y vegetales (Blanco et al. 2022).

Asimismo, el sector agrícola es conocido por ser uno de los principales consumidores de recursos hídricos, utilizando alrededor del 70 % del agua dulce extraída a nivel global para irrigar cerca de una cuarta parte de las tierras cultivables. Sin embargo, la disponibilidad de agua para la producción agrícola se enfrenta a una creciente disminución debido a la combinación del cambio climático y el aumento de la población (Shemmer et al., 2023; Mendoza-Retana, 2021).

En consecuencia, el desempeño económico de las empresas, negocios e industrias en las ciudades se ve afectado por la disponibilidad de agua. En la actualidad, una de cada cuatro ciudades registra una actividad económica de 4,2 billones de dólares, está clasificada con estrés hídrico (Delgado et al., 2024).

Ante esta situación, la economía circular (EC), concepto que propugna el uso, renovación y reutilización de un bien o servicio, además de utilizar sus subproductos, busca cambiar la forma en la que estos se producen y consumen en la sociedad (Impluvium, 2020), es decir que los recursos naturales pueden influir en la economía al proporcionar insumos para la producción y el consumo, al tiempo que sirven como sumideros para los productos en forma de desechos (Mannina et al., 2021). En ese sentido, la EC aplicada al sector hídrico, constituye un marco eficaz para la gestión sostenible del agua, con principios como una cadena de suministro de circuito cerrado, retención de valor, minimización de residuos y eficiencia de los recursos, que contribuyen positivamente a dicho sector. Asimismo, la EC es idónea para respaldar la administración del suministro de agua, dado que se adapta a múltiples escalas espaciales, desde lo regional hasta lo mundial; a distintos niveles de gobernanza, como el micro, meso y macro; a diversas formas de implementación, desde el diseño hasta el uso posterior; y a todos los sectores económicos. La EC del agua también colabora directamente con lograr los ODS, en específico "Agua limpia y Saneamiento", "Industria, innovación e infraestructura" y "Producción y consumo responsables"; a su vez, indirectamente podría ayudar a lograr todos los demás ODS (Morseletto et al., 2022).

La introducción de la EC en este ámbito puede promover la gestión sostenible de las crecientes cantidades de aguas residuales municipales, abordando al mismo tiempo problemas emergentes como la falta de agua (Sánchez-Calderon et al., 2024)



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

29 - 38

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA AL AGUA: PERSPECTIVAS PARA EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



Con los últimos avances científicos y tecnológicos en el sector del agua, los académicos, los gobiernos, las empresas de agua y la industria han considerado desarrollar modelos más eficientes para la gestión del agua. En la actualidad, existe una amplia variedad de tecnologías para el tratamiento de AR que van desde métodos convencionales como sedimentación, neutralización y desinfección, hasta tecnologías más avanzadas como membranas, procesos de oxidación avanzada y tratamientos biológicos especializados (Jiménez et al., 2024). Debido a su importancia para el desarrollo sostenible, el sector hídrico requiere incentivar el empleo de mejores prácticas bajo el enfoque de EC, sin embargo, transitar hacia una EC no es tarea sencilla en este sector, pues requiere de cambios profundos en el diseño de los productos, los modelos de negocios, la gestión de los desechos, la implementación de instrumentos económicos, hasta transformaciones en los patrones de consumo y la creación de políticas públicas. También, en cuanto a los aspectos sociales, los usuarios a menudo tienen conceptos erróneos (principalmente basados en información ausente y/o deficiente) sobre los riesgos relacionados con la adopción de recursos recuperados de aguas residuales (Mannina et al., 2021).

En el contexto del manejo del agua, la transición hacia una EC puede prevenir su mal uso al valorarla como un recurso clave y fomentar su reutilización como una fuente alternativa y complementaria al uso de agua prístina. Para ello, se han propuesto los tres pilares de la Economía Circular del Agua (ECHA): disminución (reducir el uso de agua), optimización (mejorar la eficiencia en su uso) y retención (preservar agua, materiales y energía) (Peydayesh & Mezzenga, 2024).

En paralelo, existen tres tecnologías principales para el tratamiento de aguas grises: física, química y biológica. Además de estos métodos tradicionales, en los últimos años se ha generado un creciente interés por tecnologías avanzadas, como las basadas en membranas, la electrocoagulación mejorada, las soluciones basadas en la naturaleza (por ejemplo, humedales artificiales) y los enfoques que emplean energía solar (Awasthi et al., 2024). En este sentido, la EC se presenta como una herramienta esencial para mantener el valor de los recursos en el mercado, minimizar el impacto ambiental y garantizar la seguridad hídrica (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2024).

A partir de este marco, la presente investigación tiene como objetivo identificar, analizar y sintetizar las principales perspectivas, tecnologías y prácticas de EC aplicadas al manejo del agua, resaltando la importancia de implementar métodos y tecnologías que promuevan la reutilización de los recursos hídricos en beneficio del medio ambiente y la salud pública.

Este estudio adquiere una relevancia científica y social, puesto que, al conocer las diferentes perspectivas y prácticas en otros países, se puede tener una visión más amplia en el uso de la EC aplicada a los recursos hídricos considerando sus principios, e incentivar tanto a investigadores como a la sociedad a continuar recabando información sobre la innovación tecnológica y métodos para el reciclaje y la reutilización del agua, así como los beneficios, desafíos y limitaciones presentes en el modelo de la EC.

## MÉTODO

El presente artículo se elaboró a través de una revisión bibliográfica sobre estrategias metodológicas y perspectivas internacionales relacionadas a la economía circular (EC) como método de gestión de los recursos hídricos, con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar las principales perspectivas, innovaciones tecnológicas y prácticas de EC en el manejo del agua. Asimismo, líneas abajo se especifican los procesos utilizados para la identificación, selección y análisis de la literatura.

### 1. Enfoque de la revisión

El estudio utilizó un enfoque de naturaleza cualitativa, conforme a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), que permite profundizar e interiorizar en los conceptos y variables que dirigen el estudio. También, es el enfoque adecuado para valorar concepciones teóricas no requerientes en una medición o instrumentalización comparativa. Adicionalmente, la investigación se centra en un diseño narrativo que logra recopilar información a través de historias, experiencias personales y la interpretación del sentido que tienen estas experiencias para el individuo.

### 2. Criterios de selección de fuentes

En aras de asegurar la relevancia y contemporaneidad de las investigaciones seleccionadas, se establecieron los siguientes criterios:



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

29 - 38



**Fuentes:** Se consideraron un total de 22 fuentes bibliográficas, entre artículos de revistas científicas, libros, así como puntos de vista de vanguardia provenientes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas (ONU) y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), fuentes que en su conjunto abordan temas relacionados o directamente conectados a la economía circular y la gestión de los recursos hídricos.

**Periodo:** Se le dió prioridad a aquellas publicaciones que se encuentran entre el periodo de los años 2019 y 2024, con el objetivo de abarcar a las investigaciones contemporáneas sobre el uso sostenible del agua a través de la economía circular como medio de gestión y fomento de cuidado del agua

**Idioma:** Se consideraron investigaciones publicadas en los idiomas inglés y español para tener mayor amplitud en el alcance y la diversidad de las fuentes obtenidas.

**Criterios de inclusión:** Para la selección de la literatura se tomó en cuenta artículos relacionados a “Agotamiento de recursos hídricos” y “Economía circular en el manejo del agua”, debido a que se pretende tener un panorama sobre el manejo y gestión de los recursos hídricos, reducción de la extracción de agua y la mitigación de la contaminación ambiental.

**Criterios de exclusión:** Para delimitar el alcance de esta revisión bibliográfica y asegurar la relevancia de las fuentes seleccionadas, se excluyeron las fuentes publicadas antes de 2019 o después de 2024, salvo que representaran investigaciones clave o seminales en el campo de la supervisión educativa y la formación continua. Asimismo, estudios que no abordan directamente la economía circular como método de gestión en los recursos hídricos y el fomento del reciclaje y reutilización del agua.

### 3. Bases de datos y fuentes de información

Para el hallazgo de las fuentes de información se hizo uso de repositorios de búsqueda científica en principales bases de datos académicas, entre ellas: Google Scholar, Scielo, Dialnet, ScienceDirect y Elsevier.

Con relación a las palabras clave utilizadas en las búsquedas se incluyeron combinaciones como: “economía circular”, “reciclaje y reutilización”, “mitigación de contaminación”, “recursos hídricos” y “aguas residuales”.

### 4. Análisis de la información

Para organizar y sintetizar la información, se utilizó un enfoque de revisión bibliográfica. Los estudios seleccionados se agruparon en categorías basadas en los temas emergentes, tales como:

- Economía circular
- Gestión del agua
- Recursos hídricos
- Reciclaje de aguas residuales

### 5. Evaluación de la calidad de los estudios

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos se realizó considerando criterios de rigor y relevancia. Se dio prioridad a aquellos que presentaban fundamentos teóricos sólidos, metodologías consistentes y conclusiones claramente justificadas. Esto aseguró que las interpretaciones y recomendaciones derivadas de la revisión fueran fiables y pertinentes para el contexto educativo actual.

### 6. Limitaciones metodológicas

Se admiten algunas limitaciones en esta investigación. Si bien la selección de estudios se llevó a cabo utilizando bases de datos consultadas, podrían haberse omitido fuentes relevantes publicadas en otros repositorios. Por otro lado, la perspectiva en investigaciones publicadas en los idiomas inglés y español podrían haber limitado el acceso a estudios en otros idiomas que pudieran haber abordado enfoques complementarios.

En síntesis, la metodología aplicada ha permitido efectuar una revisión concienzuda sobre la literatura existente, reconociendo los cambios significativos y retos en la supervisión educativa, la formación continua y liderazgo directivo.



## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### Principios de la Economía Circular (EC) en los recursos hídricos

La EC del agua es un modelo económico que se enfoca en la reducción, conservación y maximización en el uso de los recursos hídricos, minimizando su consumo mediante tecnologías, como el riego por goteo en la agricultura y el uso racional del agua en la industria (Da Silva & Pasold, 2019). Además, promueve el reciclaje de aguas residuales, permitiendo su reutilización en sectores como la agricultura, la industria y el abastecimiento urbano (Blanco et al., 2022; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2021).

En este contexto, se destacan principios fundamentales de la EC: reducir, reutilizar y reciclar, los cuales se adaptan al contexto del agua a través de la implementación de tecnologías que mejoran su aprovechamiento y garantizan su conservación y cuidado medioambiental. El primero, implica el uso eficiente para evitar el desperdicio; el segundo, se refiere al procesamiento de aguas residuales para que puedan volver a utilizarse, devolviendo el agua al medio ambiente en una calidad igual o superior a la original (Da Silva & Pasold, 2019); por último, el principio “reciclar”, busca promover el uso de agua tratada para reemplazar la demanda de recursos hídricos naturales (Stankiewicz et al., 2024).

La EC también se apoya en la optimización de los recursos hídricos mediante el empleo de tecnologías que no solo mejoran su uso en todos los sectores, sino que también ayudan en su gestión y conservación (Mohammad & Mezzenga, 2024). Por ello, implementar estrategias contribuye a la sostenibilidad, reduciendo la dependencia de fuentes naturales y promoviendo la optimización del ciclo del agua, un sistema más sostenible y, al mismo tiempo, respetuoso con el medio ambiente (CEPAL, 2024). Sin embargo, este proceso innovador enfrenta desafíos, como los costos iniciales y las barreras tecnológicas, que limitan su adopción a gran escala.

### Tecnologías y métodos para el reciclaje y la reutilización del agua

Entre la implementación de tecnologías y métodos que favorecen al modelo de EC se encuentra la desalinización por ósmosis inversa, proceso que promueve el acceso al agua potable en regiones con escasez de recursos hídricos, contribuyendo a la sostenibilidad al ofrecer agua limpia y asequible. Asimismo, la recolección de agua de lluvia (por sus siglas en inglés, RWH) representa una alternativa viable y sostenible para las fuentes convencionales, ayudando a reducir la escorrentía y proporcionando agua para usos no potables (Shemer et al., 2023).

El método de reutilización sirve como estrategia que tiene mejores resultados en la agricultura, debido a que las aguas residuales tratadas contienen nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que las favorecen al reducir la necesidad de fertilizantes químicos (Mendoza-Retana et al., 2021). Además, existen estrategias que permiten la reducción, reutilización y reciclaje, cuyo objetivo es optimizar el uso de los recursos hídricos (Morsetto et al., 2022). En la reutilización se consideran diferentes tipos dependiendo del modo de extracción como la reutilización directa e indirecta del agua, tanto planeada como no planeada, basadas en el tratamiento adecuado y el control de su distribución (Da Silva & Pasold, 2019).

Con relación a los sistemas avanzados de tratamiento, como los biorreactores de membrana aeróbicos (MBR), estos se encargan de garantizar la efectividad en el tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad de producir efluentes de alta calidad y eliminar patógenos dañinos; sin embargo, para garantizar la seguridad del agua reutilizada, las tecnologías terciarias, como la desinfección UV-C o la ósmosis inversa se convierten en herramientas valiosas (Stankiewicz et al., 2024), así como los procesos físicos como la sedimentación y la aireación útiles para la eliminación de sólidos suspendidos y la descomposición de materia orgánica en las aguas residuales (Jimenez et al., 2024). Finalmente, la tecnología de las biorefinerías en las plantas de tratamiento de aguas permiten recuperar nutrientes y generar biogás, favoreciendo la eficiencia y sostenibilidad de los recursos hídricos, y reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables (Impluvium, 2020).

En esta línea de ideas, la mejora continua en la captación de agua de lluvia ayuda a diversificar las fuentes de abastecimiento, especialmente en áreas rurales y urbanas con limitados recursos hídricos (Shemer et al., 2023).

### Experiencias internacionales en la aplicación de la EC de los recursos hídricos

Algunas ciudades y países en el mundo se han visto en la necesidad de implementar políticas innovadoras que aborden la contaminación del agua y promuevan su reutilización. En países desarrollados, las inversiones en infraestructura y regulación han reducido la contaminación de fuentes específicas, mientras que en economías emergentes, es evidente la falta de gestión de aguas residuales, convirtiéndose en un desafío para la conservación de la biodiversidad. En este contexto, la reutilización de aguas residuales tratadas se ha reconocido como una solución clave para aliviar el estrés hídrico, promoviendo su uso en la agricultura y la industria; además la cooperación regional y



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

29 - 38

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA AL AGUA: PERSPECTIVAS PARA EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



la inversión en tecnologías innovadoras son esenciales para cumplir el objetivo de mejora en la calidad del agua y garantizar su disponibilidad sostenible (du Plessis, 2022).

En países latinoamericanos como Brasil, la reutilización es cada vez más difundida, en un inicio fue impulsada por los reflejos financieros asociados a los instrumentos instaurados por la Ley 9433 de 1997, que tienen como objetivo la implementación de la Política Nacional de Recursos Hídricos; sin embargo, entre los desafíos para la óptima aplicación está la falta de legislación específica y la baja adopción de estrategias relacionadas a la reutilización pese a la gran cantidad de recursos hídricos que poseen. Si bien se han desarrollado iniciativas en sectores industriales y urbanos, es necesaria la creación de una legislación sólida que incentive el uso sostenible del agua. No obstante, estrategias como las "5Rs" (reducir, reutilizar, reciclar, restaurar y recuperar) podrían fortalecer la sostenibilidad hídrica en contextos similares (Da Silva & Pasold, 2019).

España, en contraste, cuenta con una estructura avanzada de gestión y legislación, sirviendo como modelo en la gestión del agua dentro de la EC, que se destaca en el tratamiento y reutilización de aguas residuales, porque la reforma del Plan Hidrológico Nacional en 2004 promovió el uso prioritario de aguas regeneradas en zonas con escasez. Luego, con el Real Decreto 1620/2007, se estableció un marco legal claro para su reutilización, definiendo responsabilidades y estándares de calidad; además, este país cuenta con más de 320 Estaciones de Regeneración de Aguas (ERA) y una capacidad de reutilización de 300 Hm<sup>3</sup>/año, debido a que su modelo se basa en planificación, descentralización de la gestión y colaboración entre sectores público y privado (Da Silva & Pasold, 2019).

En Italia, se ha desarrollado un marco normativo para la reutilización de lodos de depuradora, alineado con regulaciones europeas bajo el Decreto Legislativo N.º 152/99, cumpliendo con el artículo 26 donde se promulgó el Decreto Ministerial N.º 185/2003; además, la Directiva 1986/278/CEE fue adoptada mediante el Decreto Legislativo N.º 92/99, mientras que el Decreto Legislativo N.º 152/2006 estableció normas generales para la gestión de residuos. A nivel europeo, diversas directivas han regulado esta materia, como la 1986/278/CEE (lodos de depuradora), 1999/31/CEE (vertidos) y 2008/98/CE (gestión de residuos) (Manina et al., 2021).

A pesar de su baja densidad poblacional, Arabia Saudita enfrenta un estrés hídrico extremo debido a su clima árido, con precipitaciones anuales inferiores a 100 mm y altas tasas de evaporación que limitan el agua superficial. La sobre extracción de aguas subterráneas dificulta el abastecimiento para la población y sectores productivos, por lo que el país depende en gran medida de la desalinización y la importación de agua para mitigar la escasez (Shemer et al., 2023; Mohammad & Mezzenga, 2024).

En contraste, Bélgica, con una mayor densidad de población, mantiene niveles de estrés hídrico relativamente bajos gracias a su clima con mayores precipitaciones y sólidas prácticas de gestión del agua; sin embargo, la alta densidad poblacional afecta la calidad del agua potable y la eficiencia del suministro debido a la congestión; además, la urbanización e industrialización en regiones bajas aumentan la contaminación de los cuerpos de agua (Mohammad & Mezzenga, 2024).

En suma, la implementación de la EC en la gestión del agua ha mostrado avances significativos en diversas regiones del mundo, con casos destacados en países como España y Brasil, que han adoptado políticas y marcos regulatorios innovadores. A pesar de los desafíos, como la falta de legislación en economías emergentes, los esfuerzos en reutilización de aguas residuales, el tratamiento y la cooperación internacional son fundamentales para abordar la escasez hídrica; asimismo, la colaboración entre el sector público y privado, junto con tecnologías sostenibles, son una estrategia clave para garantizar la gestión eficiente del recurso y la sostenibilidad a largo plazo.

### Políticas públicas relacionados a la gestión de los recursos hídricos

Entre las políticas públicas que promueven el reciclaje y la reutilización se encuentra el proyecto WIDER UPTAKE, financiado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea, el cual tiene como objetivo principal impulsar la EC de los recursos hídricos, superando barreras tecnológicas, regulatorias y económicas, mediante la integración de industrias como la agrícola y de construcción. Asimismo, el marco WICER busca establecer un enfoque holístico para la gestión del agua urbana, integrando resiliencia y mitigación del cambio climático en la sostenibilidad del recurso hídrico (Manina et al., 2021; Delgado et al., 2024).

Según UNESCO (2023) las alianzas público-privadas (APP) son clave en el abastecimiento y saneamiento del agua, debido al trabajo conjunto de la inversión privada con la regulación estatal. Aunque las autoridades públicas deben garantizar el acceso equitativo, las APP permiten financiamiento, gestión eficiente y marcos legales claros para lograr los objetivos propuestos; sin embargo, persisten desafíos, como desigualdades en costos y barreras regulatorias que el Banco Mundial destaca como relevantes en ciudades con alta población vulnerable. En este sentido, la



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

29 - 38

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA AL AGUA: PERSPECTIVAS PARA EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN

Sara Luz García Ccahuana

ORCID: 0009-0003-8018-3643

<https://revista.scienceevolution.com/>



ejecución transparente y regulada de las APP pueden mejorar la sostenibilidad y accesibilidad del agua potable y saneamiento.

Asimismo, CEPAL llevó a cabo una misión de capacitación en Quintana Roo, México, enfocada en promover la EC en el sector de agua potable y saneamiento con sesiones teóricas, mesas de trabajo técnico y visitas a plantas de tratamiento de aguas residuales locales, enfocados en el aprovechamiento de metano, la recuperación de nutrientes y la eficiencia energética. Además, se evaluaron mejoras específicas en las plantas y se desarrollaron planes de prefactibilidad e inversión en tecnologías circulares, con el fin de compartir conocimientos y fomentar la participación ciudadana en iniciativas de sostenibilidad hídrica (CEPAL, 2023)

### **Beneficios, desafíos y limitaciones en la implementación de la EC de los recursos hídricos**

Para Shemer et al. (2023) el sector del agua enfrenta varios obstáculos que dificultan la innovación de estrategias que sean favorables para el cuidado del recurso hídrico. Entre los más destacados se encuentran el elevado coste inicial y la larga vida útil de la infraestructura existente, lo cual limita la capacidad de integrar nuevas tecnologías; además, el bajo coste del agua reduce la financiación disponible para futuras inversiones y las normativas vigentes no favorecen a la innovación, aunque algunas faciliten el avance, las empresas encargadas de la gestión del agua no suelen priorizar los esfuerzos de investigación y desarrollo.

Además, los desafíos normativos abarcan la necesidad de revisar o crear nueva legislación que favorezca una mayor integración entre sectores, la Estrategia Común puede ser útil para actualizar la legislación existente; por otro lado, los desafíos de gobernanza se relacionan con la distribución de roles y responsabilidades en el diseño e implementación de estrategias para el agua potable y el alcantarillado; asimismo, la educación, la aceptación y el compromiso de la sociedad son cruciales para el cumplimiento de estas metas. Por este motivo, quienes tienen la responsabilidad de la creación de políticas y toma de decisiones deben priorizar la atención de los desafíos normativos, de gobernanza e implementación (Morseletto et al., 2022).

Por otro lado, la reutilización de aguas residuales y lodos de depuradora presenta deficiencias como la aceptación pública, dado el rechazo generalizado al uso de agua reciclada en aplicaciones de contacto directo con seres humanos. Desde el punto de vista económico, el alto coste del agua recuperada puede limitar su viabilidad; luego, en el ámbito regulatorio, la falta de normativas unificadas en la UE genera incertidumbre, aunque el Reglamento (UE) 2020/741 es preciso en el tema. Finalmente, existen barreras técnicas, como los desafíos en el compostaje de lodos y los estrictos límites de contaminantes que dificultan su uso agrícola (Manina et al., 2021).

En tal sentido, las limitaciones en este campo según Cepal (2021), se encuentran en la falta de valoración de los servicios ecosistémicos, siendo el insuficiente conocimiento sobre la interdependencia de los ecosistemas, lo que puede llevar a una baja valorización del recurso. Además, en los desafíos espaciales y temporales, la escala de análisis puede no coincidir con la extensión geográfica o temporal de los impactos generados por el derroche de agua. También debe considerarse que el impacto de los límites ambientales afectan la precisión de las estimaciones, mientras que la incertidumbre dificulta la obtención de consensos en la población. Por último, resalta que la transferencia de datos y las brechas de conocimiento hacen más compleja obtener la aprobación de estrategias naturales para la conservación, lo que afecta la toma de decisiones.

Se argumenta que el aumento en la demanda del recurso hídrico, energía y tierra para la producción local de alimentos, la creciente necesidad de investigar fuentes alternativas de recursos hídricos, como la desalinización y la reutilización de aguas residuales, plantea desafíos tanto económicos como tecnológicos, dificultando la recuperación de tierras y el aprovechamiento de suelos marginales. Por ello, para lograr una implementación efectiva de la EC del recurso hídrico, es fundamental mejorar el rendimiento de los cultivos y desarrollar nuevas tecnologías agrícolas en favor del desarrollo ecológico (UNESCO, 2023).

Los beneficios de una adecuada ejecución de la EC del agua, incluye la mejora de la seguridad alimentaria mediante el uso seguro de aguas residuales y lodos en la agricultura, lo que reduce la dependencia de fertilizantes químicos y la recuperación de costos de saneamiento. Además, fomenta la conservación del agua dulce y la reducción de la contaminación, beneficiando tanto al medio ambiente como a las comunidades locales y contribuyendo al tratamiento adicional de aguas residuales y al intercambio eficiente de recursos hídricos entre sectores, esto no solo fortalece la resiliencia de los sistemas hídricos, sino también promueve una gestión más sostenible (UNESCO, 2021).

Además, en su implementación, uno de los principales obstáculos es la seguridad alimentaria y sanitaria, dado que el uso inadecuado de aguas residuales provocaría enfermedades en los usuarios. El cambio climático, por una parte, también representa un desafío importante, porque afecta la



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

1.13

ENERO - MARZO 2025

Artículo de Revisión

29 - 38



infraestructura de saneamiento y la disponibilidad de agua; por otra parte, los problemas de justicia ambiental, se exhibe en la gestión inadecuada de los recursos en el reparto desigual del agua en los sectores más vulnerables, por lo que la adopción de estrategias sostenibles mejoran la situación actual en la sociedad (UNESCO, 2023).

En esta línea de ideas, la falta de una gobernanza centralizada eficiente para regular la gestión del agua, la desalinización y el tratamiento de aguas residuales representa un obstáculo importante, además de la escasa educación y concienciación sobre la escasez de agua que limita la adopción de prácticas sostenibles. También, la infraestructura inadecuada puede dificultar el tratamiento y la distribución eficiente del agua, por lo que es importante crear un plan que reduzca los costos de las nuevas tecnologías y mitigue la resistencia a su adopción para garantizar la transición hacia un modelo circular, sin afectar la sostenibilidad y eficiencia de los recursos hídricos (Shemer et al., 2023).

La EC del agua se perfila como un modelo sostenible que promueve la reducción, reutilización y reciclaje del recurso hídrico; sin embargo, debido a las barreras políticas, económicas, tecnológicas, resistencia cultural, falta de regulaciones estándar e inversión inicial requerida para desarrollar infraestructura y procesos tecnológicos de tratamiento de agua, como la ósmosis inversa y los biorreactores de membrana, los cuales han demostrado ser eficaces en la reutilización de aguas residuales, limitan su aplicación en países con escasos recursos y dificultan su adopción, puesto que requieren de un alto presupuesto para su mantenimiento. En el ámbito social, la aceptación del agua reciclada sigue siendo un desafío debido a percepciones negativas sobre su calidad y seguridad; y, políticamente, la falta de regulaciones homogéneas y la fragmentación en la gestión del agua obstaculizan el progreso de la transición hacia un modelo circular efectivo.

Aún se requiere continuar la investigación en el tema para comprender el impacto que tiene la aplicación de la EC de los recursos hídricos en la salud pública y biodiversidad. Además, es importante continuar explorando y perfeccionando las políticas que ayuden a la optimización y cuidado de los recursos naturales, así como una clara difusión de información de la materia.

## CONCLUSIONES

La disminución, reutilización y reciclamiento basado en la Economía Circular (EC) admite adecuar el recurso hídrico a través de la creación de las técnicas tecnológicas que contribuyan al perfeccionamiento de su empleo, avalando su protección y subsistencia climática. También, la función efectiva de estos sistemas tecnológicos evitan el despilfarro de la fuente de agua, transformando y reprocesando las aguas servidas en fuentes de agua para el provecho del individuo.

Las compañías plantean acciones para la administración del recurso hídrico que se organizan de la base de la economía circular, tomando en consideración la innovación tecnológica de aguas servidas, dado que estas se logran reciclar para su consumo, reduciendo la porción del vital líquido contaminado que será tratado y eliminado de una zona específica. Además, la vertiente de agua manufacturera se puede recuperar según la cantidad adecuada para sus componentes y las metodologías físico-químicas, permitiendo la reducción del uso del vital líquido.

Desde el punto de vista de la innovación en cuanto a los procesos tecnológicos y metodologías que permitan favorecer la EC, destacando la eliminación de la sal del agua de mar para purificarla, lo que promueve el desarrollo sostenible del agua limpia y permite

su adquisición. Por otro lado, procesos innovadores tienen un papel importante en el perfeccionamiento de la eficacia y la satisfacción de las necesidades en la gestión de los recursos hídricos, porque los avances tecnológicos permiten darle seguimiento de forma instantánea, la repetición y uso de las aguas residuales, y los distintos procesos técnicos de irrigación que permite la optimización de la fuente de agua, fomentando su reaprovechamiento y su recuperación como parte de la EC.

El reaprovechamiento de las aguas servidas que son reproducidas se debe al uso de acciones tecnológicas para su mitigación en los cultivos y las industrias; además estas tecnologías colaboran con la inversión financiera presupuestada para su desarrollo competitivo, los cuales son indispensables para lograr los propósitos organizacionales de perfeccionamiento en la eficacia de la fuente de agua y el medio sustentable. Por ello, la EC en la gestión de los recursos hídricos evidencia avances en diversos sectores de las economías mundiales, ejemplo de ello es España y Brasil, que al implementar acciones gubernamentales y legales permiten adaptarse a las exigencias de los países en vías de desarrollo.



En el ámbito de las instituciones públicas y privadas dentro del cada Estado nación, conjuntamente con los procesos tecnológicos sustentables, permiten certificar una administración con eficacia de la fuente de agua y su razonabilidad en los próximos años, dado que fundamentan la existencia de adelantos en cuanto a las gestiones gubernativas que le permitan prosperar de forma positiva en el establecimiento de la EC con el establecimiento de estándares idóneos para su empuje.

Por tal razón, se demanda la actuación de los profesionales y científicos que promuevan la actividad que genere conocimiento en cuanto a las acciones de administración del recurso hídrico, aumentando el fomento de artículos e informes científicos, donde se aborden mejores prácticas en torno a las asociaciones de innovación y colaboración tanto dentro como fuera del sector del agua. Se examinó la forma de establecer nuevas alianzas, reconociendo las barreras principales, los facilitadores para la implementación de la innovación y las lagunas de conocimiento desde la fase de desarrollo.

## REFERENCIAS

Awasthi, A., Gandhi, K., & Rayalu, S. (2024). Greywater treatment technologies: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 1053–1082. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04940-7>

Blanco, E., Fernández, D., Marina, G. S., Llavona, A., Montañez, A., Naranjo, L., Silvia, S. M., & Sarmanto, N. (2022). *Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/28d129e6-2774-4544-9437-fe8e5622aa50>

CEPAL. (2023). *CEPAL: Economía circular en el sector de agua potable y saneamiento (México)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/eventos/cepal-economia-circular-sector-agua-potable-saneamiento-mexico>

CEPAL. (2024). *Sesión 7 "Oportunidades de la economía circular en el sector del saneamiento – Hacia una hoja de ruta para ALC" - Diálogos Regionales del Agua para América Latina y el Caribe 2024*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/notas/sesion-7-opportunidades-la-economia-circular-sector-saneamiento-hoja-ruta-alc-dialogos>

Da Silva Antunes de Souza, M. C., & Pasold, C. L. (2019). La reutilización del agua en el ámbito de la economía circular y sostenibilidad. *Revista Chilena de Derecho y Ciencia Política*, 10(2), 155-172. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7329350>

Delgado, A., Rodriguez, D. J., Amadei, C. A., & Makino, M. (2024). Water in Circular Economy and Resilience (WICER) Framework. *Utilities Policy*, 87, 101604. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101604>

du Plessis, A. (2022). Persistent degradation: Global water quality challenges and required actions. *One Earth*, 5(2), 129-131. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.005>

Hernández-Chover, V., Castellet-Viciano, L., Bellver-Domingo, Á., & Hernández-Sancho, F. (2022). The Potential of Digitalization to Promote a Circular Economy in the Water Sector. *Water*, 14(22), 3722. <https://doi.org/10.3390/w14223722>

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, 714 p.

Impluvium (2020) *Economía circular en el sector hídrico*. Red del Agua UNAM <https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero09.pdf>

Jiménez Tamayo, F. M., Moreno López, J. A., Encalada Zumba, M. C., & Vargas Peralvo, E. A. (2024). Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica. *La Técnica. Revista de las Agrociencias*, 14(2), 103–117. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6467>

Mannina, G., Badalucco, L., Barbara, L., Cosenza, A., Di Trapani, D., Gallo, G., Laudicina, V. A., Marino, G., Muscarella, S. M., Presti, D., & Helness, H. (2021). Enhancing a Transition to a Circular Economy in the Water Sector: The EU Project WIDER UPTAKE. *Water*, 13(7), 946. <https://doi.org/10.3390/w13070946>

Mendoza-Retana, Sarai Shesareli, Cervantes-Vázquez, María Gabriela, Valenzuela-García, Ana Alejandra, Guzmán-Silos, Tania Lizzeth, Orón-Castillo, Ignacio, & Cervantes-Vázquez, Tomás Juan Alvaro. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>



Mohammad Peydayesh & Raffaele Mezzenga (2024) The circular economy of water across the six continents. *The Royal Society of Chemistry*  
<https://doi.org/10.1039/D3CS00812F>

Morseletto, P, Mooren, C. E., & Munaretto, S. (2022). Circular economy of water: Definition, strategies, and challenges. *Circular Economy and Sustainability*, 2, 1463–1477.  
<https://doi.org/10.1007/s43615-022-00165-x>

ONU HABITAT (2021) *Comprender las dimensiones del problema del agua*.  
[https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?utm\\_source=chatgpt.com](https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?utm_source=chatgpt.com)

Sánchez Calderón, M., Gutiérrez Rojas, C., Viancos-González, P., & González, P. (2024). Economía circular del agua en Latinoamérica: Un análisis de eficiencia y productividad. *Revista De Ciencias Sociales*, 30, 745-759.  
<https://doi.org/10.31876/rcs.v30i.42874>

Shemer, H., Wald, S., & Semiat, R. (2023). Challenges and Solutions for Global Water Scarcity. *Membranes*, 13(6), 612.  
<https://doi.org/10.3390/membranes13060612>

Stankiewicz, K., Boroń, P., Prajsnar, J., Żelazny, M., Heliasz, M., Hunter, W., & Lenart-Boroń, A. (2024). Second life of water and wastewater in the context of circular economy – Do the membrane bioreactor technology and storage reservoirs make the recycled water safe for further use? *Science of The Total Environment*, 921, 170995.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170995>

UNESCO (2021) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: el valor del agua*. UNESCO Biblioteca Digital  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890.locale=es>

UNESCO (2023) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua*. UNESCO Biblioteca Digital  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807.locale=es>

WMO. (2024). *WMO report highlights growing shortfalls and stress in global water resources*. World Meteorological Organization.  
<https://wmo.int/news/media-centre/wmo-report-highlights-growing-shortfalls-and-stress-global-water-resources#:~:text=Currently%2C%203.6%20billion%20people%20face,6%20on%20water%20and%20sanitation.>