

## El Rol de la Economía Circular dentro del Marco de los Recursos Hídricos: Una revisión

Collazo Alfaro Guadalupe<sup>1</sup>, Parra González José Silvestre<sup>1</sup>, Zúñiga Soto David Uriel<sup>2</sup>, Gutiérrez Ortega Norma Ieticia<sup>1\*</sup>, Serafin Muñoz Alma Hortensia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ingenierías., Avenida Juárez No.77. Zona Centro. Guanajuato, 36000, Guanajuato, México.

<sup>2</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Noria Alta S/N, Guanajuato, 36050, Guanajuato, México.

g.collazoalfaro@ugto.mx, js.parragonzalez@ugto.mx, du.zunigasoto@ugto.mx,

\*[sermuah@ugto.mx](mailto:sermuah@ugto.mx), \* [normagut@ugto.mx](mailto:normagut@ugto.mx)

### Resumen

La economía circular surge como una alternativa al modelo lineal tradicional, frente al agotamiento de recursos naturales y la inestabilidad geopolítica, y propone un sistema regenerativo basado en tres principios: eliminar residuos desde el diseño, mantener productos en uso y regenerar los sistemas naturales. Su evolución ha sido influenciada por disciplinas como la economía ambiental, la ecología industrial y la biomimética. Dentro de este enfoque, el agua ocupa un papel clave debido a su escasez global. La economía circular del agua promueve su reutilización, la recuperación de nutrientes y energía, y la reducción del consumo de agua dulce. Sectores industriales como el alimentario, textil y químico, así como las ciudades inteligentes, han adoptado estrategias circulares para mejorar la gestión hídrica. Un análisis bibliométrico identificó los principales conceptos del campo, evidenciando su crecimiento y multidisciplinariedad. Además, el interés global en la economía circular abre oportunidades para la cooperación internacional en la gestión sostenible del agua.

**Palabras clave:** Economía circular; VOSviewer; recursos hídricos; diseño sostenible; comunidades sostenibles.

### Abstract

The circular economy emerges as an alternative to the traditional linear model, in the face of natural resource depletion and geopolitical instability. It proposes a regenerative system based on three principles: eliminating waste from the design stage, maintaining products in use, and regenerating natural systems. Its evolution has been influenced by disciplines such as environmental economics, industrial ecology, and biomimicry. Within this approach, water plays a key role due to its global scarcity. The circular water economy promotes its reuse, the recovery of nutrients and energy, and the reduction of freshwater consumption. Industrial sectors such as food, textiles, and chemicals, as well as smart cities, have adopted circular strategies to improve water management. A bibliometric analysis identified the main concepts of the field, highlighting its growth and multidisciplinary nature. Furthermore, global interest in the circular economy, especially in countries like Finland and Peru, opens up opportunities for international cooperation in sustainable water management.

**Key words:** Circular economy; VOSviewer; water resources; sustainable design; sustainable communities.

## 1. Introducción

La transición hacia una economía circular responde a múltiples presiones y desafíos globales contemporáneos. El crecimiento exponencial de la demanda de materias primas, impulsado por el aumento de la población mundial y el desarrollo económico, ha generado una creciente escasez de recursos naturales finitos (da Silva & Rosamilha, 2024; Liu et al., 2025). Esta situación se ve agravada por la dependencia geopolítica de ciertos materiales críticos, lo que plantea riesgos significativos para la seguridad económica y el suministro de

recursos (Gorgon et al., 2024). La economía circular (EC) representa una transformación que desafía el modelo económico tradicional lineal basado en “extraer, fabricar, desechar”(da Silva & Rosamilha, 2024). Este nuevo enfoque propone un sistema regenerativo que busca mantener los productos, componentes y materiales en su máximo nivel de utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos. La transición hacia este modelo representa una respuesta a las crisis ambientales contemporáneas incluyendo el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad y la contaminación (Kirchherr *et al.*, 2017). La EC se fundamenta en tres principios que son esenciales y además de que actúan como pilares estructurales del sistema. El primer principio consiste en eliminar los residuos y la contaminación desde el diseño, reconociendo que la mayoría de los impactos ambientales se determinan durante la fase de diseño del producto (Rayavellore Suryakumar & Pavithra, 2020). El segundo principio se enfoca en mantener productos y materiales en uso el mayor tiempo posible, maximizando su valor a través de estrategias como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. El tercer principio busca regenerar los sistemas naturales, trabajando con la naturaleza en lugar de contra ella para restaurar y revitalizar los ecosistemas (Liu et al., 2025).

Dentro del desarrollo teórico inicial y proporcionando las bases científicas para comprender las interacciones entre los sistemas económicos y ambientales, la economía ambiental y la ecología industrial fueron piezas importantes(Gorgon et al., 2024). Este enfoque se ha nutrido de múltiples enfoques, incluyendo la biomimética que se encarga de estudiar como los sistemas operan en ciclos cerrados sin generar residuos y a su vez es crucial para entender que en la naturaleza, los desechos de los organismos se pueden convertir los nutrientes para otros, estableciendo redes complejas de interdependencia y regeneración (Liu et al., 2025). Por lo que, el marco conceptual de la economía circular ha evolucionado significativamente desde sus fundamentos teóricos iniciales. Los trabajos pioneros de Boulding sobre la “economía astronauta” que sentaron las bases para comprender la finitud de los recursos terrestres. Posteriormente, los desarrollos de Stahel y Reday sobre la “economía del bucle” y los aportes de McDonough y Braungart con su concepto de “cuna a cuna” consolidaron los principios fundamentales del pensamiento circular (Gorgon et al., 2024)

La EC del agua emerge como un enfoque innovador que reconoce al agua como un elemento único en el sistema económico, funcionando simultáneamente como recurso, producto y servicio(Liu et al., 2025). A pesar del creciente cuerpo de investigación sobre la economía circular del agua, persiste la falta de una terminología consistente y una conceptualización clara de las estrategias. Esta conceptualización implica maximizar el valor derivado del agua, los procesos y las prácticas asociadas, utilizando la recuperación de aguas residuales y recursos hídricos renovables para compensar la explotación e impacto de la extracción de nuevos recursos hídricos (Carrard et al., 2024). El agua, como recurso finito y esencial para la vida, se posiciona en el centro de esta transformación hacia la circularidad. A nivel global, la humanidad enfrenta una crisis hídrica sin precedentes: aproximadamente 2 mil millones de personas carecen de acceso a agua potable gestionada de manera segura, mientras que la demanda mundial de agua aumenta aproximadamente un 1% anual como resultado del crecimiento poblacional, el desarrollo económico y los patrones cambiantes de consumo (Rayavellore Suryakumar & Pavithra, 2020).

Los desafíos ambientales contemporáneos relacionados con los recursos hídricos han catalizado la adopción de enfoques circulares en múltiples sectores económicos. El cambio climático ha intensificado la variabilidad hidrológica, generando eventos extremos como sequías prolongadas e inundaciones devastadoras que comprometen tanto la disponibilidad como la calidad del agua (Sasso et al., 2025). Simultáneamente, la contaminación industrial, el uso intensivo de fertilizantes en la agricultura y la urbanización acelerada han deteriorado significativamente los cuerpos de agua dulce, creando zonas muertas en océanos y lagos, y comprometiendo la biodiversidad acuática (Valencia et al., 2022).

La implantación de la economía circular de agua presenta múltiples beneficios potenciales esto implica una reducción significativa del consumo de agua dulce, minimización de la generación de aguas residuales y crea nuevas fuentes de valor a través de la recuperación de los recursos (Savini, 2021). La economía circular del agua es un enfoque innovador para la gestión del agua que imita el ciclo natural del agua al cerrar el bucle en el uso del agua y reducir los residuos(Wildeboer & Savini, 2022). Siguiendo este contexto, los marcos regulatorios los políticos están evolucionando para apoyar la transición hacia la economía circular del agua hoy el impacto sobre los recursos agua consecuencia del cambio climático va a provocar serios problemas de escasez en el futuro a corto plazo (Oh et al., 2023)lo que impulsa la necesidad de marcos normativos más robustos. La investigación académica hoy en economía circular del agua ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década los estudios bibliométrica revelan un incremento significativo en las

publicaciones científicas relacionadas con la integración en los principios circulares de la gestión de los recursos hídricos (Min et al., 2022). Los sectores industriales están adoptando progresivamente estrategias circulares para la gestión del agua. La industria alimentaria, textil y química han desarrollado sistemas innovadores para la reutilización y recuperación de agua en sus procesos productivos (Liu et al., 2025). Estos desarrollos demuestran el potencial de la economía circular para transformar sectores intensivos en el uso del agua (Gorgon et al., 2024).

La economía circular del agua también presenta oportunidades significativas para la recuperación de recursos valiosos. Los sistemas avanzados de tratamiento permiten la extracción de nutrientes, energía y otros materiales de las aguas residuales, creando nuevas corrientes de valor económico. Esta perspectiva transforma las aguas residuales de un problema de gestión a una oportunidad de generación de recursos (Arista et al., 2023). La evaluación económica de los sistemas circulares del agua revela beneficios significativos a largo plazo. Los análisis de costo-beneficio indican que las inversiones en infraestructura circular pueden generar retornos positivos a través de la reducción de costos operativos, la creación de nuevas fuentes de ingresos y la mitigación de riesgos hídricos. Estos beneficios económicos refuerzan el caso de negocio para la adopción de enfoques circulares (Gorgon et al., 2024).

Los desafíos de implementación de la economía circular del agua incluyen barreras tecnológicas, económicas y regulatorias. La falta de estándares técnicos uniformes, las limitaciones financieras y las regulaciones fragmentadas pueden obstaculizar la adopción de sistemas circulares (Tiwari & Mohammed, 2024). Sin embargo, las experiencias internacionales exitosas proporcionan lecciones valiosas para superar estas barreras (Curado et al., 2024). El presente trabajo se enfoca en una revisión de la aplicación de la EC dentro de una estructura conceptual de este campo emergente, a través de la utilización de herramientas bibliométricas como VOSviewer y gestores bibliométricos, se generaron mapas de visualización de las palabras claves y términos más relevantes en la literatura científica sobre EC y recursos hídricos, revelando las conexiones conceptuales y tendencias de investigación que definen este dominio del conocimiento.

## 2. Metodología

Se utilizó el software VOSviewer versión 1.6.12 (Arruda et al., 2022; Kirby, 2023) para crear y visualizar redes bibliométricas, que incluyen publicaciones individuales, revistas y otras investigaciones que pueden basarse en citas, acoplamiento bibliográfico, concurrencia y las relaciones de tópicos a fines. Se tomó como base el gestor bibliográfico Mendeley, y como motores de búsqueda Web of Science, PubMed, Springer Journals y Elsevier principalmente. Una vez generados los mapas de la red bibliométrica, se creó una tabla resumen para gestionar la literatura más relevante. A partir de la investigación de la red bibliométrica, se seleccionó parte de la bibliografía más citada e ilustrativa (incluidos artículos, capítulos de libros, manuales y otras revisiones bibliográficas) como material de referencia básico para la redacción de la presente revisión bibliográfica. En la Figura 1, se muestra el diagrama de flujo para la creación del mapa en VOSviewer.

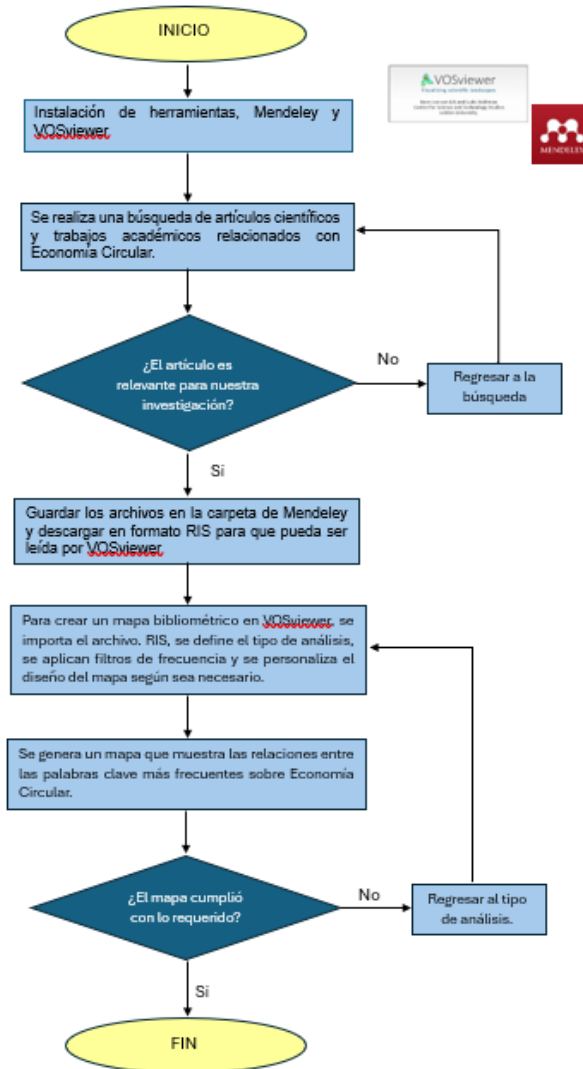


Figura 1. Esquema metodológico en la utilización de los gestores bibliográficos y herramientas bibliométricas.

### 3. Resultados y discusión

El análisis de palabras clave generó un mapa de red que incluye 140 términos distribuidos clústers principales, con un total de 1000 enlaces que representan las coocurrencias entre conceptos. El análisis de coocurrencia reveló una red de las palabras clave distribuidas en tres grupos principales, evidenciando la naturaleza multidisciplinaria y la estructura temática bien definida del campo de la economía circular. Como resultado se obtiene los principales conceptos que son fundamentales para entender la economía circular.

En el mapa generado con ayuda de la herramienta “VOSviewer” (Figura 2), podemos identificar tres clústeres en los que se agrupan los amplios campos que abarca este tema:

El primer clúster y más grande es el que podemos identificar con el color rojo. Se observa una alta densidad de conexiones que podemos encontrar en este sector, así como que se observan las palabras clave con mayor uso de la bibliografía analizada, podemos llegar al pensamiento de que este clúster se refiere a conceptos

básicos necesarios para el entendimiento y aplicación de la economía circular en distintos sectores. Este clúster explica que dentro de la economía circular hay un constante cambio e innovación, ya que se busca el tratamiento y transformación de los residuos, para su reincorporación a otro proceso. Así como funcionar como los primeros pasos para llegar a ese modelo económico regenerativo (Nagpal et al., 2024; Savini, 2021) .

En cuanto al clúster azul, podemos observar que es el menos poblado de conceptos y conexiones. Se refiere a la implementación y aprovechamiento de la economía circular, así como el impacto que la misma puede tener sobre el medio ambiente. Se llegó a este razonamiento debido a que se repiten palabras como “impacto”, “emisiones”, “uso”, etc. Este clúster es importante porque reafirma que la economía circular es un tema de suma importancia y que cada vez es más requerida en el avance económico de la población a nivel mundial, mientras que se preservan los recursos naturales y por ende al medio ambiente.

El último clúster es el que se identifica con el color verde, es el segundo más denso en cuanto a conexiones y palabras clave que podemos encontrar. En esta sección se encuentra el apartado referente al aprovechamiento y tratamiento de residuos, lo cual es un pilar importante para la economía circular y su aplicación, ya que esta busca utilizar los residuos como materia prima o que se reincorporen al medio ambiente. Así mismo, podemos encontrar palabras clave relacionadas a la cultura y educación hídrica, otro concepto importante para el tema principal. Es de resaltar que en el clúster identificado en color rojo representa los conceptos básicos necesarios para comprender y aplicar la economía circular en diversos sectores, destacando la innovación constante y la transformación de residuos en recursos útiles. El clúster azul, aunque menos denso, aborda el impacto ambiental y la importancia de adoptar este modelo para preservar el equilibrio ecológico. Por su parte, el clúster verde resalta el papel del tratamiento de residuos y la educación hídrica como elementos esenciales para la implementación efectiva de prácticas circulares.

En referencia al mapa de análisis de la concurrencia (Figura 2) y cada una de las secciones que lo conforman, podemos observar que la mejor manera el impacto que tiene la economía circular y la línea de desarrollo qué sigue en la actualidad. Por lo que posteriormente se generó una tabla con las palabras destacadas del mapa de análisis, con la finalidad de explicar de mejor manera el tema. Todo parte del entender que la economía circular busca ser un modelo económico basado en aprovechar todos los recursos, residuos y materiales al máximo y de esta manera avanzar a un sistema económico más sustentable. A partir de esta premisa, podemos observar varias ramificaciones de la economía circular, pero las más destacadas son el tratamiento de aguas y el reúso de materiales y residuos para funcionar como materias primas secundarias. El mapa nos indica que la mayor problemática de la actualidad y que más interesa solucionar a la economía circular, es la cantidad de residuos que se generan, ya que esto deriva a una serie de problemáticas aún mayores, como las emisiones de gases de tipo invernadero, la poca disponibilidad de agua potable, el daño al medio ambiente y las especies que habitan en la Tierra. Al mismo tiempo, todos estos problemas afectan directamente a la salud y desarrollo del ser humano.

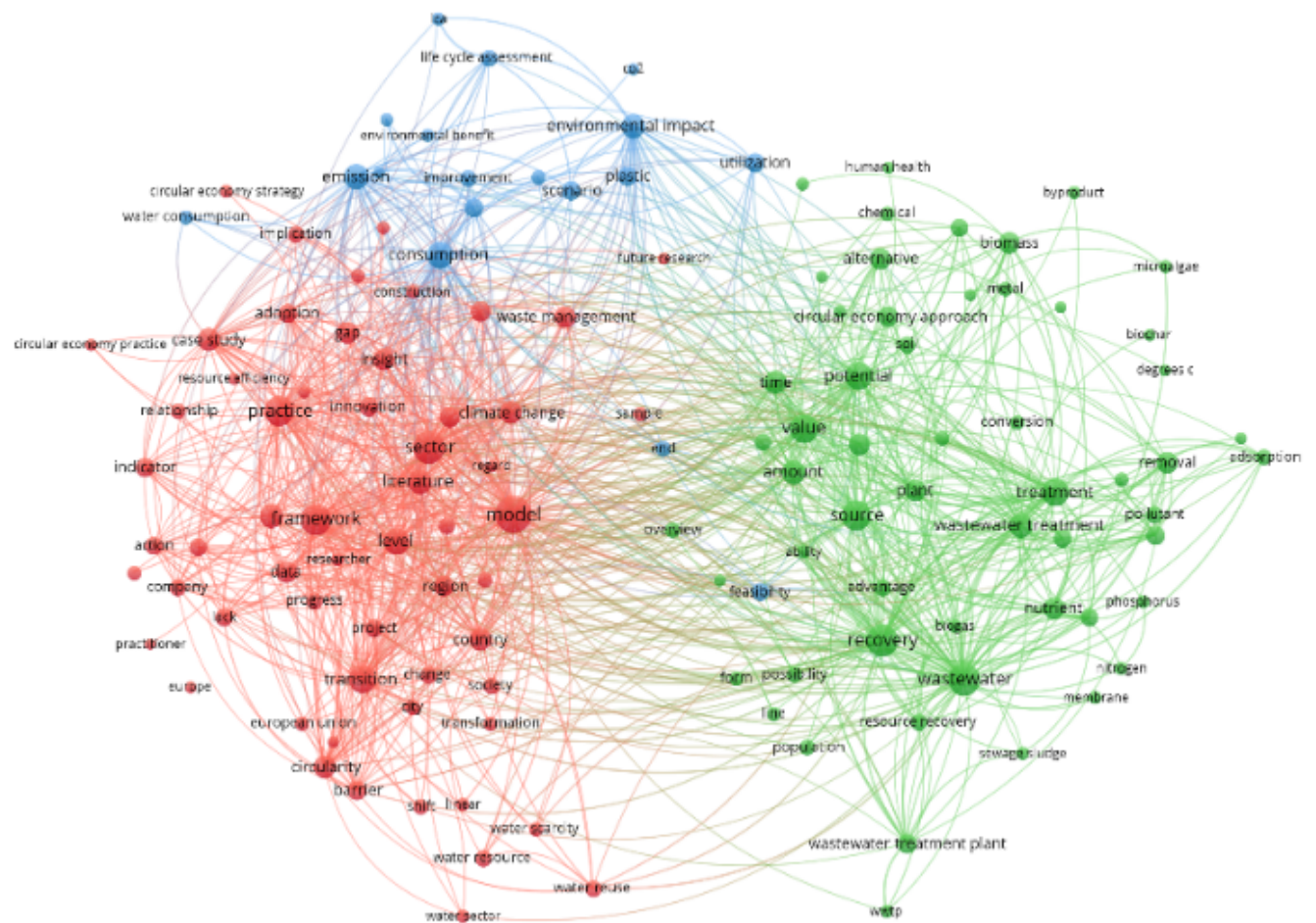


Figura 2. Mapa de análisis de la co-ocurrencia de palabra clave sobre la economía circular, elaboración propia a través del software VOSviewer versión 1.6.12.

Tabla 1. Relación de los tópicos de relevancia en base a los diferentes clústers representados en el mapa generado en Vosviewer (Figura 2). Elaboración propia.

Término	Descripción	Clúster	Relevancia	Referencias
<b>Circular Economy</b>	Modelo económico regenerativo que busca mantener productos, componentes y materiales en su máximo nivel de utilidad y valor, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos	Rojo	Muy Alta	(Xavier et al., 2021)
<b>Wastewater Treatment</b>	Procesos físicos, químicos y biológicos para remover contaminantes de aguas residuales, transformando plantas de tratamiento centralizadas y descentralizadas mediante tecnologías de recuperación de recursos.	Verde	Muy Alta	(Xin et al., 2016)
<b>Resource Recovery</b>	Concepto donde los productos y materiales deben permanecer en la economía el mayor tiempo posible, y los residuos deben tratarse como materias primas secundarias que pueden reciclarse.	Rojo	Alta	(CHRISPIM, 2021)
<b>Environmental Impact</b>	Evaluación de los efectos ambientales de actividades humanas, incluyendo cambios en ecosistemas, calidad del agua y emisiones atmosféricas.	Azul	Alta	(Truong, 2022)
<b>Sustainability</b>	Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.	Rojo	Muy Alta	(Johl et al., 2024)
<b>Water Recovery</b>	Proceso de recuperación y reutilización de agua tratada como parte de la gestión sostenible que utiliza reducción, reutilización, reciclaje y recuperación en el sector del agua.	Verde	Alta	(Malik et al., 2022)
<b>Anaerobic Digestion</b>	Proceso biológico donde microorganismos descomponen materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y digestato	Verde	Media	(Dhull et al., 2024)
<b>Life Cycle Assessment</b>	Metodología para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta el fin de vida (	Azul	Alta	(Herrera-Franco et al., 2022)
<b>Biogas</b>	Mezcla de gases producida por digestión anaeróbica de materia orgánica, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono	Verde	Media	(Rayavellore Suryakumar & Pavithra, 2020)
<b>Nutrient Recovery</b>	Proceso de recuperación de nutrientes como nitrógeno y fósforo de corrientes de residuos en plantas de tratamiento de aguas residuales como parte de la gestión circular.	Verde	Media	(Sasso et al., 2025)
<b>Waste Management</b>	Sistema integrado de gestión de residuos que incluye generación, almacenamiento, recolección, transporte, procesamiento y disposición final.	Rojo	Alta	(Murthy & Ramakrishna, 2022)
<b>Climate Change</b>	Cambio a largo plazo en las temperaturas y patrones climáticos globales, principalmente causado por actividades humanas desde mediados del siglo XX.	Azul	Alta	(Callegari et al., 2018; Chowdhury et al., 2023)
<b>Energy Recovery</b>	Proceso de recuperación de energía de corrientes de residuos en plantas de tratamiento como parte del marco conceptual de gestión circular.	Verde	Media	(Savini, 2021)
<b>Reuse</b>	Práctica de utilizar agua tratada para propósitos específicos como parte de los principios de economía circular en el sector del agua.	Rojo	Media	(Tsui et al., 2022)
<b>Recycling</b>	Proceso de conversión de materiales de desecho en nuevos materiales y objetos, reduciendo el consumo de materias primas frescas y el uso de energía.	Rojo	Media	(Adegoke et al., 2021)



Figura 3. Mapa de la búsqueda de "economía circular" en el mundo en el periodo junio 2024- junio 2025 (Fuente: Google Trends).

En la búsqueda de tendencias de búsqueda en Google Trends (Figura 3) sobre economía circular representa una herramienta valiosa para comprender el pulso global hacia la sostenibilidad económica. Estas métricas no solo reflejan el interés público, sino que también indican dónde están surgiendo oportunidades de inversión, desarrollo de políticas e innovación tecnológica.

La imagen presenta un mapa mundial y ranking que muestra la popularidad regional del tema "economía circular" según Google Trends entre 2024 y 2025. Los datos revelan un panorama fascinante: Finlandia lidera con una puntuación perfecta de 100, seguida por Perú (73 puntos), esta distribución geográfica sugiere que el interés trasciende las fronteras del desarrollo económico tradicional, combinando países nórdicos con políticas ambientales avanzadas junto a economías latinoamericanas emergentes. El mapa muestra concentraciones de interés principalmente en Europa, partes de América del Norte y regiones específicas de América del Sur, mientras que África y gran parte de Asia presentan menor intensidad en las búsquedas. Este patrón indica que la economía circular está ganando tracción tanto en países con marcos regulatorios establecidos como en economías que buscan activamente modelos de desarrollo más sostenibles, lo que representa una oportunidad única para la cooperación internacional y el intercambio de mejores prácticas entre diferentes contextos económicos y geográficos. La línea del tiempo (Figura 4) resulta fundamental para comprender la evolución conceptual de la economía circular.





Figura 4. Línea del tiempo de la economía circular. Elaboración propia



Figura 5. Collage relación de la economía circular (Open AI). Elaboración a través de adobe Fire Fly modelo 4-2025.

La economía circular es un sistema de economía sustentable que ha surgido como un sistema alternativo al lineal (Suchek et al., 2021). Como hemos observado a lo largo de este trabajo de investigación, este sistema promueve la resolución de varios problemas ambientales actuales, como lo son la contaminación, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Barbero et al., 2024). El ser humano ejerce una gran presión sobre la naturaleza, ya que extrae en exceso recursos naturales para utilizarlos como materia prima en diversos procesos, para posteriormente generar una preocupante cantidad de residuos. Por lo que podemos considerar estas problemáticas como las principales a las que la economía circular responde (Velenturf & Purnell, 2021). La economía circular propone un sistema en el que se regeneran los recursos y se extiende la vida útil de los que se pueden considerar residuos, disminuyendo el impacto ambiental que tienen los mismos. La transición hacia un modelo de economía circular aún es un concepto que se encuentra frente a una serie de adversidades derivadas de la dependencia de la población hacia el sistema de economía lineal que se ha arraigado desde varios años atrás (Mandal et al., 2024; Sasso et al., 2025). En la Figura 5 se representa la economía circular mediante símbolos de reciclaje, energías renovables y prácticas sostenibles como reciclar, reparar, reducir y reutilizar. Se destaca la relación entre economía circular y energía, ya que el uso eficiente de recursos y la adopción de energías limpias reducen el impacto ambiental y promueven un desarrollo sostenible.

## Conclusión

La economía circular se presenta como un modelo alternativo y sustentable frente al sistema económico lineal tradicional. Su enfoque se centra en el aprovechamiento máximo de los recursos, la reducción de residuos y la regeneración de los sistemas naturales. A partir del análisis bibliométrico realizado con la herramienta VOSviewer, se identificaron tres clústeres principales que reflejan las dimensiones clave de este enfoque: los fundamentos conceptuales, el impacto ambiental y la gestión de residuos. A partir de este estudio, se plasma la relevancia de que la EC no solo busca mitigar problemáticas como la contaminación, el cambio climático o la escasez de agua potable, sino que también promueve una transformación profunda en la forma en que la sociedad produce, consume y se relaciona con el entorno natural. De esta manera, se consolida como una vía estratégica hacia un desarrollo económico más resiliente, justo y sostenible.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al comité de Veranos de la Ciencia UG 2025 y a la DAIP-UG por el apoyo otorgado, ya que este producto forma parte del proyecto CIIC DAIP 2025 "Enfoque de la Economía Circular para Tratamientos Sustentables de Residuos Sólidos y Recursos Hídricos: Caso de Estudio Comunidades Marginadas y Rurales".

## Referencias

- Adegoke, S. O., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., Nnodim, C. T., Balogun, A. O., Falode, O. A., & Adetona, S. O. (2021). Energy from biomass and plastics recycling: a review. *COGENT ENGINEERING*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1994106>
- Arista, N. I. D., Handayani, D., & Ernawati, N. (2023). Is It Possible to Implement the Same Circular-Economy Concept in Rural and Urban Areas? Study on Willingness to Pay for Household Waste. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15075843>
- Arruda, H., Silva, E. R., Lessa, M., Proença, D., & Bartholo, R. (2022). VOSviewer and Bibliometrix. In *Journal of the Medical Library Association : JMLA* (Vol. 110, Issue 3). <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434>
- Barbero, J., Rodríguez-Crespo, E., & Santos, A. M. (2024). How are regions using European funds to promote the circular economy? Shedding light on factors explaining the pathway. *APPLIED ECONOMIC ANALYSIS*. <https://doi.org/10.1108/AEA-02-2024-0092>
- Callegari, A., Hlavinec, P., & Capodaglio, A. G. (2018). Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge. *Revista Ambiente e Agua*, 13(2). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2128>
- Carrard, N., Kumar, A., Dao, D. V., Kohlitz, J., Retamal, M., Taron, A., Neemia, N., & Willetts, J. (2024). 8Rs for circular water and sanitation systems: Leveraging circular economy thinking for safe, resilient and inclusive services. *ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101093>
- Chowdhury, R., Caetano, N., Franchetti, M. J., & Hariprasad, K. (2023). Life Cycle Based GHG Emissions from Algae Based Bioenergy with a Special Emphasis on Climate Change Indicators and Their Uses in Dynamic LCA: A Review. *SUSTAINABILITY*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15031767>
- CHRISPIM, M. C. (2021). Resource recovery from wastewater treatment: challenges, opportunities and guidance for planning and implementation. *Frontiers in Neuroscience*, 14(1).
- Curado, M. T., Resende, R., & Rato, V. M. (2024). Circular economy: current view from the construction industry based on published definitions. *SUSTAINABILITY-SCIENCE PRACTICE AND POLICY*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15487733.2024.2364954>
- da Silva, L. F., & Rosamilha, N. J. (2024). SUSTAINABILITY, CIRCULAR ECONOMY, AND PROJECTS: RESEARCH OPPORTUNITIES. *REVISTA DE GESTAO E PROJETOS*, 15(3), 463–475. <https://doi.org/10.5585/gep.v15i3.27650>
- Dhull, P., Lohchab, R. K., Kumar, S., Kumari, M., Shaloo, & Bhankhar, A. K. (2024). Anaerobic Digestion: Advance Techniques for Enhanced Biomethane/Biogas Production as a Source of Renewable Energy. *BIOENERGY RESEARCH*, 17(2), 1228–1249. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10621-7>
- Gorgon, M. I., Bercea, O. B., Pacurariu, R. L., & Boscoianu, M. (2024). SOCIAL ECONOMY AND THE TRANSITION TOWARDS CIRCULAR ECONOMY: A SURVEY BASED APPROACH. *ECONOMICS ECOLOGY SOCIUM*, 8(2), 98–110. <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.2-8>
- Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Mora-Frank, C., & Berrezueta, E. (2022). Bibliometric Analysis of Groundwater's Life Cycle Assessment Research. *WATER*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/w14071082>
- Johl, S. K., Ali, K., Shirahada, K., & Oyewale, O. I. (2024). Green servitization, circular economy, and sustainability a winning combination analysis through hybrid SEM-ANN approach. *BUSINESS STRATEGY AND THE ENVIRONMENT*, 33(8), 8978–8993. <https://doi.org/10.1002/bse.3950>
- Kirby, A. (2023). Exploratory Bibliometrics: Using VOSviewer as a Preliminary Research Tool. *Publications*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/publications11010010>
- Liu, Y., Usman, M., Akbar, A., & Hedvicakova, M. (2025). From Linear to Circular: Assessing the Influence of Circular Economy Practices on Business and Environmental Dynamics. *POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES*, 34(1), 755–766. <https://doi.org/10.15244/pjoes/186581>

- Malik, S., Kishore, S., Bora, J., Chaudhary, V., Kumari, A., Kumari, P., Kumar, L., & Bhardwaj, A. (2022). A Comprehensive Review on Microalgae-Based Biorefinery as Two-Way Source of Wastewater Treatment and Bioresource Recovery. *CLEAN-SOIL AIR WATER*. <https://doi.org/10.1002/clen.202200044>
- Mandal, M. C., Mondal, N., & Ray, A. (2024). Analyzing the Enablers of Circular Economy: A Sustainable Manufacturing Perspective. *PROCESS INTEGRATION AND OPTIMIZATION FOR SUSTAINABILITY*, 8(5), 1465–1482. <https://doi.org/10.1007/s41660-024-00438-y>
- Min, K. J., Oh, D. Y., & Park, K. Y. (2022). Field test of water-net based wastewater treatment for nutrient removal and bioethanol production. *CHEMOSPHERE*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134791>
- Murthy, V., & Ramakrishna, S. (2022). A Review on Global E-Waste Management: Urban Mining towards a Sustainable Future and Circular Economy. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020647>
- Nagpal, R., Rana, D., Mir, N. B., Dwivedi, A., & Mehrotra, D. (2024). Predicting the future trends for circular economy. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEM ASSURANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 15(10), 4905–4922. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02501-w>
- Oh, H., Rhee, H.-P., Cho, S. J., Lee, S.-W., & Hwang, H. S. (2023). A Study on Paldang Reservoir Water Quality Improvement Effect by Pollutant Source Location Regulation Using Watershed-Reservoir Integrated Prediction. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 45(1). <https://doi.org/10.4491/ksee.2023.45.1.43>
- Rayavellore Suryakumar, A. K., & Pavithra, L. J. (2020). Faecal Sludge Treatment and Circular Economy: A Case Study Analysis. In *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy*. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_22)
- Sasso, R. A., Godinho, M., & Ganga, G. M. D. (2025). Synergizing lean management and circular economy: Pathways to sustainable manufacturing. *CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 32(1), 543–562. <https://doi.org/10.1002/csr.2962>
- Savini, F. (2021). The circular economy of waste: recovery, incineration and urban reuse. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(12). <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1857226>
- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M., & Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 30(8). <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Tiwari, S., & Mohammed, K. S. (2024). Unraveling the impacts of linear economy, circular economy, green energy and green patents on environmental sustainability: Empirical evidence from OECD countries. *GONDWANA RESEARCH*, 135, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.07.018>
- Truong, T. C. (2022). The Impact of Digital Transformation on Environmental Sustainability. *Advances in Multimedia*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6324325>
- Tsui, T., Derumigny, A., Peck, D., van Timmeren, A., & Wandl, A. (2022). Spatial clustering of waste reuse in a circular economy: A spatial autocorrelation analysis on locations of waste reuse in the Netherlands using global and local Moran's I. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.954642>
- Valencia, A., Zhang, W., & Chang, N. Bin. (2022). Sustainability transitions of urban food-energy-water-waste infrastructure: A living laboratory approach for circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105991>
- Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 27). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Wildeboer, V., & Savini, F. (2022). THE STATE OF THE CIRCULAR ECONOMY: Waste Valorization in Hong Kong and Rotterdam. *International Journal of Urban and Regional Research*, 46(5). <https://doi.org/10.1111/1468-2427.13122>
- Xavier, L. H., Giese, E. C., Ribeiro-Duthie, A. C., & Lins, F. A. F. (2021). Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. *Resources Policy*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101467>
- Xin, C. H., Addy, M. M., Zhao, J. Y., Cheng, Y. L., Cheng, S. B., Mu, D. Y., Liu, Y. H., Ding, R. J., Chen, P., & Ruan, R. (2016). Comprehensive techno-economic analysis of wastewater-based algal biofuel production: A case study. *BIORESOURCES TECHNOLOGY*, 211, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.102>

