

Ingeniería económica circular desde su tecnologización

Circular economic engineering through technologization

Recibido: junio 06 de 2024 | Revisado: junio 10 de 2024 | Aceptado: junio 15 de 2024

GEOMANIS ARGOTA PÉREZ¹
GEORGE ARGOTA PÉREZ¹

RESUMEN

La tecnologización de la ingeniería en economía circular enfrenta barreras en adopción y capacitación, generando desigualdades sociales. El objetivo del estudio fue describir la ingeniería económica circular desde su tecnologización. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar y evaluar la relevancia de indicadores clave que fueron: I) innovación tecnológica y sostenibilidad, II) economía circular, III) indicadores socioeconómicos y ambientales, IV) modelo tecnológico de la economía circular, V) desafíos en países en desarrollo, VI) rol de la ingeniería en la economía circular y VII) implicaciones sociales de la economía circular. Los resultados destacan la evaluación de la innovación tecnológica para la sostenibilidad; transición hacia un modelo económico circular; impactos positivos socioeconómicos y ambientales; reducción de costos y oportunidades económicas; barreras tecnológicas en países en desarrollo; papel crucial de la ingeniería en sistemas circulares; implicaciones sociales como la creación de empleo y la inclusión social. Se concluye que la economía circular, impulsada por la innovación tecnológica, promueve la optimización de procesos, la eficiencia en el uso de recursos y soluciones sostenibles; sin embargo, persisten barreras en la adopción tecnológica y la capacitación, señalando la necesidad de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar competencias sociales para una transición efectiva hacia la sostenibilidad.

Palabras clave: colaboración intersectorial – desarrollo sostenible – economía circular – innovación tecnológica – ingeniería sostenible

ABSTRACT

The technologization of circular economy engineering faces barriers in adoption and training, generating social inequalities. The aim of the study was to describe circular economic engineering from its technologization. A comprehensive review of the scientific literature was conducted to identify and evaluate the relevance of key indicators, which were: I) technological innovation and sustainability, II) circular economy, III) socio-economic and environmental indicators, IV) technological model of circular economy, V) challenges in developing countries, VI) role of engineering in circular economy, and VII) social implications of circular economy. The results highlight the assessment of technological innovation for sustainability; transition towards a circular economic model; positive socio-economic and environmental impacts; cost reduction and economic opportunities; technological barriers in developing countries; crucial role of engineering in circular systems; social implications such as job creation and social inclusion. It is concluded that circular economy, driven by technological innovation, promotes process optimization, resource efficiency, and sustainable solutions; however, barriers in technological adoption and training persist, indicating the need to adapt technological models and develop social competencies for an effective transition towards sustainability.

¹ Centro de Investigación Avanzada y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente. Ica -Perú

Autor de correspondencia:
geomanis.argota@gmail.com

Keywords: circular economy – cross-sector collaboration – sustainable development – sustainable engineering – technological innovation

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.09>

Introducción

Desde una perspectiva teórica, la economía circular (EC) se fundamenta en la reconcepción de los sistemas económicos y productivos, buscando minimizar la extracción de recursos, reducir los residuos y fomentar la reutilización y regeneración de productos y materiales. Este enfoque se contrapone al tradicional modelo lineal de producción y consumo, que se caracteriza por la extracción de recursos, la producción, el consumo y la eliminación de residuos. La EC se basa en principios de sostenibilidad ambiental, económica y social, promoviendo la transición hacia un sistema más resiliente y equitativo. La integración de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC busca optimizar los procesos productivos, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y facilitar la implementación de prácticas circulares. Esta integración teórica apunta a la creación de sistemas más eficientes, resilientes y sostenibles que puedan responder de manera efectiva a los desafíos ambientales y sociales actuales (Chiappetta et al., 2020; Sassanelli & Terzi, 2022).

Asimismo, desde una perspectiva práctica, la economía circular se traduce en acciones concretas y tangibles que buscan transformar los sistemas productivos y de consumo actuales. Esto implica la implementación de prácticas como el reciclaje, la reutilización y la regeneración de productos y materiales, así como el diseño de productos duraderos, reparables y reciclables. La innovación tecnológica desempeña un papel crucial en la implementación de la economía circular, permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones que faciliten la transición hacia un modelo más circular (Rauter et al., 2019).

La ingeniería, por su parte, contribuye al diseño, implementación y gestión de sistemas y procesos que permitan la transición hacia un modelo económico más sostenible y circular. Los ingenieros trabajan en el diseño de procesos y productos sostenibles, la optimización de la eficiencia en el uso de recursos y la integración de tecnologías emergentes para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos (Klemeš et al., 2023).

A pesar de los avances teóricos y prácticos en la integración de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC, persisten desafíos significativos en la adopción efectiva de prácticas circulares en los sistemas productivos y de consumo. Estos desafíos se reflejan en barreras tecnológicas, limitaciones en la formación y capacitación en habilidades circulares, y la falta de colaboración y enfoque integrado entre los diferentes actores y partes interesadas. Por lo tanto, cómo puede la integración efectiva de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC superar estos desafíos para promover una transición exitosa hacia un modelo económico más sostenible, resiliente y equitativo. El objetivo del estudio fue describir la ingeniería económica circular desde su tecnologización.

Método

El estudio fue de tipo descriptivo y se desarrolló entre enero y abril de 2024. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar y evaluar la relevancia de indicadores clave en el contexto de la economía circular desde su tecnologización. Se analizó el impacto y las contribuciones específicas a la sostenibilidad y la implementación

de prácticas económicas circulares de los indicadores para una comprensión integral de los avances y desafíos en la aplicación de tecnologías que permitieran la promoción de la economía circular.

Los indicadores que se analizaron fueron: I) innovación tecnológica y sostenibilidad, II) economía circular, III) indicadores socioeconómicos y ambientales, IV) modelo tecnológico de la economía circular, V) desafíos en países en desarrollo, VI) rol de la ingeniería en la economía circular y VII) implicaciones sociales de la economía circular.

Aspectos éticos: Se garantizó la confidencialidad de los datos donde se cumplió con los estándares éticos de citación y uso adecuado del parafraseo para la información.

Resultados

La Tabla 1 muestra siete indicadores y sus descripciones para la ingeniería económica circular desde su tecnologización. Primero,

se evaluó cómo la innovación tecnológica promueve la sostenibilidad a través de la creación y adaptación de tecnologías. Segundo, se consideró la transición de un modelo económico lineal a uno circular, enfocándose en la reutilización y reciclaje de recursos. Tercero, se analizaron los impactos socioeconómicos y ambientales positivos de la economía circular, optimizando procesos productivos y mejorando la eficiencia de recursos. Cuarto, se exploró cómo el modelo tecnológico de la economía circular puede reducir costos y generar oportunidades económicas. Quinto, se plantea que en los países en desarrollo, se identificaron barreras tecnológicas y de capacidad, subrayando la necesidad de enfoques colaborativos para superarlas. Sexto, se evaluó también el papel crucial de la ingeniería en el diseño y gestión de sistemas circulares mediante tecnologías emergentes. Séptimo, se investigaron las implicaciones sociales de la economía circular, incluyendo la creación de empleo, la inclusión social y la promoción de prácticas comerciales equitativas.

Tabla 1

Indicadores y descripción en la ingeniería económica circular desde su tecnologización

Indicadores	Descripción
Innovación tecnológica y sostenibilidad	La innovación tecnológica es un motor clave para la sostenibilidad, facilita la creación y adaptación de tecnologías para abordar desafíos de sostenibilidad
Economía circular	Enfoque que promueve la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos. Optimiza procesos productivos y reduce impactos ambientales
Indicadores socioeconómicos y ambientales	La economía circular busca generar impactos positivos en el bienestar social, económico y ambiental. Optimiza procesos productivos y promueve la eficiencia de recursos
Modelo tecnológico de la economía circular	Promueve prácticas limpias y eficientes en el uso de recursos, reduce costos y genera oportunidades económicas y de empleo
Desafíos en países en desarrollo	La falta de acceso a tecnologías avanzadas y capacidades limita la implementación de la economía circular. La colaboración entre sectores es crucial para superar estos desafíos

Rol de la ingeniería en la economía circular

La ingeniería es crucial para diseñar y gestionar sistemas que faciliten la transición a un modelo circular. Utiliza tecnologías emergentes como IA e IoT para optimizar la gestión de recursos

Implicaciones sociales de la economía circular

La economía circular puede generar nuevos empleos, fomentar la formación en habilidades circulares y mejorar el acceso a productos sostenibles que promuevan la inclusión social y económica

Discusión

La sostenibilidad se conceptualiza como un equilibrio dinámico entre el desarrollo económico, la equidad social y la integridad ambiental. Según investigaciones recientes, la innovación tecnológica se posiciona como un motor clave para avanzar hacia la sostenibilidad (Kristoffersen et al., 2020). Esta innovación implica no solo la creación de nuevas tecnologías, sino también la adaptación y aplicación creativa de tecnologías existentes para abordar los desafíos de sostenibilidad.

Factores como el sistema de producción de servicios (González et al., 2019), las tecnologías emergentes como blockchain, la Industria 4.0 (Patil et al., 2023), y la Industria 5.0 (Dwivedi et al., 2023) se identifican como impulsores clave de esta innovación tecnológica, contribuyendo a la optimización de los procesos productivos, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y la creación de soluciones sostenibles.

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, se identifica una brecha significativa en la preparación y adopción de estas innovaciones en diversos procesos y servicios. Esta situación subraya la necesidad imperativa de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar capacidades y competencias sociales para garantizar una transición efectiva hacia la sostenibilidad. La adaptación de estos modelos

tecnológicos es esencial para asegurar que la innovación tecnológica se traduzca en mejoras tangibles en la sostenibilidad y no conduzca a desigualdades o exclusiones sociales (Sassanelli & Terzi, 2022; Lamperti et al., 2023).

Desde una perspectiva teórica, la mitigación de la huella ecológica se concibe como la reducción del impacto ambiental negativo de las actividades humanas en el medio ambiente, siendo uno de los desafíos más urgentes y prioritarios en la agenda global de sostenibilidad, en vista de la creciente preocupación por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y otros problemas ambientales asociados (Nayak et al., 2019). En este contexto, la Economía Circular (EC) se presenta como un enfoque innovador y transformador que busca reconfigurar los sistemas económicos y de producción actuales, promoviendo la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos en contraposición al tradicional modelo lineal de producción y consumo, basado en la extracción, producción, consumo y eliminación de recursos (Matlin et al., 2020; Papamichael et al., 2023). Este enfoque no solo permite aprovechar oportunidades durante la transformación de las fabricaciones, sino que también proporciona respuestas eficientes y sostenibles ante el cambio climático y otros desafíos ambientales.

Es crucial reconocer que la tecnología desempeña un papel crucial como motor

de innovación en los modelos de EC (Issaoui et al., 2022). La innovación tecnológica facilita la transición hacia prácticas más sostenibles y circulares, optimizando los procesos productivos, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y promoviendo la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles. En este sentido, la EC permite optimizar los procesos productivos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos, lo que se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la minimización del impacto ambiental y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Matlin et al., 2020; Papamichael et al., 2023). Por lo tanto, la tecnología desempeña un papel fundamental en la implementación de la economía circular, facilitando la innovación y el desarrollo de soluciones tecnológicas y prácticas que permitan una transición efectiva hacia un modelo más circular y sostenible (Issaoui et al., 2022).

La economía circular se concibe como un enfoque que se fundamenta en indicadores socioeconómicos y ambientales orientados hacia una sostenibilidad integral (Alhawari et al., 2021). En este contexto, la EC no se limita únicamente a la optimización de los procesos de producción y consumo; más bien, busca generar impactos positivos en el bienestar social, económico y ambiental. Por lo tanto, los sistemas circulares deben trascender la mera incorporación de flujos limitados de reciclaje y reutilización, reconociendo el valor económico desde una perspectiva social y ambientalmente responsable (Pieroni et al., 2019; Alarcón et al., 2020). Esto implica que la EC promueve un enfoque holístico que considera las interconexiones entre

la economía, la sociedad y el medio ambiente, buscando generar beneficios equitativos y sostenibles para todos los actores involucrados.

El diseño de procesos, productos y servicios se presenta como un pilar fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad en el contexto de la EC, implicando la reconfiguración y optimización de los sistemas productivos para minimizar el uso de recursos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos (Rauter et al., 2019). Asimismo, la implementación de sistemas y prácticas que permitan maximizar la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos, y minimizar la generación de residuos y el impacto ambiental asociado, se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la optimización de los recursos y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Hutchins et al., 2019; Alhawari et al., 2021).

En este contexto, la innovación tecnológica desempeña un papel crucial al facilitar la optimización de los procesos productivos, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y la implementación de soluciones sostenibles y circulares. Por lo tanto, el diseño de procesos, productos y servicios se presenta como un pilar fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad en el contexto de la EC, implicando la innovación y la adopción de nuevas tecnologías y prácticas que permitan la reconfiguración de los sistemas productivos hacia modelos más sostenibles (Rauter et al., 2019).

El modelo tecnológico de la EC se concibe como un enfoque que se alinea estrechamente con los objetivos del

desarrollo sostenible, buscando integrar prácticas y tecnologías que contribuyan a la mejora de la sostenibilidad en diversos ámbitos, como el saneamiento, la promoción de energías limpias, la mejora de la productividad y el fomento de un consumo razonable (Schroeder et al., 2019).

En este contexto, el modelo tecnológico de la EC no solo promueve la visibilidad social a través de la competencia de los servicios (Biswas et al., 2019), sino que también prioriza la implementación de prácticas limpias en todo el proceso productivo (Dulia et al., 2021). Esto implica la optimización de los procesos de producción para minimizar el uso de recursos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos. Además, este modelo implica la adopción de tecnologías y prácticas que permitan optimizar los procesos de producción, promover la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental. Como resultado, se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la optimización de los recursos y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Schroeder et al., 2019).

Por lo tanto, el modelo tecnológico de la EC promueve la visibilidad social mediante la competencia de los servicios (Biswas et al., 2019), lo que implica que las empresas y organizaciones que adoptan prácticas y tecnologías circulares pueden diferenciarse en el mercado, obteniendo ventajas competitivas y mejorando su reputación y percepción social.

Desde una perspectiva teórica, la economía circular se presenta como una oportunidad única para los países en vías de desarrollo, ofreciendo la posibilidad de aplicar tecnologías sofisticadas y rentables

que permitan una gestión transformable de residuos y promuevan la inclusión social y económica (Serrano et al., 2021). Esta oportunidad implica que la EC puede proporcionar soluciones innovadoras y efectivas para abordar los desafíos asociados con la gestión de residuos, la promoción de la inclusión social y económica, y el desarrollo sostenible en estos contextos.

Sin embargo, las barreras tecnológicas y la falta de capacidades pueden obstaculizar la sostenibilidad de la EC en estos contextos (Ding et al., 2019). Esto significa que la falta de acceso a tecnologías avanzadas, la limitada capacidad técnica y la falta de conocimientos y habilidades pueden limitar la capacidad de los países en vías de desarrollo para implementar y mantener prácticas circulares y sostenibles de manera efectiva.

Por lo tanto, es fundamental adoptar un enfoque colaborativo e inclusivo entre las partes sociales para superar estos desafíos. La colaboración entre el sector tecnológico, los ingenieros, los responsables políticos y la sociedad en general será clave para promover un modelo económico más circular, inclusivo y sostenible (Gunarathne et al., 2019; Radelyuk et al., 2021). Esta colaboración y trabajo conjunto entre diferentes actores y partes interesadas son fundamentales para superar las barreras y desafíos asociados con la implementación de la EC en los países en vías de desarrollo.

La ingeniería desempeña un papel crucial en la implementación y optimización de sistemas circulares en el contexto de la economía circular. Los ingenieros están encargados de diseñar, implementar y gestionar sistemas y

tecnologías que faciliten la transición hacia un modelo económico más sostenible y circular. Esto implica que la ingeniería es esencial para desarrollar soluciones innovadoras y efectivas que aborden los desafíos asociados con la gestión de recursos y la reducción del impacto ambiental. El diseño de procesos y productos sostenibles es fundamental para maximizar la eficiencia de los recursos, minimizar los residuos y reducir el impacto ambiental (Klemeš et al., 2023). Así, los ingenieros desempeñan un papel crucial en la creación de soluciones que permitan utilizar los recursos de manera más eficiente y minimizar el desperdicio en los procesos productivos.

Además, la ingeniería de sistemas y la integración de tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT), pueden optimizar la gestión de recursos, mejorar la trazabilidad de los productos y facilitar la implementación de prácticas circulares (Kio et al., 2022). Esto implica que los ingenieros deben adoptar y aplicar tecnologías innovadoras que posibiliten una gestión más eficiente y sostenible de los recursos en los sistemas circulares.

La economía circular se concibe como un enfoque integral que trasciende las consideraciones ambientales y económicas, abordando también importantes implicaciones sociales. La transición hacia un modelo circular implica una transformación profunda de los sistemas de producción y consumo, orientada a reconfigurarlos para que sean más sostenibles y eficientes en el uso de los recursos. Esta transformación no solo tiene el potencial de reducir el impacto ambiental negativo y mejorar la eficiencia económica, sino que también

puede generar nuevos empleos en sectores relacionados con la gestión de residuos, la remanufactura, el reciclaje y la reparación, entre otros (Hutchins et al., 2019).

Adicionalmente, la transición hacia un modelo circular puede fomentar la formación y capacitación en habilidades circulares, dotando a las personas de las competencias necesarias para participar activamente en la economía circular. La EC puede contribuir a la inclusión social y económica al ofrecer oportunidades de empleo inclusivas, mejorar el acceso a productos y servicios sostenibles y promover prácticas comerciales más justas y equitativas (Pieroni et al., 2019; Alarcón et al., 2020).

En este contexto, la EC se presenta como un enfoque holístico que busca generar beneficios sociales, económicos y ambientales de manera equitativa y sostenible. Tal transformación tiene el potencial de generar nuevos empleos en sectores relacionados con la gestión de residuos, la remanufactura, el reciclaje y la reparación, entre otros (Grzymala, 2023). De manera complementaria, la transición hacia un modelo circular puede promover la formación y capacitación en habilidades circulares, proporcionando a las personas las competencias necesarias para participar activamente en la economía circular. Asimismo, la EC puede contribuir a la inclusión social y económica al ofrecer oportunidades de empleo inclusivas, mejorar el acceso a productos y servicios sostenibles y promover prácticas comerciales más justas y equitativas (Kristoffersen et al., 2020). La implementación de la EC se traduce en la generación de beneficios tangibles que mejoran el bienestar social y económico de las comunidades, promoviendo una

mayor inclusión y equidad en la sociedad (Padilla et al., 2021).

Una limitación potencial de este estudio radica en la generalización de los resultados obtenidos a partir de un número limitado de casos de estudio y regiones geográficas específicas. Aunque los hallazgos sugieren un impacto positivo de las tecnologías emergentes en la economía circular, es importante reconocer que las condiciones locales, políticas y socioeconómicas pueden variar significativamente, afectando la implementación y los resultados prácticos. Por ejemplo, las barreras regulatorias y la

disponibilidad de recursos pueden influir en la adopción de estas tecnologías en diferentes contextos.

Conclusiones

La economía circular, impulsada por la innovación tecnológica, promueve la optimización de procesos, la eficiencia en el uso de recursos y soluciones sostenibles. Sin embargo, persisten barreras en la adopción tecnológica y la capacitación, señalando la necesidad de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar competencias sociales para una transición efectiva hacia la sostenibilidad.

Referencias

- Alarcón, F., Cortés, P.P., Pérez, P.D., & Sanchis, R. (2020). Sustainability vs. circular economy from a disposition decision perspective: A proposal of a methodology and an applied example in SMEs. *Sustainability*; 12, 1-26. <https://doi.org/10.3390/su122310109>
- Alhawari, O., Awan, U., Bhutta, K.S.B, & Ülkü, M.A. (2021). Insights from circular economy literature: A review of extant definitions and unravelling paths to future research. *Sustainability*; 13(2), 859. <https://doi.org/10.3390/su13020859>
- Biswas, R.K., Kabir, E., & Khan, H.T. (2019). Causes of urban migration in Bangladesh: evidence from the urban health survey. *Journal Population Research and Policy Review*; 38(4), 593-614. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11113-019-09532-3>
- Chiappetta, J., Charbel, J., Fiorini, P.C., Ndubisi, N.O., Queiroz, M.M., & Piato, E.L. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *Science of The Total Environment*, 725, 138177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138177>
- Ding, X., Zhou, C., Zhong, W., & Tang, P. (2019). Addressing uncertainty of environmental governance in environmentally sensitive areas in developing countries: a precisestrike and spatial-targeting adaptive governance framework. *Sustainability*; 11(16), 4510. <https://doi.org/10.3390/su11164510>
- Dulia, E.F., Ali, S.M., Garshasbi, M., & Kabir, G. (2021). Admitting risks towards circular economy practices and strategies: an empirical test from supply chain perspective.

- Journal Cleaner Production*; 317, 128420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128420>
- Dwivedi, A., Agrawal, D.A., Jha, A., & Mathiyazhagan, K. (2023). Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. *Computers & Industrial Engineering*; 176, 108927. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108927>
- González, C.C.A., Romero, D., Rossi, M., Luglietti, R., & Johansson, B. (2019). Circular lean product-service systems design: A literature review, framework proposal and case studies. *Procedia CIRP*, 83, 419-424. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.109>
- Grzymala, Z. (2023). Circular economy as a sustainable development marketing tool. In: I. Gigauri, M. Palazzo, & M. Ferri (Eds.), *Handbook of research on achieving sustainable development goals with Sustainable marketing. IGI Global*, 288-302. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8681-8.ch015>
- Gunarathne, A.D.N., Tennakoon, T.P.Y.C., & Weragoda, J.R. (2019). Challenges and opportunities for the recycling industry in developing countries: the case of Sri Lanka. *Journal of Material Cycles and Waste Management*; 21(1), 181-190. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-018-0782-x>
- Hutchins, M.J., Richter, J.S., Henry, M.L., & Sutherland, J.W. (2019). Development of indicators for the social dimension of sustainability in a U.S. business context. *Journal of Cleaner Production*; 212, 687-697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.199>
- Issaoui, M., Jellali, S., Zorpas, A.A., & Dutournie, P. (2022). Membrane technology for sustainable water resources management: Challenges and future projections. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 25, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100590>
- Kio, P.N., Anumba, C.J., & Ali, A.K. (2022). Circular economy trends – potential role of emerging technologies. *Environmental Earth Sciences*, 1101, 062005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062005>
- Klemeš, J.J., Foley, A., You, F., Aviso, K., Su, R., & Bokhari, A. (2023). Sustainable energy integration within the circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 177, 113143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113143>
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241-261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
- Lamperti, S., Cavallo, A., & Sassanelli, C. (2023). Digital servitization and business model innovation in SMEs:

- A model to escape from market disruption. *IEEE Transactions on Engineering Management*; 99, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2022.3233132>
- Matlin, S.A., Mehta, G., Hopf, H., Krief, A., Keßler, L., & Kümmerer, K. (2020). Material circularity and the role of the chemical sciences as a key enabler of a sustainable post-trash age. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100312>
- Nayak, R., Akbari, M., & Maleki, F.M. (2019). Recent sustainable trends in Vietnam's fashion supply chain. *Journal of Cleaner Production*; 25, 291-303. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.239>
- Padilla, R.A., do Carmo, B.B.T., Arcese, G., & Merveille, N. (2021). Social circular economy indicators: Consumption Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and*; 26, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., Pappas, G., & Zorpas, A.A. (2023). Existing tools used in the framework of environmental performance. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*; 32, 101026. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101026>
- Patil, A., Dwivedi, A., & Moktadir, A. (2023). Big data-Industry 4.0 readiness factors for sustainable supply chain management: Towards circularity. *Computers & Industrial Engineering*; 178, 109109. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109109>
- Pieroni, M.P.; McAloone, T., & Pigosso, D.A.C. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*; 215, 198-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
- Radelyuk, I., Tussupova, K., Klemes, J.J., & Persson, K.M. (2021). Oil refinery and water pollution in the context of sustainable development: developing and developed countries. *Journal Cleaning Production*; 302, 126987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126987>
- Rauter, R., Globocnik, D., Vorbach, E.P., & Baumgartner, R.J. (2018). Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance. *Journal of Innovation & Knowledge*; 4, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004>
- Sassanelli, C., & Terzi, S. (2022). The D-BEST reference model: A flexible and sustainable support for the digital transformation of small and medium enterprises. *Global Journal of Flexible Systems Management*; 23(2), 1-26. <http://dx.doi.org/10.1007/s40171-022-00307-y>
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals.

Journal Industrial Ecological; 23(1), 77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>

Serrano, T., Aparcana, S., Bakhtiari, F., & Laurent, A. (2021). Contribution of circular economy strategies to

climate change mitigation: generic assessment methodology with focus on developing countries. *Journal of Industrial Ecology*; 25(6), 1382-1397. <https://doi.org/10.1111/jiec.13178>

