

**Artículo de Revisión**

**FORTALECIMIENTO MUTUO ENTRE LA ECONOMÍA CIRCULAR  
Y HERRAMIENTAS DE CICLO DE VIDA**

**MUTUAL STRENGTHENING BETWEEN THE CIRCULAR ECONOMY  
AND LIFE CYCLE TOOLS**

Eloy Mondragón-Zarza<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0901-2994>  
María del Consuelo Mañón-Salas<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9195-2493>  
Elena Regla Rosa Domínguez<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5371-0976>  
Sylvie Turpin-Marion<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6851-8776>  
María del Carmen Carreño-de León<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3737-1070>  
María del Consuelo Hernández-Berriel<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3532-7316>

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>4</sup> Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México.

Recibido: Diciembre 15, 2022; Revisado: Enero 9, 2023; Aceptado: Enero 24, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

Para dar respuesta a los objetivos de la Agenda 2030, se requiere que los patrones de consumo y producción dejen de ser lineales y se cambien al modelo de la economía circular (EC). La circularidad de los flujos de materiales y recursos deben ser medibles y pueden apoyarse de herramientas de ciclo de vida para la toma de decisiones, que permitan evaluar los impactos ambientales, sociales y de costos de productos o servicios.

**Objetivo:**

Mostrar que las herramientas de ciclo de vida y los indicadores de circularidad se fortalecen mutuamente, para lograr un modelo de producción y consumo más sostenible.

**Materiales y Métodos:**

Se realizó la búsqueda de publicaciones entre 2018-2022, que integran metodologías



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

\* Autor para la correspondencia: María del C. Hernández, Email: [mhernandezb@toluca.tecnm.mx](mailto:mhernandezb@toluca.tecnm.mx)



de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Costo del Ciclo de Vida (CCV) y el Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S) con indicadores de circularidad. Se analizaron clasificándolos conforme a los indicadores de Circularidad de Materiales (ICM), Análisis de Flujo de Materiales (AFM) y otros.

**Resultados y Discusión:**

Los indicadores de circularidad tienen limitaciones en cuanto a factores de calidad de reciclaje de materiales, aspectos ambientales y estandarización, por lo que requieren de ACV, CCV y ACV-S. Por su parte estas metodologías requieren de indicadores para garantizar el grado de circularidad de las alternativas evaluadas y recomendadas como mejores.

**Conclusiones:**

La aplicación de herramientas de ciclo de vida e indicadores de circularidad, permitió constatar que son complementarios y se fortalecen mutuamente, lo que redundará en evaluaciones que cumplan con los pilares de la sostenibilidad.

**Palabras clave:** economía circular; herramientas de ciclo de vida; indicadores de circularidad; sostenibilidad.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

To respond to the objectives of the 2030 Agenda, consumption and production patterns are required to stop being linear and switch to the circular economy (CE) model. The circularity of the flows of materials and resources must be measurable and can be supported by life cycle tools for decision-making, which allow the evaluation of the environmental, social, and cost impacts of products or services.

**Objective:**

To show that life cycle tools and circularity indicators reinforce each other, to achieve a more sustainable production and consumption model.

**Materials and Methods:**

A search for publications between 2018 and 2022 was carried out, which integrated Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Cost (LCC), and Social Life Cycle Assessment (S-LCA) methodologies with circularity indicators. They were analyzed by classifying them according to the Circularity of Materials Indicators (CMI), Analysis of Material Flow (AMF) and others.

**Results and Discussion:**

Circularity indicators have limitations in terms of material recycling quality factors, environmental aspects, and standardization, which is why they require LCA, LCC, and S-LCA. For their part, these methodologies require indicators to guarantee the degree of circularity of the alternatives evaluated and recommended as best.

**Conclusions:**

The application of life cycle tools and circularity indicators made it possible to verify that they are complementary and mutually reinforcing, which results in evaluations that comply with the pillars of sustainability.

**Keywords:** circular economy; life cycle tools; circularity indicators; sustainability.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

El consumo acelerado de los recursos naturales que son utilizados como materias primas para la producción o el consumo, está provocando consecuencias significativas al medio ambiente, a causa del modelo de economía lineal “Extraer, Producir y Desechar”. En los últimos años, se ha buscado implementar un concepto de desarrollo sostenible, satisfaciendo las necesidades de la generación actual, sin comprometer la capacidad de satisfacer las de las generaciones futuras, cumpliendo con los pilares de sostenibilidad económica, social y ambiental; pasando de un modelo de economía lineal a uno circular (Liu y Ramakrishna, 2021; Weetman, 2021).

La filosofía de la economía circular (EC) es un concepto que reemplaza la idea de “final de la vida útil” con la reducción de materiales vírgenes, la recuperación de materiales y energía, la reutilización y el reciclaje. La EC tiene una variedad de enfoques y estrategias que dependen de la ausencia de un marco estandarizado, ya que, se le asocia con el enfoque 3R o 4R, o a modelos de negocio orientados circularmente. Actualmente un grupo de normas ISO están en desarrollo por el Comité Técnico ISO/TC 323 para la aplicación de la EC, el cual incluirá no solo principios y directrices, sino también un marco de medición de la circularidad. Dentro de los indicadores de circularidad más utilizados, se tiene el Indicador de Circularidad del Material (ICM) y el de Análisis de Flujo de Materiales (AFM), que da una indicación de cuánto circulan los materiales que constituyen un producto, sin embargo, no informan completamente sobre la sostenibilidad del producto (Jerome y col., 2022).

A pesar de los indicadores de circularidad, la EC no siempre garantiza beneficios ambientales, por lo que es importante utilizar herramientas de ciclo de vida, que se basan en las ISO 14040, 14044 y 15686, como es el caso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que evalúa y cuantifica los impactos ambientales asociados con los ciclos de vida de productos o servicios, permitiendo comprender y evaluar si se pueden lograr los beneficios ambientales declarados de las soluciones enunciadas por la EC, además de aspectos más críticos que necesitan ser mejorados (Brändström y Saidani, 2022). Aunado a ello, se cuenta con metodologías asociadas con el ACV, como el Costo del Ciclo de Vida (CCV) y el Análisis del Ciclo de Vida Social (ACV-S), que pueden utilizarse para la evaluación económica y social de la EC (Tsalis y col., 2022). La combinación de herramientas de ciclo de vida y la EC puede resultar en un análisis más profundo y una mejor comprensión de la sostenibilidad económica, social y ambiental (Fauzi y col., 2019; Roos-Lindgreen y col., 2020). Conforme a lo anterior, el objetivo de este artículo es mostrar que las herramientas de ciclo de vida y los indicadores de circularidad se fortalecen mutuamente, para lograr un modelo de producción y consumo más sostenible.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este trabajo como primera etapa, se realizó la investigación documental de palabras clave en español e inglés, utilizando como punto inicial el motor de búsqueda *Google Scholar* (<http://scholar.google.com>) y la base de datos de *Scopus* (<http://www.scopus.com>). Como criterio de inclusión, se seleccionaron los artículos con las palabras de la frase “economía circular y análisis de ciclo de vida”, así como referencias cruzadas de los artículos obtenidos, que incluyeran la aplicación de la

---

evaluación de ciclo de vida e indicadores de circularidad. Se utilizó *Google Scholar*, debido a que es de fácil acceso y ocupa el primer lugar entre los cinco buscadores más usados.

Como segunda etapa, se realizó el análisis de los trabajos publicados entre 2018 y 2022, con el fin de identificar la relación entre la aplicación de las metodologías de ACV, de CCV y el ACV-S, con los indicadores de circularidad, clasificándolos con respecto a los indicadores ICM, AFM y los desarrollados en las publicaciones revisadas; describiéndose los más representativos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En principio se localizaron 22 artículos que tenían que ver con las herramientas de ciclo de vida y la EC, sin embargo, al revisarlos a detalle se detectó los que carecían del uso de indicadores de circularidad, por lo que se descartaron (Tabla 1).

**Tabla 1.** Trabajos reportados sobre ciclo de vida e indicadores de circularidad

<i>Autores</i>	<i>Herramientas de ciclo de vida</i>	<i>Indicadores de circularidad</i>
Abbate y col., (2022)	ACV, CCV	
Aleisa y Heijungs, (2022)	ACV	
Alejandrino y col., (2022)	ACV, CCV	CTA, PR
Bimpizas-Pinis y col., (2022)	ACV	
Bracquené y col., (2020)	ACV	ICP, ICM
Dieterle & Viere (2021)	ACV, CCV	
Egemose y col., (2022)	ACV	
Fauzi y col., (2019)	ACV, CCV, ACV-S	
Glogic y col., (2021)	ACV	ICM
Ingrao y col., (2021)	ACV	
Joensuu (2022)	ACV	
Lonca y col., (2018)	ACV	ICM
Mantalovas y Di Mino, (2020)	ACV	ADCM (ICM)
Martínez-Cámara y col., (2021)	ACV	
Niero y Kalbar, (2019)	ACV	ADCM (ICM)
Schmidt y col., (2020)	ACV	AFM (TRS, TR <sub>Entrada</sub> , TR <sub>Final</sub> , TR <sub>C</sub> , CR, P <sub>Cir</sub> )
Spreafico (2022)	ACV	
Stanchev y col., (2020)	ACV	AFM (IRCM, IDCA)
Tsalis y col., (2022)	ACV-S	
Uceda-Rodríguez y col., (2022)	ACV	
Venkatachalam y col., (2022)	ACV	

ACV: Análisis de Ciclo de Vida; ACV-S: Análisis de Ciclo de Vida Social; ADCM: Análisis de Decisión de Criterios Múltiples; AFM: Análisis de Flujo de Materiales; CCV: Costo del Ciclo de Vida; CR: Contenido Reciclado; ICM: Indicador de Circularidad de Materiales; ICP: Indicador de Circularidad del Producto; CTA: Costo Total Anual; IDCA: Indicador de Desempeño de Circularidad Ambiental; IRCM: Indicador de Rendimiento de Circularidad Material; P<sub>Cir</sub>: Potencial de circularidad; PR: Periodo de Recuperación; TR<sub>C</sub>: Tasa de Reciclaje de circuito cerrado; TR<sub>Entrada</sub>: Tasa Reciclaje de entrada; TR<sub>Final</sub>: Tasa Reciclaje final; TRS: Tasa de Recolección Separada.

A continuación, se describen los trabajos más representativos, que detallan el uso de herramientas de ciclo de vida y la estimación de indicadores de circularidad ICM, AFM y los desarrollados en las publicaciones revisadas.

### **3.1. Aplicación de ICM**

En el artículo de Glogic y col., (2021) se analizaron seis escenarios mediante la aplicación de ACV y el ICM, para medir las tasas de eficiencia de materiales para el uso de contenido reciclado y el reciclaje de baterías alcalinas, en función de los flujos de materiales de los elementos base. Los resultados mostraron que la mejora de la circularidad conduce a menudo a la reducción de los impactos ambientales, pero las puntuaciones entre dos conjuntos de indicadores pueden variar mucho en casos de reciclaje.

Cabe mencionar que la combinación entre ACV e ICM no es intuitiva, dadas las compensaciones potencialmente grandes entre ICM y las categorías de impacto. Si bien la circularidad y la evaluación ambiental se plantean para evaluar diferentes características de un producto, la variabilidad significativa entre las puntuaciones de impacto de ICM y ACV puede afectar una interpretación significativa de los resultados y socava la relación hipotéticamente unida entre la mitigación del impacto y la circularidad.

Lonca y col., (2018) analizaron dos estrategias para la gestión al final de la vida útil de los neumáticos, aplicando ACV y estimando el ICM, con el objetivo de mejorar el flujo circular de todos los materiales utilizados. La evaluación de las dos estrategias diferentes para el final de la vida útil, confirmó que el recauchutado de neumáticos tiene el potencial de desplazar las cargas sobre los recursos naturales junto con la salud humana, como resultado del consumo adicional de combustible, debido a la resistencia a la rodadura, donde el recauchutado proporciona un resultado mejorado en la circularidad del material con la preservación de los recursos, lo que permite evitar la carga ambiental.

Este manuscrito sugirió realizar un análisis de incertidumbre para obtener conclusiones más justas sobre los resultados, además se deberían realizar mejoras sustanciales en el ICM, ya que no evita ningún tipo de cambio de carga al excluir la energía y los flujos de fondo de su definición de límites.

Niero y Kalbar, (2019) analizaron diferentes alternativas de envasado de cerveza, al combinar diferentes tipos de indicadores a través del Análisis de Decisión de Criterios Múltiples (ADCM), donde acopló el ICM con indicadores de ACV. Los resultados obtenidos mostraron que los diferentes conjuntos de indicadores se pueden integrar, lo que confirma que los resultados son estables.

En general, la aplicación de diferentes escenarios de ponderación, no cambia la clasificación de las alternativas, lo que confirma que los resultados son estables. Por lo tanto, acoplar indicadores de circularidad de materiales con indicadores de ACV a través de ADCM, puede avanzar en la evaluación de estrategias de EC a nivel de producto.

---

### **3.2. Aplicación de indicadores de AFM**

Stanchev y col., (2020) midieron el desempeño ambiental del tratamiento anaeróbico de efluentes de procesamiento de lácteos, a través del AFM y ACV aplicados en tres niveles diferentes del sistema: la planta de digestión anaerobia (AD), la planta de procesamiento de productos lácteos y toda la cadena de suministro de productos lácteos. Los resultados mostraron que el exceso de electricidad y calor producidos por la planta de AD causan una reducción significativa del impacto ambiental general de la instalación de procesamiento. La energía recuperada de la AD proporciona el 20% de los requerimientos energéticos de la fábrica, reduciendo las emisiones totales de huella de carbono en un 13% respecto al escenario base.

En este estudio se destacó que los valores obtenidos para los indicadores de Rendimiento de la Circularidad del Material (IRCM) y de Desempeño de Circularidad Ambiental (IDCA), revelaron la importancia de la aplicación del tratamiento AD como instrumento de soluciones de la EC para el tratamiento de efluentes lácteos. La aplicación de los indicadores proporcionó una medida cuantitativa del desempeño material y ambiental de las vías de valorización de la circularidad energética y de nutrientes.

Schmidt y col., (2020) identificaron indicadores de eficiencia de materiales adecuados, para reflejar el desempeño ambiental de los sistemas de reciclaje y residuos, que utilizan la gestión de residuos de botellas de PET en tres países europeos, con diversas estructuras de gestión de residuos y niveles de rendimiento de reciclaje. Se realizó un AFM y el ACV. Para todos los sistemas, una mayor eficiencia de los materiales se tradujo en un menor impacto ambiental y viceversa. Se demostró que los indicadores de eficiencia de materiales dirigidos al reciclaje real, específicamente en circuito cerrado, son más adecuados para reflejar el desempeño ambiental que los indicadores basados en insumos. Sin embargo, ningún indicador es igualmente capaz de reflejar diferentes impactos ambientales.

Los autores argumentaron que siempre que se disponga de datos, deben utilizarse indicadores relacionados con la calidad, basados en los resultados para medir la eficiencia material de los sistemas de residuos y recursos, porque se correlacionan mejor con los objetivos de aumentar la eficiencia de los recursos y disminuir los impactos ambientales.

### **3.3. Aplicación de indicadores desarrollados**

En el estudio de Alejandrino y col., (2022) se aplicó una metodología capaz de evaluar y priorizar estrategias circulares a nivel organizacional, mediante indicadores de EC e indicadores de ecoeficiencia (Costo Total Anual (CTA) y Periodo de Recuperación (PR)). La principal contribución del este trabajo fue la propuesta de una metodología construida, a partir de la integración del ACV y el CCV y, su aplicación al caso de estudio real de una organización industrial en el sector de materiales de construcción. Los indicadores circulares permitieron identificar las estrategias más adecuadas para cada organización, mientras que los indicadores de ecoeficiencia permitieron priorizarlas. Los resultados mostraron que todos los escenarios alternativos fueron beneficiosos desde una perspectiva de EC, pero los efectos ambientales y económicos mostraron resultados mixtos.

---

En este artículo se puede destacar que, para lograr el desarrollo sostenible entre los indicadores de circularidad, el ACV y ACC, hizo falta ampliar la metodología propuesta e incluir la evaluación el ACV-S, sin embargo, se mencionó que aún falta más maduración y desarrollo de esta herramienta.

Bracquené y col., (2020) desarrollaron un nuevo Indicador de Circularidad de Producto (ICP) aplicado a un estudio de lavadoras, para superar las principales limitaciones del ICM, además de la utilización del ACV para cuantificar el impacto ambiental y, evaluar la compensación entre aumentar la circularidad y minimizar la carga ambiental. Los resultados mostraron que el ICP fue un indicador útil para cuantificar la efectividad de diferentes estrategias de la EC, como la reutilización de un sistema de servicio de productos. Además, se determinó que el ICP también puede cuantificar los beneficios en términos de eficiencia del material de un mayor reciclaje, aunque para ser efectivo, el producto debe usar y suministrar material reciclado. Por lo tanto, un cambio en la EC presenta el desafío de recircular los flujos de materiales de manera que pueda promover la eco-efectividad. Los autores señalaron que existen algunas limitaciones en los indicadores propuestos, debido a la falta de un factor de calidad adecuado, que mida la degradación de los materiales reciclados. Aunado a ello, se mencionó que el indicador de circularidad mide la circularidad de los flujos, mientras que el ACV, los efectos sobre el medio ambiente.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Los indicadores de circularidad, además de verificar la circularidad del sistema, conducen a una mejora implícita en el desempeño ambiental, pero por sí solos no lo evalúan, por lo que requieren complementarse con un estudio de ACV. De igual manera, los estudios de ACV pueden completarse y enriquecerse mediante evaluaciones sobre la circularidad del sistema.
  2. La variedad de enfoques y estrategias de circularidad, se puede atribuir a la ausencia de un procedimiento normalizado, que garantice la validez científica y la transparencia de la evaluación de indicadores de circularidad. Tal es el caso del área del reciclaje, donde existen limitaciones por la falta de un factor de calidad adecuado, que mida la degradación de los materiales reciclados.
  3. Mientras que un valor más alto en un ACV generalmente significa un peor desempeño ambiental y viceversa, un valor más alto en una métrica de circularidad sugiere una estrategia preferible, lo que implica tener cuidado en la interpretación de resultados y su comunicación. En cuanto al ACV-S, al ser más complejo requiere mayor maduración y desarrollo para que su aplicación contribuya a la sostenibilidad.
  4. Con la implementación de las herramientas de ciclo de vida y la EC, es posible elaborar propuestas sostenibles y gracias a las mejoras en el análisis de circularidad, el tomador de decisiones puede utilizarles como apoyo para cumplir con políticas recientes y esquemas de financiamiento.
  5. La revisión de trabajos donde se aplicaron herramientas de ciclo de vida y se estimaron indicadores, permitió constatar que son complementarios y que al realizarse de la mano se fortalecen mutuamente, lo que redundará en evaluaciones que cumplen con los pilares de la sostenibilidad.
-

## REFERENCIAS

- Abbate, E., Mirpourian, M., Brondi, C., Ballarino, A., & Copani, G., Environmental and Economic Assessment of Repairable Carbon-Fiber-Reinforced Polymers in Circular Economy Perspective., *Materials*, Vol. 15, No. 9, 2022, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ma15092986>
- Aleisa, E., & Heijungs, R., Leveraging Life Cycle Assessment to Better Promote the Circular Economy: A First Step Using the Concept of Opportunity Cost., *Sustainability*, Vol. 14, No. 6, 2022, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su14063451>
- Alejandrino, C., Mercante, I.T., & Bovea, M.D., Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 336, 2022, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130365>
- Bimpizas-Pinis, M., Santagata, R., Kaiser, S., Liu, Y., & Lyu, Y., Additives in the food supply chain: Environmental assessment and circular economy implications., *Environmental and Sustainability Indicators*, Vol. 14, 2022, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100172>
- Bracquené, E., Dewulf, W., & Duflou, J.R., Measuring the performance of more circular complex product supply chains., *Resources, Conservation and Recycling*., Vol. 154, 2020, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104608>
- Brändström, J., & Saidani, M., Comparison between circularity metrics and LCA: A case study on circular economy strategies., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 371, 2022, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133537>
- Dieterle, M., & Viere, T., Bridging product life cycle gaps in LCA & LCC towards a circular economy., *Procedia CIRP*, Vol. 98, 2021, pp. 354-357. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.116>
- Egemoose, C., Bastien, D., Fretté, X., Birkved, M., & Sohn, J., Human Toxicological Impacts in Life Cycle Assessment of Circular Economy of the Built Environment: A Case Study of Denmark., *Buildings*, Vol. 12, No. 2, 2022, pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings12020130>
- Fauzi, R., Lavoie, P., Sorelli, L., Heidari, M., & Amor, B., Exploring the Current Challenges and Opportunities of Life Cycle Sustainability Assessment., *Sustainability*, Vol. 11, No. 3, 2019, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su11030636>
- Glogic, E., Sonnemann, G., & Young, S.B., Environmental Trade-Offs of Downcycling in Circular Economy: Combining Life Cycle Assessment and Material Circularity Indicator to Inform Circularity Strategies for Alkaline Batteries., *Sustainability*, Vol. 13, No. 3, 2021, pp. 1-12. <https://doi.org/10.3390/su13031040>
- Ingrao, C., Arcidiacono, C., Siracusa, V., Niero, M., & Traverso, M., Life Cycle Sustainability Analysis of Resource Recovery from Waste Management Systems in a Circular Economy Perspective Key Findings from This Special Issue., *Resources*, Vol. 10, No. 4, 2021, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/resources10040032>
- Jerome, A., Helander, H., Ljunggren, M., & Janssen, M., Mapping and testing circular economy product-level indicators: A critical review., *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 178, 2022, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106080>
- Joensuu, T.L., Developing Buildings' Life Cycle Assessment in Circular Economy-
-



- Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components., *Sustainable Cities and Society*, Vol. 77, 2022, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>
- Liu, L., & Ramakrishna, S., *An Introduction to Circular Economy.*, Singapore, Singapore: Springer, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4>
- Lonca, G., Muggéo, R., Imbeault-Tétréault, H., Bernard, S., & Margni, M., Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 183, 2018, pp. 424-435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.108>
- Mantalovas, K., & Di Mino, G., Integrating Circularity in the Sustainability Assessment of Asphalt Mixtures., *Sustainability*, Vol. 12, No. 2, 2020, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12020594>
- Martínez-Cámara, E., Santamaría, J., Sanz-Adán, F., & Arancón, D., Digital Eco-Design and Life Cycle Assessment-Key Elements in a Circular Economy: A Case Study of a Conventional Desk., *Appl. Sci.*, Vol. 11, No. 21, 2021, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/app112110439>
- Niero, M., & Kalbar, P.P., Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level., *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 140, 2019, pp. 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.002>
- Roos-Lindgreen, E., Salomone, R., & Reyes, T., A., Critical Review of Academic Approaches, Methods and Tools to Assess Circular Economy at the Micro Level., *Sustainability*, Vol. 12, No. 12, 2020, pp. 1-27. <https://doi.org/10.3390/su12124973>
- Schmidt, S., Laner, D., Van Eygen, E., & Stanisavljevic, N., Material efficiency to measure the environmental performance of waste management systems: A case study on PET bottle recycling in Austria, Germany and Serbia., *Waste Management*, Vol. 110, 2020, pp. 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.011>
- Spreafico, C., An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment., *Environ Monit Assess*, Vol. 194, 2022, pp. 1-33. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09803-1>
- Stanchev, P., Vasilaki, V., Egas, D., Colon, J., Ponsá, S., & Katsou, E., Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 261, 2020, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121139>
- Tsalis, T., Stefanakis, A., & Nikolaou, I., A Framework to Evaluate the Social Life Cycle Impact of Products under the Circular Economy Thinking., *Sustainability*, Vol. 14, No. 21, 2022, pp. 1-24. <https://doi.org/10.3390/su14042196>
- Uceda-Rodríguez, M., Moreno-Maroto, J., Cobo-Ceacero, C., López-García, A., Cotes-Palomino, T., & Martínez-García, C., Comparative Life Cycle Assessment of Lightweight Aggregates Made from Waste-Appling the Circular Economy., *Appl. Sci.*, Vol. 12, No. 4, 2022, pp. 1-16. <https://doi.org/10.3390/app12041917>
- Venkatachalam, V., Pohler, M., Spierling, S., Nickel, L., Barner, L., & Hans-Josef, E., Design for Recycling Strategies Based on the Life Cycle Assessment and End of Life Options of Plastics in a Circular Economy., *Macromol. Chem. Phys.*, Vol. 223,
-

2022, pp. 1-26. <https://doi.org/10.1002/macp.202200046>

Weetman, C., A Circular economy Handbook: how to build a more resilient., London, UK: Kogan 2021.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- M.Sc. Eloy Mondragón-Zarza. Investigación, análisis formal, redacción - primera redacción.
  - Dra.C. María del Consuelo Mañón-Salas. Análisis formal, redacción - revisión y edición.
  - Dra.C. Elena Regla Rosa Domínguez. Análisis formal, redacción - revisión y edición. Validación.
  - Dra.C. Sylvie Turpin-Marion. Realizó. Análisis formal, redacción - revisión y edición. Validación.
  - Dra.C. María del Carmen Carreño-de León. Análisis formal. Redacción - revisión y edición.
  - Dra.C. María del Consuelo Hernández-Berriel. Gestión de proyectos. Conceptualización. Análisis formal. Redacción - revisión y edición. Supervisión.
-