

Capítulo 4.3

La economía circular como elemento clave en la creación de ciudades inteligentes y sostenibles

*Gilberto Israel González Orda¹
Lizette Rivera Lima²*

<https://doi.org/10.61728/AE20251154>



¹ Universidad de Guadalajara. gilberto.gordaz@academicos.udg.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6665-956X>

² Universidad de Guadalajara. lizette.lima@cucea.udg.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5397-4066>

Resumen

Los modelos lineales de producción y consumo han contribuido al agotamiento de los recursos naturales, a la generación excesiva de residuos y han generado cambios climáticos, lo que supone desafíos para la sostenibilidad y el bienestar de los entornos urbanos. El objetivo de esta investigación es identificar factores de la economía circular para optimizar los recursos, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la calidad de vida de la sociedad. El estudio cuenta con una metodología de tipo cualitativo, basada en una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre la economía circular, la sostenibilidad urbana y ciudades inteligentes; se analizan estudios de caso, informes y documentos académicos para determinar las conexiones entre estos conceptos y su potencial para la planificación urbanística. Como resultado de la investigación, destaca la adopción de estrategias circulares en sectores como la construcción, el transporte y la gestión de residuos, para minimizar el uso de recursos naturales y disminuir la generación de desechos. En conclusión, se sugiere la integración de la economía circular para el diseño de ciudades inteligentes y sostenibles, por medio de la colaboración entre gobierno, empresas y ciudadanos.

Introducción

En la actualidad, la rápida urbanización y las problemáticas medioambientales han generado la necesidad de replantear el modelo de desarrollo urbano con el fin de responder de modo sostenible a las demandas de una población urbanizada en crecimiento (Mundada y Mukkamala, 2020; Ramírez y Grijalba, 2020).

Los conceptos de economía circular y ciudades inteligentes se han convertido en dos enfoques transformadores que, al vincularse de manera integral, ofrecen la posibilidad de alcanzar el desarrollo sostenible de estos entornos por medio del uso eficiente de los recursos.

Por medio de la literatura científica se han comenzado a explorar las diversas intersecciones entre la economía circular y las ciudades inteligentes, pudiéndose observar algunas barreras y oportunidades para su aplicación en diversos contextos relacionados con la urbanización (Tura y Ojanen, 2022; Yigitcanlar y Kamruzzaman, 2018). Sin embargo, aún existe la falta de un consenso sobre los modelos y marcos adecuados que guíen esta integración, dificultando así su aplicación práctica.

Por consiguiente, es en este contexto donde se desprende la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo impacta la economía circular en la eficiencia de los recursos y la reducción de residuos en la creación de ciudades inteligentes a través de métricas que midan estos impactos?

Conforme a lo anterior, esta investigación tiene como objetivo proponer un marco conceptual que describa la consolidación entre la economía circular y la creación de ciudades inteligentes y sostenibles, a través del análisis de la información obtenida en la literatura que aborda esta temática para ofrecer una base sólida en el desarrollo de políticas y métricas que permita fomentar la transición a ciudades más sostenibles y resilientes.

Base teórica

A continuación, se presenta la información recabada en la presente investigación para brindar una base teórica sólida en la integración de la economía circular con las ciudades inteligentes, con la finalidad de determinar las variables que funjan de métricas para la creación de ciudades inteligentes y sostenibles.

1. La economía circular en contraposición al modelo tradicional de producción

La economía circular (EC) es un modelo de producción alternativo que se contrapone al actual sistema económico lineal, ya que su implementación dentro de la industria busca disminuir el impacto negativo en el medioambiente a través de la optimización en el uso de los recursos materiales, enfocándose en la aplicación de ciclos cerrados en el uso de materiales por medio de la reducción, la reutilización y el reciclaje para disminuir al

máximo la generación de residuos, promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales (Ababio y Lu, 2023; Albitar et al., 2024).

La economía circular es un modelo de producción económico que se encarga de promover la reutilización, como el reciclaje y la regeneración de materiales a través de un ciclo cerrado, convirtiéndose en una alternativa innovadora para disminuir los impactos negativos en el medioambiente y reducir la cantidad de desechos en las ciudades (Shamsuzzoha et al., 2021; Thornbush y Golubchikov, 2021).

Por este motivo, la implementación de la EC en sectores como la construcción contribuye significativamente en la reducción de recursos materiales y la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero, convirtiéndose en una estrategia clave para combatir la huella de carbono en el entorno ambiental (Diemer et al., 2022).

2. Las ciudades inteligentes en el contexto de la economía circular y la eco-innovación

Un elemento clave en la implementación de la EC para crear ciudades inteligentes y sostenibles es la ecoinnovación, que se encarga de adoptar tecnologías y prácticas sostenibles que permitan transitar a la circularidad. De este modo, la ecoinnovación se puede definir como el desarrollo de productos, procesos y modelos de negocio que ofrece ventajas económicas y sociales sin tener un impacto negativo en el medioambiente (Brogi y Menichini, 2024; Borsatto y Bazani, 2023).

Esta transformación puede resultar más evidente en la implementación de iniciativas como la gestión de residuos en plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la EC y la eco-innovación han generado modelos de negocio que se encargan de reaprovechar los recursos, como la generación de energía por medio del lodo y la reutilización del agua (García-Castillo et al., 2024).

Por su parte, las ciudades inteligentes se definen como aquellas que implementan el uso de tecnologías avanzadas con la finalidad de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, optimizando los recursos y garantizando un desarrollo resiliente e inclusivo (Gracias et al., 2023; Toli y Murtagh, 2020).

Metodología

La investigación es de tipo cualitativa conforme a Creswell y Creswell (2018) con alcance descriptivo (Hernández et al., 2010); para tal efecto, se empleó la técnica de investigación documental. En este orden de ideas, se identificó como primer paso la literatura relevante de los últimos 10 años, delimitando el periodo de estudio de 2015 a noviembre de 2024 en las bases de datos de Scopus y Google Académico.

La estrategia de búsqueda en este primer paso se basó en las variables de economía circular, ciudades inteligentes (o smart cities) y sostenibilidad para determinar la influencia de la economía circular en la creación de ciudades inteligentes y sostenibles.

Posteriormente, se analizó la literatura encontrada y se resumió mediante el uso de Chat GPT para refinar la información obtenida y destacar los aportes de las obras consultadas. Sucesivamente, se excluyeron las obras que no reportaran información relevante o cuyos resultados no fueran relevantes para el objeto de estudio; de las obras restantes, se sistematizaron los aportes relevantes de acuerdo al objetivo de investigación.

Desarrollo

La integración de la economía circular con las ciudades inteligentes impulsa la creación de ciudades más sostenibles, ya que se busca gestionar de manera óptima los recursos materiales por medio de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT) y el análisis de the big data. De este modo, la implementación de tecnologías se encarga de monitorear y gestionar los recursos en tiempo real, facilitando, por ejemplo, la logística eficiente dentro de una urbanización, así como modelos de consumo responsables (Pan et al., 2021; Yigitcanlar et al., 2021).

Así mismo, esta integración de ambos conceptos genera beneficios significativos en el diseño de infraestructuras energéticamente eficientes, como la creación de ciudades que generen energía inteligente al reducir el consumo de esta por medio de redes inteligentes y fuentes renovables (Thornbush y Golubchikov, 2021; Trindade et al., 2017).

De igual modo, la EC y la ecoinnovación se pueden involucrar en el cambio estructural que mejore la gestión de sistemas urbanos. De acuerdo con Costantini et al. (2023), la transición hacia un modelo de economía circular requiere la adaptación del entorno en distintos niveles: A nivel macro (políticas y regulaciones), a nivel meso (colaboración entre empresas y comunidades) y a nivel micro (prácticas empresariales), reflejando así la complejidad y amplitud de este enfoque.

La economía circular y las innovaciones ecológicas (eco-innovación) están estrechamente relacionadas en la creación de ciudades inteligentes, ya que estas desempeñan un rol esencial en la transición hacia modelos sostenibles de desarrollo urbano.

Una ciudad inteligente se caracteriza por implementar tecnologías avanzadas como el internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) para optimizar el uso de los recursos urbanos con la finalidad de mejorar la calidad de vida de sus habitantes por medio de soluciones basadas en datos (Ball et al., 2018; García-Castillo et al., 2024), de manera que la integración de la EC en el desarrollo de ciudades inteligentes se encarga de generar sistemas resilientes y sostenibles, al gestionar eficientemente los recursos materiales utilizados en los entornos urbanos, disminuyendo la dependencia de insumos externos.

Asimismo, el concepto de ventaja circular, que surge a partir de la implementación de modelos de negocio basados en la economía circular y la implementación de tecnologías disruptivas, representa un beneficio en la competitividad de las organizaciones empresariales que adoptan la EC, ya que estas pueden verse beneficiadas en la reducción de costos operativos y mejorar su resiliencia ante la volatilidad en el precio de los recursos (Brogi y Menichini, 2024).

Por último, los marcos regulatorios y el apoyo institucional son fundamentales para facilitar la adopción de la EC y la eco-innovación en el contexto urbano. Un ejemplo de esto es Francia, que ha promovido la circularidad en el sector de la construcción por medio de directivas y leyes que incentivan prácticas sostenibles para disminuir la generación de residuos (Diemer et al., 2022), de tal modo que estas regulaciones no solo impulsan la sostenibilidad, sino que también brindan una mayor legitimidad a las agencias de protección ambiental, fomentando la colaboración entre los distintos actores involucrados en la creación de ciudades más sostenibles (Ball et al., 2018).

De este modo, la EC y la ecoinnovación en el contexto de ciudades inteligentes y sostenibles generan un enfoque integral para enfrentar los desafíos del medioambiente y de los recursos materiales del siglo XXI, disminuyendo la huella ecológica y generando una mayor resiliencia y sostenibilidad a largo plazo, lo que permite combatir desafíos futuros en la urbanización y el cambio climático.

Resultados

De acuerdo con la información recabada a través del análisis realizado a la literatura en la presente investigación, se pudieron observar cinco categorías de variables independientes estrechamente relacionadas con la EC y las ciudades inteligentes para la creación de ciudades inteligentes y sostenibles. Cada una de estas categorías presenta una serie de métricas que permiten medir el impacto en la sostenibilidad de entornos urbanizados, lo cual se resume en la tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1
Impacto de la economía circular en el desarrollo de las ciudades inteligentes y sostenibles y las variables clave que pueden servir como métricas de acuerdo a la revisión de la literatura 2015-2024

Categoría de las variables	Métricas para evaluar su impacto en la sostenibilidad
Eficiencia en el uso de los recursos:	• Índice de eficiencia de recursos: Mide el uso de materiales y energía en comparación con la producción de residuos y emisiones (Phonthanakitithaworn et al., 2024; Praveen et al., 2024). • Reciclaje y reutilización de materiales: Porcentaje de materiales que se reciclan o reutilizan en lugar de enviarse a vertederos (Prieto-Sandoval et al., 2018).
Reducción de residuos y emisiones:	• Tasa de reducción de residuos: Mide la cantidad de residuos desviados de los vertederos debido a prácticas de economía circular (Shobande et al., 2024). • Reducción de emisiones de carbono: Cambios en las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero asociados a la implementación de prácticas circulares (Shobande et al., 2024; Sipos y Ionescu, 2024).

Categoría de las variables	Métricas para evaluar su impacto en la sostenibilidad
Calidad de vida y bienestar de los ciudadanos:	• Índice de calidad de vida: Indicadores de bienestar que incluyen salud, educación y participación en la gobernanza (De Guimarães et al., 2020). • Índice de satisfacción ciudadana con servicios urbanos: Evalúa la percepción de los residentes sobre la gestión de recursos y servicios sostenibles en la ciudad (De Las Heras et al., 2020).
Innovación y adopción tecnológica:	• Índice de adopción de ecoinnovaciones: Mide el nivel de implementación de tecnologías innovadoras en gestión de residuos, energía limpia y optimización de recursos (Praveen et al., 2024; Sipos y Ionescu, 2024). • Desarrollo de infraestructuras inteligentes: Proporción de infraestructuras sostenibles y tecnologías inteligentes integradas en los sistemas urbanos (Gracias et al., 2023; Haque et al., 2022).
Participación en gobernanza y políticas públicas:	• Transparencia y colaboración en la gobernanza: Evaluación de políticas de gobernanza inclusivas que promuevan la sostenibilidad y la economía circular (De Guimarães et al., 2020; Khan et al., 2020). • Inversión en educación y capacitación en sostenibilidad: Recursos destinados a programas de capacitación y concientización sobre prácticas circulares en la ciudadanía (Shobande et al., 2024).

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La economía circular (EC) se perfila como un elemento crucial para el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles, ya que fomenta el uso eficiente de los recursos y promueve la reducción de residuos. Al integrarse en el modelo de ciudades inteligentes, la EC permite que los entornos urbanos gestionen sus recursos de manera óptima mediante tecnologías avanzadas como el IoT, la inteligencia artificial y el análisis de big data. Estas tecnologías permiten una logística urbana más eficiente y la creación de infraestructuras energéticamente sostenibles, contribuyendo a una disminución significativa en la huella de carbono de las ciudades.

Las variables observadas en la literatura relacionadas con las sinergias entre la EC, las ciudades inteligentes y la sostenibilidad fueron la eficiencia de recursos que a la par trae la reducción de residuos y emisiones; por otra parte, se identificó también la calidad de vida y el bienestar que está relacionado con las formas de participación en la gobernanza y las políticas públicas, incluyendo también, como variable, la innovación y adopción de tecnología.

Sin embargo, no se puede dejar de lado que la adopción efectiva de la EC en este contexto requiere un marco regulatorio robusto y apoyo institucional como elementos esenciales para su implementación. También se requiere la adaptación de políticas en niveles macro, meso y micro para facilitar la transición. La integración de ecoinnovaciones, como la gestión de residuos y el desarrollo de infraestructuras inteligentes, además de la colaboración entre entidades gubernamentales y el sector privado, fortalecerá esta transición hacia un modelo circular en las ciudades.

Referencias

- Ababio, B. K., & Lu, W. (2023). Barriers and enablers of circular economy in construction: a multi-system perspective towards the development of a practical framework. *Construction management and economics*, 41(1), 3-21. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2135750>
- Albitar, K., Nasrallah, N., Hussainey, K., & Wang, Y. (2024). Eco-innovation and corporate waste management: The moderating role of ESG performance. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11156-024-01281-5>
- Ball, C., Burt, G., De Vries, F., & MacEachern, E. (2018). How environmental protection agencies can promote eco-innovation: The prospect of voluntary reciprocal legitimacy. *Technological Forecasting and Social Change*, 129, 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.004>
- Borsatto, J. M. L. S., & Bazani, C. L. (2023). Green innovation and environmental and financial performance: trends and challenges for future research. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 17(1-2), 152-181.

- Brogi, S., & Menichini, T. (2024). The pathway towards circular economy: Measuring circular advantage of eco-innovations. *Business Strategy and the Environment*, 33(4), 3005-3038. <https://doi.org/10.1002/bse.3621>
- Costantini, V., Delgado, F. J., & Presno, M. J. (2023). Environmental innovations in the EU: A club convergence analysis of the eco-innovation index and driving factors of the clusters. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 46, 100698. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100698>
- Cresswell, J. W. & Cresswell, J. D. (2018). *Research Design. Qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. Sage Publications.
- De Guimarães, J. C. F., Severo, E. A., Júnior, L. A. F., Da Costa, W. P. L. B., & Salmoria, F. T. (2020). Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119926. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119926>
- De Las Heras, A., Luque-Sendra, A., & Zamora-Polo, F. (2020). Machine learning technologies for sustainability in smart cities in the post-covid era. *Sustainability*, 12(22), 9320. <https://doi.org/10.3390/su12229320>
- Diemer, A., Nedelciu, C. E., Morales, M. E., Batisse, C., & Cantuarias-Villessuzanne, C. (2022). *Waste management and circular economy in the french building and construction sector*. *Frontiers in Sustainability*, 3, 840091. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.840091>
- García-Castillo, C., Maldonado-Villalpando, E., Seguí-Amórtegui, L., & Guerrero-García-Rojas, H. (2024). Circular Economy, Eco-Innovation and a Business Model for the Operation of Wastewater Treatment Plants in Mexico. *Resources*, 13(87). <https://doi.org/10.3390/resources13070087>
- Gracias, J. S., Parnell, G. S., Specking, E., Pohl, E. A., & Buchanan, R. (2023). Smart cities—a structured literature review. *Smart Cities*, 6(4), 1719-1743. <https://doi.org/10.3390/smartcities6040080>
- Haque, A. B., Bhushan, B., & Dhiman, G. (2022). Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends. *Expert Systems*, 39(5), e12753. <https://doi.org/10.1111/exsy.12753>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, L. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.

- Khan, H. H., Malik, M. N., Zafar, R., Goni, F. A., Chofreh, A. G., Klemeš, J. J., & Alotaibi, Y. (2020). Challenges for sustainable smart city development: A conceptual framework. *Sustainable Development*, 28(5), 1507-1518. <https://doi.org/10.1002/sd.2090>
- Mundada, M., & Mukkamala, R. R. (2020, July). Smart cities for sustainability-an analytical perspective. In *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)* (pp. 770-775). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WorldS450073.2020.9210379>
- Pan, S., Zhou, W., Piramuthu, S., Giannikas, V., & Chen, C. (2021). Smart city for sustainable urban freight logistics. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2079-2089. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1893970>
- Phonthanukitithaworn, C., Maitree, N., & Naruetharadhol, P. (2024). Eco-innovation policies for food waste management: A European Union-ASEAN comparison. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(2), 100295. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100295>
- Praveen, K., Abinandan, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2024). Synergy of eco-innovation with on-farm practices enhances circularity beyond conventional nutrient recovery framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 208, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107735>
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of cleaner production*, 179, 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- Ramirez, L. J., & Grijalba, A. I. (2020). Sustainability and resilience in smart city planning: A review. *Sustainability*, 13(1), 181. <https://doi.org/10.3390/su13010181>
- Shamsuzzoha, A., Nieminen, J., Piya, S., & Rutledge, K. (2021). *Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London*. *Cities*, 114, 103194. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103194>
- Shobande, O. A., Tiwari, A. K., Ogbeifun, L., & Trabelsi, N. (2024). *Demystifying circular economy and inclusive green growth for promoting energy transition and carbon neutrality in Europe*. *Structural Change and Economic Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2024.05.016>

- Sipos, G. L., & Ionescu, A. (2024). Sustainable development through eco-innovation. Empirical evidence from the EU-27 member states. *Journal of Business Economics and Management*, 25(4), 809-827. <https://doi.org/10.3846/jbem.2024.22037>
- Thornbush, M., & Golubchikov, O. (2021). *Smart energy cities: The evolution of the city-energy-sustainability nexus*. *Environmental Development*, 39, 100626. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100626>
- Toli, A. M., & Murtagh, N. (2020). The concept of sustainability in smart city definitions. *Frontiers in Built Environment*, 6, 77. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077>
- Trindade, E. P., Hinnig, M. P. F., da Costa, E. M., Marques, J. S., Bastos, R. C., & Yigitcanlar, T. (2017). Sustainable development of smart cities: A systematic review of the literature. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 3(3), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40852-017-0063-2>
- Tura, N., & Ojanen, V. (2022). *Sustainability-oriented innovations in smart cities: A systematic review and emerging themes*. *Cities*, 126, 103716. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103716>
- Yigitcanlar, T., & Kamruzzaman, M. (2018). Does smart city policy lead to sustainability of cities? *Land use policy*, 73, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.034>
- Yigitcanlar, T., Mehmood, R., & Corchado, J. M. (2021). Green artificial intelligence: Towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures. *Sustainability*, 13(16), 8952. <https://doi.org/10.3390/su13168952>