
Las métricas de los residuos sólidos urbanos en el marco de la economía circular

The metrics of urban solid waste in the framework of the circular economy

Fernando Arafat Cano Godoy^{1*}
Juan Carlos Arriaga Rodríguez¹
Celia Hernández Diego²

¹Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, México

²Universidad Autónoma Metropolitana, México

*Autor de correspondencia: 0809344@uqroo.mx

Editores encargados: Dr. Oscar Frausto Martínez y Dr. Alejandro Escalera Briceño

Recibido: 20 de septiembre de 2022 - Aceptado: 03 de marzo de 2023

Resumen

Los residuos sólidos urbanos son un grave problema en el planeta hoy en día. Las instituciones, los centros de investigación, los gobiernos y la sociedad buscan constantemente soluciones alternativas a largo plazo para mejorar la eficiencia en la gestión, el reciclaje y la eliminación de residuos. Sin embargo, las métricas y los puntos de referencia utilizados para capturar el problema, evaluar las causas fundamentales de la acción y sugerir alternativas son limitados, fragmentados y, a menudo, poco prácticos. En este contexto, la economía circular se convierte en una de las alternativas más innovadoras y sostenibles para enfrentar los principales problemas de residuos sólidos urbanos y desarrollar alternativas. Por tal motivo, la presente investigación tiene como objetivo hacer una revisión de las métricas utilizadas en la economía circular de residuos sólidos urbanos en las ciudades mediante el análisis bibliográfico de fuentes secundarias. En primer lugar, se hace una aproximación teórico-conceptual de la economía circular y la política cero residuos. En seguida, se exploran las principales metodologías para valorar la economía circular en sociedades urbanas. Finalmente, se considera que las métricas de la economía circular siguen en desarrollo y que la mayoría de ellas están orientadas a nivel industrial. Además, los sistemas de indicadores requieren un mayor desarrollo para capturar todos los elementos de la economía circular y proporcionar una comprensión sólida de la eficacia de las políticas.

Palabras clave: Economía circular, Ciudad, Residuos sólidos urbanos, Sistemas de medición

Abstract

Solid municipal waste is a serious problem on our planet today. Institutions, research centers, governments and society are constantly looking for long-term alternative solutions to improve the efficiency of waste management, recycling and disposal. However, the metrics and benchmarks used to capture the problem, assess the root causes of action, and suggest alternatives are limited, fragmented, and often impractical. In this context, the circular economy becomes one of the most innovative and sustainable alternatives to face the main problems of urban solid waste and develop alternatives. For this reason, this research aims to review the metrics used in the circular economy of urban solid waste in cities through the bibliographic analysis of secondary sources. First of all, a theoretical-conceptual approximation of the circular economy and the zero-waste policy is made. Next, the main methodologies for valuing the circular economy in urban societies are explored. Finally, it is considered that the circular economy metrics are still under development and that most of them are oriented at the industrial level. Furthermore, indicator systems require further development to capture all elements of the circular economy and provide a solid understanding of policy effectiveness.

Keywords: Circular economy, City, Urban solid waste, Metrics to assess

Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) han constituido una pieza de enorme peso en la contaminación ambiental. Hoy día, se ha convertido en un tema crucial en el planeta. Instituciones, centros de investigación, gobiernos y población se han esforzado por encontrar alternativas y soluciones a largo plazo que eleven la eficiencia en el manejo, recuperación y destino final de los residuos. Sin embargo, las métricas y parámetros para evidenciar la dimensión del problema, crear mecanismos históricos de monitoreo, evaluar las acciones en su causa y plantear alternativas, son limitadas, dispersas e inaccesibles en la mayoría de los casos. Ante este panorama, la economía circular ha emergido como una de las alternativas más innovadoras y sustentables para medir, evaluar y formular alternativas ante los grandes desafíos de los RSU. Esta perspectiva ha definido una serie de instrumentos para conocer la dimensión del problema, tipologías, actividades de origen, rutas, redes de actores, grados de eficiencia, impactos positivos y negativos en el ambiente, no obstante, el reto principal todavía consiste en superar los limitados sistemas de indicadores de estructuras métricas robustas sobre la base de indicadores medibles a diferentes escalas, observables, cuantificables y verificables para una comprensión más completa de las problemáticas ambientales de los RSU.

En la actualidad se presentan cambios en el desarrollo urbano, nuevos modelos de crecimiento y configuraciones más complejas de relaciones entre actores económicos, estructurando cadenas de valor sobre nuevos hábitos de consumo (Castells, 2007; Boquet, 2021). Estas tendencias atisban una serie de tareas y retos en la búsqueda de nuevos marcos de referencia y esquemas operacionales para explicar las rutas del mundo contemporáneo y sus grandes problemas. Así, se sentaron las bases para definir esquemas analíticos de mayor racionalidad y eficiencia. Una de las alternativas se enmarca en la economía circular, hoy, objeto estructural de las políticas públicas infra y supranacionales al compartir la preocupación sobre las problemáticas de la sostenibilidad global que se tienen de frente y la forma en que debemos actuar para conciliar los desafíos socioeconómicos y ambientales (Vivien, 2020). También se ha convertido en la directriz de análisis de estudiosos del tema como lo constatan Kirchherr y colaboradores. (2017), quienes analizaron 114 definiciones de la economía circular demostrando los diversos significados a los que está sujeta según las profesiones, los actores, sus intereses y campos de intervención, etcétera. Por su parte, en el campo práctico, la economía circular también ha logrado incidir en los métodos de producción y consumo, al reducir la extracción de materias primas (Carrillo y Pomar (2021).

Por otro lado, se están llevando a cabo esfuerzos incipientes por parte de autores e instituciones para desarrollar metodologías que permitan evaluar la economía circular en

América Latina y el Caribe, considerando sectores que hasta ahora han sido excluidos o apenas analizados en el contexto de las sociedades urbanas (Van Hoof et al, 2022).

Asimismo, existe una carencia en los métodos de evaluación de la política de economía circular, en especial a nivel urbano, ya que se desconocen los elementos principales que la caracterizan en el contexto local y que proporcionen una comprensión sólida de la eficacia de las políticas dirigidas a favorecer la transición hacia una economía circular (Ihobe, 2021).

Economía circular, ciudad y residuos sólidos urbanos

El término “economía circular” fue utilizado por primera vez por los economistas ambientales británicos Pearce y Turner en 1989 con su trabajo “*Economics of Natural Resources and the Environment*”, para describir un sistema cerrado de las interacciones entre economía y medio ambiente. Las primeras ideas de economía circular surgen hace más de 50 años con el estudio de los flujos de materiales por los sistemas económicos. Tomando la ciencia de la ecología industrial como punto de partida, la propuesta de la economía circular nace a partir de debates públicos y empresariales sobre la importancia de la sostenibilidad en sistemas industriales en escenarios de escasez de recursos, frente al crecimiento poblacional y a los riesgos del cambio climático. El modelo surge para transformar la manera como utilizamos los recursos en sistemas de producción y consumo lineales, hacia sistemas circulares. Sin embargo, la economía circular como modelo de desarrollo carece de un marco teórico unificado, su sustento proviene de diversas interpretaciones de propósitos del desarrollo destacando contribuciones sociales (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).

Ahora bien, la economía circular tiene el propósito de que los productos, componentes y materias primas o energía mantengan su utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2015a). Tiene como objetivo aplicar lo básico a la construcción de activos a largo plazo. Además de utilizar el enfoque sistémico, la economía circular es un sistema de retroalimentación que trata de minimizar los insumos de los recursos, así como la generación de residuos que se filtran en el espacio geográfico impactando negativamente. En específico, dichos residuos que se generan en los núcleos urbanos y sus periferias son definidos como residuos sólidos urbanos y se componen de residuos orgánicos, cartón, papel, madera y, en general, materiales inorgánicos, como vidrio, plástico y metales.

La ciudad es un conjunto urbano conformado por gran cantidad de edificaciones y complejos sistemas viales, de población muy numerosa y densa, cuyas principales actividades económicas están asociadas a la industria y los servicios. En efecto, las ciudades son ocupadas por el hombre,

mismo que interactúa con el medio natural realizando un intercambio. Esta relación entre el medio ambiente natural y el antrópico es definida por Girardet (1989) como “metabolismo urbano”. Siguiendo a Girardet, el metabolismo urbano puede ser lineal o circular. El modelo lineal traduce la forma tradicional de construir ciudades en un continuo de consumo de recursos naturales y producción de residuos y el modelo circular traduce que la entrada de insumos y la salida de residuos se produce con el fin de maximizar los procesos de reutilización y reciclaje, con soluciones que se asemejan al comportamiento natural del medio ambiente. En otras palabras, toma la filosofía de organización de sistemas basada en los seres vivos (Balboa y Somonte, 2014).

Por otra parte, el modelo de economía circular se contrasta a la economía lineal, que es el modelo económico utilizado en la actualidad y que se basa en la producción de bienes y servicios a través del proceso de extracción, producción, consumo y desecho, sin tomar en cuenta la sustentabilidad de las generaciones futuras (Caicedo, 2017).

Sin embargo, las ciudades forman parte de sistemas más amplios, por lo que son sistemas abiertos que reciben y producen residuos. Por tanto, la economía circular parte de una idea utópica que consiste en cerrar el círculo económico de la producción y el consumo sin dejar residuos. En su aplicación, esta idea se vuelve compleja y difusa, ya que se requieren herramientas que permitan medir su impacto y que señalen que una solución circular es sostenible. Siguiendo a Lett (2014), la economía circular puede contribuir en la sustentabilidad mediante el rediseño industrial y los hábitos de consumo de la población en su conjunto, pues esta se fundamenta principalmente en la escuela ecologista, haciendo una transformación más profunda y duradera, con la finalidad de reducir los impactos antrópicos al ambiente, ya que se basa en la reutilización inteligente de los residuos.

Por su parte, las ciudades chinas fueron las primeras en implementar estrategias de economía circular derivado de la escasez de recursos naturales, contaminación y degradación ambiental que conllevó el crecimiento económico desmesurado a partir de las reformas económicas de finales de la década de 1970 (Medeiros, 2022). En efecto, China implementó la política de economía circular en 2008 mediante la creación de una ley para la promoción de dicho modelo (Porcelli y Martínez, 2018). Eventualmente, el modelo de economía circular sería adoptado por las Naciones Unidas, cuando en 2015 se presentó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible junto con la economía circular como una alternativa al actual modelo de consumo (Zottele y Nájera, 2022). Asimismo, la Comisión Europea diseñó el Plan de Acción para la economía circular como una herramienta para mitigar el cambio climático a diversas escalas (Comisión Europea, 2019).

En América Latina y el Caribe, la aplicación de la economía circular se encuentra en una fase de desarrollo.

A pesar de que la implementación de la economía circular en América Latina y el Caribe tiende a ser aún incipiente, las acciones al respecto han ganado terreno en los últimos años, ya que la economía circular contribuye al esfuerzo global para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 12 sobre Producción y Consumo Sostenibles, pero también el ODS 13 de Acción por el Clima (CEPAL, 2021).

En México, la economía circular es un modelo reciente, sus primeros impulsos fueron a partir del Acuerdo Nacional para la nueva economía del plástico promovido por la Fundación Ellen MacArthur (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2021). No obstante, un primer paso en la instrumentación del modelo fue al presentarse la Ley General de Economía Circular el 20 de noviembre de 2019, después fue aprobada por el Senado el 17 de noviembre de 2021 y remitida a la Cámara de Diputados.

En resumen, las ciudades son objetos importantes que deben estar a la vanguardia de la transformación, interviniendo en todos los ámbitos donde convergen para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, como la economía circular, un modelo que está ganando popularidad, con cada vez más organizaciones contribuyendo a su desarrollo (Martínez, 2021). Del mismo modo, los modelos de ciudades derivados de la economía circular, tales como la ciudad circular, la ciudad cero residuos, la ciudad esponja, entre otros, se derivan de la adopción de un modelo de economía circular territorial (Su et al, 2021). Por ende, la adopción de la economía circular en las ciudades se perfila como un nuevo concepto de desarrollo urbano sostenible ante los complejos y urgentes desafíos de la urbanización, como el manejo de los residuos sólidos urbanos.

La ciudad cero residuos: un reto global

El aumento de la generación de residuos en las ciudades del mundo pone en marcha un sistema de flujo de materiales lineal en el que los productos de consumo terminarán en un vertedero. Existe una manera de ver los residuos como una oportunidad y ver las soluciones como parte de una agenda más amplia sobre el cambio climático mediante la gestión de los residuos para regenerar las ciudades (Murray, 2002).

Un modelo que empalme a la economía circular, ciudad y residuos sólidos urbanos en su conjunto es el modelo cero residuos. Según la Alianza Internacional Zero Waste (ZWIA), el concepto cero residuos es una meta para guiar a las personas en cambiar su estilo de vida y prácticas para emular los ciclos sustentables naturales, donde todos los materiales desechados están diseñados para ser los recursos de otros. Por el contrario, para alcanzar dicha meta todos los residuos producidos deben ser desviados de los vertederos e incineradores, siendo una tarea difícil de realizar (Franco et al, 2019). Si bien el concepto de cero residuos es lo opuesto al modelo lineal, la tasa de flujo de materiales es un modelo

circular donde el final del producto también se convierte en el comienzo de otro producto.

El modelo cero residuos como política pública se caracteriza por encontrarse en pleno proceso de desarrollo (Su et al, 2021). Esta cuestión es el reflejo de que en la actualidad ninguna urbe en el planeta ha alcanzado aún el objetivo de evitar que la totalidad de sus desechos reutilizables y potencialmente reciclables vayan a parar a vertederos o incineradores, tal cual lo marca el propósito final del modelo. No obstante, ciertas ciudades están cumpliendo parcialmente con la meta y lograron reducir notablemente, en los últimos años, la producción de residuos. Por ello, se desarrollan brevemente algunos casos destacados de ciudades que son modelos para seguir por aquellas urbes.

Canberra se convirtió en la primera ciudad del mundo en promulgar leyes de Cero Residuos en 1996. En 2004, la ciudad de Canberra alcanzó el 70% de diversificación de residuos. Uno de los programas de Canberra es establecer un área de recuperación de recursos para ayudar a la industria a crear productos a partir de materiales separados y que puedan comercializar materiales reutilizables.

En la ciudad de Adelaida al sur de Australia durante el 2015 se implementó una estrategia cero residuos mediante el compostaje de residuos orgánicos de la ciudad, logrando disminuir el flujo de residuos vertidos en un 82% (Zaman y Lehmann, 2013). La composta generada es distribuida a los actores locales y es utilizada como abono y biomasa para generar energía.

San Francisco es una ciudad del estado de California en los Estados Unidos de América que planea convertirse en una ciudad cero residuos. Desde 1989 el gobierno ha ido aumentando la tasa de reciclaje hasta conseguir alcanzar la meta cero residuos. Actualmente, San Francisco genera aproximadamente 1.8 millones de toneladas de residuos por año, que controla a través de un circuito que va desde la recolección y clasificación hasta el reciclado y venta de los materiales producidos. El 21% de la totalidad de los residuos va a parar a una planta de separación de residuos secos. Posteriormente, los materiales reciclados son distribuidos por diferentes canales de comercialización. Por su parte, los residuos orgánicos son llevados a la planta de compostaje en una zona rural donde la composta es redistribuida y comercializada (Armas, 2021).

La economía circular ante los desafíos de la métrica de residuos sólidos urbanos

La presente investigación utilizó un enfoque cualitativo mediante la revisión bibliográfica de fuentes secundarias, con el objetivo de hacer un análisis de las metodologías utilizadas en la medición de la economía circular de residuos sólidos urbanos en las ciudades. En primer lugar, se hizo una aproximación conceptual de la economía circular y su relación con la ciudad y los residuos sólidos urbanos. Posteriormente,

se identificaron los indicadores categorías, políticas y dimensiones aplicados a los sistemas de indicadores de economía circular.

Las primeras metodologías para medir la economía circular han sido propuestas por la Fundación Ellen MacArthur. Uno de los métodos propuestos es el de circularidad de materiales, el cual mide el flujo de entradas y salidas en una escala de 0 a 1. Dicho método tiene en cuenta el uso de materias primas, el periodo de utilidad del producto y la eficiencia en el proceso después de su uso. Este ha sido adoptado por empresas de diversos sectores (Ellen MacArthur, 2015b). En otras palabras, el índice de circularidad de material proporciona una evaluación de cuánto se ha minimizado el flujo lineal de materiales; a su vez, mide cómo se ha maximizado el flujo de reciclaje y cómo se ha utilizado el material (Ellen MacArthur, 2015a). Una de las limitaciones del índice de circularidad de material es que está determinado a procesos productivos específicos que puede ayudar a mejorar la gestión, tanto de las entradas y las salidas, de los sistemas productivos, pero es incapaz de fijarse en la circularidad cruzada de materiales al considerar un material y un proceso de retroalimentación específico (Obando, 2021).

Al mismo tiempo, a partir de los datos de la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), Diego y Bares (2019) hacen referencia a las distintas dimensiones e indicadores de economía circular que abarca la Unión Europea extraídos del marco estadístico de la EUROSTAT (**Tabla 1**). También, estos autores sugieren otras dimensiones, como la innovación y las inversiones en sectores estratégicos, ya que en su trabajo concluyeron que ambos son elementos clave de transición a una economía circular.

Tabla 1. Principales indicadores de economía circular de la Unión Europea

Dimensión	Indicador	Valores
Producción y consumo	Autosuficiencia de la UE para materias primas	%
	Contratación pública verde	Número
	Desperdicio de alimentos	Millones de ton.
Gestión de residuos	Generación de residuos municipales per cápita	Kg per cápita
	Tasa de reciclaje de residuos municipales	%
	Tasa de reciclaje de todos los residuos, excluyendo los principales residuos minerales	%
	Tasa de reciclaje del embalaje total	%
	Tasa de reciclaje de envases de plástico	%

Dimensión	Indicador	Valores
	Tasa de reciclaje de embalajes de madera	%
	Tasa de reciclaje de residuos electrónicos	%
	Reciclaje de residuos biológicos	kg per cápita
	Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición	%
Materias primas secundarias	Aporte de materiales reciclados a la demanda de materias primas	%
	Comercio de materias primas reciclables	Toneladas

Fuente: adaptado de Diego y Bares (2019)

Siguiendo a la CEPAL (2021), se menciona que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), consolidó un inventario de 474 indicadores en economía circular como resultado del análisis de 29 estudios realizados en la Unión Europea, China, Norte y Sur América. El inventario clasifica los indicadores en cinco categorías (Tabla 2). Asimismo, según la CEPAL, en dicho estudio se plantean 33 subcategorías y 11 sectores que ayudan a agrupar los indicadores en un sistema específico en términos de residuos, materiales, construcciones, energía, alimentos, agua, administración pública y aire, entre otros. Como se observa, la mayoría de ellos enfatiza la medición de impactos ambientales sobre los socioeconómicos.

Tabla 2. Principales categorías de indicadores en economía circular según la OCDE

Categoría	%
Medio ambiente	39
Gobernanza	34
Económicos y de negocio	14
Infraestructura y tecnología	8
Social	5

Fuente: CEPAL (2021)

En definitiva, observamos que los sistemas de indicadores son la metodología más utilizada para la evaluación de la economía circular, donde los sistemas de indicadores orientados a la política cero residuos son los que mejor se adaptan a la evaluación de ciudades. En tanto, la

categoría de medio ambiente es la metodología de indicadores más común a nivel global (Manninen et al, 2018).

Hasta ahora, la mayoría de las metodologías propuestas por investigadores e instituciones están orientadas a la aplicación o la eficiencia de la economía circular a nivel industrial (Pereira, 2021). Es decir, existen pocas investigaciones que aborden la evaluación de sociedades urbanas en el ámbito de la economía circular, ya que se trata de una nueva rama de estudio (Boquet, 2021). Aunque hay una creciente literatura sobre este tema, algunos autores señalan que carece de rigurosidad científica y presenta deficiencias desde una perspectiva urbana (Williams, 2023). En este sentido, el estudio y el desarrollo de la economía circular en las ciudades podrían resultar beneficiosos para una comprensión más completa de la complejidad urbana.

China es uno de los primeros países en implementar sistemas de índices de economía circular a escala urbana. Por ejemplo, Zhijun y Nailing (2007) analizaron las relaciones económicas, sociales y ecológicas mediante un índice de recursos donde determinaron la generación de residuos sólidos, como un primer acercamiento de la circularidad.

Actualmente en China se ha identificado el tipo de política aplicada de economía circular, lo cual ha generado una clasificación de ciudades como eco-ciudad, ciudad esponja y ciudad residuos cero (Tabla 3). En suma, Su y colaboradores (2021), compilaron dichos sistemas analizando los principios de diseño y los campos de aplicación de los indicadores.

Por otra parte, Zaman y Lehmann (2013) propusieron una herramienta para medir el rendimiento de los sistemas de gestión de residuos llamada “índice de residuos cero”, el cual fue aplicado a ciudades de alto consumo con perspectivas políticas de ciudad cero residuos (Adelaida, Australia; San Francisco, Estados Unidos de América; Estocolmo, Suiza). Dicho índice prevé la cantidad de materiales vírgenes, energía, agua y emisiones sustituida por los recursos que se recuperan de los flujos de residuos. Cabe destacar que en el apartado teórico del trabajo los investigadores detectaron los principales fundamentos de las ciudades cero residuos (Tabla 4). Sin embargo, estos no se ven reflejados en su índice lo que imposibilita evaluar a la economía circular de ciudad cero residuos ya que solo se estaría haciendo referencia al sistema de gestión de residuos.

Si bien los fundamentos de la ciudad cero residuos pueden convertirse en índices, también se pueden convertir en programas a corto y mediano plazo (Tabla 4); la concientización y educación, el cambio de comportamiento y el pensamiento sistémico son programas estratégicos a largo plazo, mientras que el diseño industrial innovador, la legislación y reciclaje son a corto plazo. No obstante, uno de los aspectos importantes de la ciudad cero residuos es la conversión del metabolismo de ciudad lineal a un metabolismo de ciudad circular (Magalhães et al, 2022).

Tabla 3. Diseño del sistema de indicadores en diferentes prácticas políticas

Perspectiva política	Sistema de indicadores	Puntos críticos del sistema de indicadores	Indicador crítico
Eco-ciudad	Sistema de garantía, asentamiento ecológico, apoyo ambiental, funcionamiento económico, conciencia y cultura	Entorno ecológico	Tasa de urbanización
Ciudad esponja	Ecología del agua, medio ambiente acuático, recursos hídricos, seguridad hídrica, construcción e implementación de sistemas y visualización de recursos hídricos	Recurso hídrico	Calidad y cantidad de agua
Ciudad cero residuos	Residuos sólidos, específicamente de la fuente de reducción de residuos sólidos, utilización de recursos de residuos sólidos, eliminación final de residuos sólidos, capacidad de seguridad y sentido público de ganancia	Residuos sólidos	Reciclaje de componentes

Fuente: adaptado de Su et al, (2021)

Tabla 4. Fundamentos y dimensiones de la ciudad cero residuos

Jerarquía	Fundamentos de las ciudades cero residuos	Estrategias
1	Conciencia, educación e investigación	Programas cero residuos Transformación educativa Investigación cero residuos
2	Sustentabilidad, consumo y cambios del comportamiento	Consumo colaborativo Cambios del comportamiento Vida sustentable
3	Diseño industrial transformado	Diseño de la cuna a la cuna Producción limpia Producción responsable
4	Recuperación y reciclaje	Reducción Reparación y rehúso Recuperación y reciclaje
5	Legislación y política cero residuos	Legislación sobre vertederos Legislación sobre incineración Incentivos
6	Recuperación y reciclaje	Reducción Reparación y rehúso Recuperación y reciclaje

Fuente: adaptado de Zaman y Lehmann (2013)

Consideraciones finales

Las métricas de los residuos sólidos urbanos en el marco de la economía no siempre siguen la misma tendencia, ya que se encuentran en una fase desarrollo y también se manifiestan en sentido contrario a las diferentes políticas, ya que la economía circular es una moda que trata de conciliar los desafíos socioeconómicos y ambientales. Pero no sorprende que se considere a las ciudades como componentes que contribuyen en la economía circular y el hecho de que los sistemas de indicadores definan las combinaciones de las iniciativas en la adopción de la economía circular.

Por lo tanto, sería útil un desglose de las diferentes métricas tomadas por las ciudades y medir el impacto

ambiental de diferentes estrategias. Asimismo, se puede utilizar para identificar estrategias de desarrollo urbano sostenible. Sin embargo, varios autores han sugerido que la economía circular y la economía verde están estrechamente relacionadas, y que la sostenibilidad es un elemento fundamental en ambas (Bocken et al, 2014). Por lo tanto, la adopción de prácticas de economía circular puede contribuir significativamente a la promoción del desarrollo sostenible (Yuan et al, 2006; González y Vargas, 2017).

La mayoría de las métricas están orientadas a la aplicación o la eficiencia de la economía circular a nivel industrial. Por su parte, China es uno de los primeros países en implementar sistemas de indicadores de economía

circular a escala urbana, tienen una clasificación de ciudades dependiendo de la política de economía circular implementada al contexto urbano (Zhijun y Nailing 2007; Su et al, 2021).

En definitiva, la combinación de iniciativas políticas que logren los objetivos de sustentabilidad está ligada a las métricas, mismas que tienen un nivel alto de complejidad basado en la definición de las iniciativas y que existan datos disponibles o que estos puedan ser fácilmente construidos. Una recomendación clara es que las métricas deben incluir los puntos críticos del sistema de indicadores, como el ambiente y los residuos sólidos urbanos (RSU), con énfasis en la participación social (Díaz, 2017; Mármol y Rojas, 2020), tales como los establecimientos y personas que están involucrados en los sectores de la economía circular en el caso de Latinoamérica (Durand, 2019; Gutiérrez, 2022).

La evaluación de la economía circular se ha fortalecido como herramienta potencialmente útil al momento de la toma de decisiones en el plano de acción gubernamental, como instrumento de análisis para el ejercicio académico de investigación y como referente para el diseño de una planeación más integral y sustentable de las ciudades. Sin duda, la incorporación de esquemas de análisis métricos puede contribuir a una mejor disposición de los recursos públicos que atiendan la problemática ambiental de los residuos, con mayor alcance y de forma más eficaz. En este sentido, el diseño de numeralías sobre los RSU no es una tarea individual. Tampoco se trata de una estrategia que pueda promoverse en forma tecnocrática, por un grupo de expertos o instituciones especializadas. Se necesitan bases de un trabajo colaborativo inter y transdisciplinario entre centros de investigación, universidades, sectores económicos y actores sociales.

El tema de la evaluación de los RSU, en el marco de la economía circular, ha traído modificaciones directas en los sistemas de planeación urbana, presupuestación, infraestructura y el diseño de políticas públicas de las ciudades. También ha logrado estimular el interés de distintos campos de las ciencias ambientales y estudios territoriales. El esfuerzo conjunto se ha materializado en monitoreos puntuales del desarrollo de la problemática ambiental de RSU. Asimismo, se han logrado instrumentales métricos más robustos que pueden compartirse y homologarse con metodologías probadas. Sin embargo, todavía falta estructurar indicadores más vinculantes o sinérgicos que logren encaminarse hacia el reconocimiento de la multidimensionalidad de la problemática ambiental y sus formas de abordaje métrico.

Agradecimientos

Un reconocimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Quintana Roo por su apoyo y patrocinio para la realización de este artículo derivado del proyecto de tesis doctoral del primer autor.

Referencias

- Armas, D. (2021). Basura Cero: Origen, principios y experiencias. *Ambiente en Diálogo*, (2), 19. <http://ojs.opds.gba.gov.ar/index.php/aed/article/view/23>
- Balboa, C. H., y Somonte, M. D. (2014). Economía Circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador Técnico*, 78(1), 82-90.
- Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *J Clean Prod*, 65, 42- 56.
- Boquet, K. (Coord.) (2021). Mettre les territoires au service de l'économie circulaire. *La Fabrique Ecologique*, Note définitive 40, 31.
- Caicedo, C., (2017). *Economía Circular y su papel en el diseño e innovación sustentable*. Colombia: Libros Editorial UNIMAR.
- Carrillo González, G., & Pomar Fernández, S. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9(23), e2379933. Epub 21 de febrero de 2022. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2021.23.79933>
- Castells, M. (2007). *La cuestión urbana*. México: Siglo XXI Editores.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Economía Circular en América Latina y el Caribe. Oportunidad para una recuperación transformadora*. 1-73.
- Comisión Europea. (2019). *La UE apuesta fuerte por la economía circular. Sitio Oficial de la Unión Europea*. https://ec.europa.eu/spain/news/20190218_%20The-EU-is-strongly-committed-to-circular-economy_es
- Díaz, Ana. (2017). Participación ciudadana en la gestión y en las políticas públicas. *Gestión y Política Pública*, 26(2), 341-379. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792017000200341&lng=es&tlng=es
- Diego, F. y Bares, L. (2019). *Economía Circular: indicadores de innovación*. VII Congreso virtual internacional "Transformación e Innovación en las Organizaciones" (pp. 475-522). <https://www.eumed.net/actas/19/trans-organizaciones/33-economia-circular-indicadores-de-inovacion.pdf>
- Durand, M., y De Oliveira Neves, F. (2019). L'intégration des cueilleurs de déchets latino-américains ou la création d'une nouvelle marge. *EchoGéo*, 47. doi: 10.4000/echogeo.16894
- Ellen Macarthur Foundation. (2015a). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Report-2015.pdf
- Ellen Macarthur Foundation. (2015b). *Circularity indicators. An approach to measuring circularity. Non-technical case studies*. <http://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/Circular-Economy/Ellen-MacArthur-Circularity-Indicators-Non-Technical-Case-Studies-May-2015.pdf>
- Franco G., Bressers, H. y Aguilar C., (2019). Towards Zero waste. Towards Zero W, Circular Economy Boost: *Waste to Resources*, 6. https://doi.org/10.1107/978-3-319-92931-6_1
- Girardet, Herbert (1989). *Ciudades*. México: Ed. Gaia.
- González Ordaz, G. y Vargas Hernández, J., (2017). La Economía Circular como factor de la responsabilidad social. *Economía Coyuntural*, 2(3), 105-130. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222017000300004&lng=es&tlng=es
- Gutiérrez, R. (2022). Aplicación de Modelos de Economía Circular en México y Colombia: Estudio de caso. *Interconectando*

- Saberes, (14), 203–218. <https://doi.org/10.25009/is.v0i14.2762>
- Ihobe. (2021). *Indicadores de Economía Circular Euskadi 2021, Marco de seguimiento europeo*. España.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). *Análisis y revisión técnica del marco legal existente para la instrumentación de una política en materia de economía circular para México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/677876/V2_An_lisis_y_revisi_n_t_cnica_de_marco.pdf
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation, and recycling*, 127, 221-232.
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de Economía Circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 1-2.
- Magalhães, R. C., Santos, A. C. B. dos., Buarque, B., Machado, H. O., & Carvalho, H. J. B. de. (2022). Urban metabolism and solid waste management: a needed dialogue to cities management. *Research, Society and Development*, 11(2), e18311213428. <https://doi.org/10.18311213428>
- Manninen, K., Koskela, S., Antikainen, R., Bocken, N., Dahlbo, H., and Aminoff, A. (2018). Do circular economy business models capture intended environmental value propositions? *Journal of Cleaner Production*, 171, 413-422.
- Mármol, G., y Rojas, O. (2020). *La Participación Ciudadana en América Latina: Un Enfoque desde la Socioformación*. Memorias del 5º Congreso Internacional de Investigación en Socioformación y Sociedad del Conocimiento (CISFOR2020). Cuernavaca, México, Centro Universitario CIFE. <https://cife.edu.mx/recursos>
- Martínez, M. (2021). *La implementación del Modelo de Economía Circular a nivel urbano. Ciudades circulares como estrategia de revitalización en España*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado. <https://oa.upm.es/66153/>
- Medeiros, C. (2022). Economía e política do desenvolvimento recente na China. *Brazilian Journal of Political Economy*, 19, 496-516.
- Murray, R. (2002). *Zero Waste*. Greenpeace Environmental Trust. <https://www.zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2011/04/zero-waste-by-robin-murray.pdf>
- Obando, J. (2021). *Un Estudio del Grado de Circularidad Económica de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos: El Caso Particular de los Ordenadores Personales*. (Trabajo Fin de Máster Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla, España. <https://idus.us.es/handle/11441/133309>
- Pereira, V. (2021) Insights into circular economy indicators: Emphasizing dimensions of sustainability. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10, 100119. doi: 10.1016/j.indic.2021.100119
- Porcelli, A., y Martínez, N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista DIREITO GV*, 14(3), 1067-1105.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., and Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
- Van Hoof, B., Núñez, G., y de Miguel, C. (2022). *Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe* (Serie Desarrollo Productivo No. 229). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46845/S2200477_es.pdf
- Vivien, F. (2020). Pour que l'économie circulaire ne tourne pas en rond. *Natures Sciences Sociétés*, 28, 99-100. doi: 10.1051/nss/2020036
- Williams, J. (2023). Circular cities: planning for circular development in European cities. *European Planning Studies*, 31(1), 14-35. doi: 10.1080/09654313.2022.2060707
- Yuan Z., J. Bi, y Y. Moriguchi (2006). The circular economy: A new development strategy in China. *Industrial Ecology in Asia* 10(1-2), 4-8.
- Zaman, A. U., y Lehmann, S. (2013). The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. *Journal of Cleaner Production*, 50, 123-132.
- Zhijun, F., y Nailong, Y. (2007). Putting a circular economy into practice in China. *Sustainability Science*, 2(1), 95-101.
- Zottele A., y Nájera J. (2022). Economía circular: contribución a la Agenda 2030. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 17(4), e792. doi: 10.21919/remef.v17i4.792