REVISTA CIENTÍFICA YACHAQ

UCT UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en la gestión de residuos sólidos urbanos: políticas públicas y regulación

Life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management: public policies and regulation

Vania Elisabete Schneider
Universidade Federal de Sergipe
veschnei@ucs.br
Elizangela Santos Ferreira
Universidade Federal de Sergipe
eng.ellyferreira@gmail.com
Maria Fernanda Tanta Castro
Universidade de Caxias do Sul
f.tantacastro@gmail.com
Darci Barnech Campani
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
campani@ufrgs.br

CC BY NC

Recibido: 14 de abril de 2026.
Aceptado: 23 de octubre de 2026.
Publicado: 03 de noviembre de 2026.

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) requiere decisiones que consideren impactos ambientales, costos, capacidades institucionales y condiciones sociales. El análisis del ciclo de vida (ACV) permite comparar alternativas y detectar desplazamientos de impactos entre etapas, aunque sus resultados dependen de la unidad funcional, los límites del sistema, la calidad de los datos y los supuestos de modelización. Este artículo presenta una revisión narrativa y un análisis documental focalizado sobre la relación entre ACV, instrumentos de política pública y regulación. La información se organiza mediante dos matrices: una para estudios científicos y otra para instrumentos normativos e institucionales. Se examinan estudios brasileños de Porto Alegre y Garibaldi; contratación pública sostenible, etiquetado ambiental, incentivos económicos y responsabilidad compartida/logística inversa; y marcos seleccionados de Brasil, la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y China, además de iniciativas de economía circular en São Paulo y Barcelona. La comparación distingue legislación de residuos, políticas circulares y evidencia documentada de uso efectivo de ACV. Se concluye que el

ACV puede fortalecer la fundamentación de decisiones, pero no constituye por sí solo una obligación jurídica universal ni sustituye evaluaciones económicas, sociales e institucionales complementarias.
Palabras clave: Análisis del Ciclo de Vida; Residuos Sólidos Urbanos; Políticas Públicas; Regulación; Economía Circular.

ABSTRACT

Municipal solid waste management requires decisions that consider environmental impacts, costs, institutional capacity, and social conditions. Life cycle assessment (LCA) enables the comparison of alternatives and the identification of impact shifting across life-cycle stages, although results depend on the functional unit, system boundaries, data quality, and modelling assumptions. This article presents a narrative review and focused documentary analysis of the relationship between LCA, public policy instruments, and regulation. Information is organized through two matrices: one for scientific studies and another for regulatory and institutional instruments. The analysis examines Brazilian studies from Porto Alegre and Garibaldi; sustainable public procurement, environmental labelling, economic incentives, and shared responsibility/reverse logistics; and selected frameworks in Brazil, the European Union, the United States, Japan, and China, alongside circular-economy initiatives in São Paulo and Barcelona. The comparison distinguishes waste legislation, circular-economy policies, and documented evidence of actual LCA use. It concludes that LCA can strengthen evidence-based decision-making but is neither a universal legal obligation nor a substitute for complementary economic, social, and institutional assessment.
Keywords: Life Cycle Assessment; Municipal Solid Waste; Public Policy; Regulation; Circular Economy.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) implica decisiones sobre prevención, recolección, transporte, clasificación, reciclaje, tratamiento biológico, recuperación energética y disposición final. La elección entre alternativas no puede basarse únicamente en el desempeño de una instalación o en un indicador aislado, porque los beneficios y las cargas pueden desplazarse entre etapas del sistema. Una tecnología que reduce el volumen enviado a vertedero, por ejemplo, puede presentar mayores consumos energéticos, emisiones atmosféricas o necesidades de transporte; de forma similar, el reciclaje depende de la calidad del material recuperado y de los procesos que efectivamente sustituye.

El análisis del ciclo de vida (ACV) proporciona un marco metodológico para estimar impactos ambientales potenciales asociados a un producto, proceso o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Las normas ISO 14040 e ISO 14044 organizan el estudio en definición del objetivo y del alcance, análisis del inventario, evaluación de impactos e interpretación (International Organization for Standardization, 2006a, 2006b). Estas normas establecen principios y requisitos técnicos para realizar estudios de ACV; por sí mismas, no crean una obligación legal universal de que todos los municipios o sistemas de RSU ejecuten un ACV formal.

En la gestión pública, el ACV puede contribuir a comparar escenarios, establecer criterios ambientales en compras, informar programas de etiquetado, examinar incentivos económicos y evaluar opciones asociadas a la responsabilidad por los productos al final de su vida útil. Sin embargo, la presencia de un enfoque de ciclo de vida en una ley o política no demuestra automáticamente que los resultados de un estudio formal de ACV hayan sido utilizados para fundamentarla. Esta distinción es especialmente importante en comparaciones internacionales, donde conviven legislación de residuos, estrategias de economía circular y métodos de evaluación ambiental con alcances jurídicos diferentes.

La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de Brasil menciona expresamente el estímulo a la implementación de la evaluación del ciclo de vida del producto y contempla instrumentos como contratación pública, etiquetado ambiental, incentivos y responsabilidad compartida. En otros contextos, la Unión Europea aplica métodos basados en ACV para la huella ambiental de productos; la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos promueve una perspectiva de ciclo de vida para la gestión sostenible de materiales; Japón dispone de un marco de sociedad orientada al ciclo de los materiales; y China ha desarrollado políticas de clasificación y reciclaje, con una actualización legislativa integral en 2026. Estos instrumentos no son equivalentes y requieren examinarse con fuentes documentales específicas.

El objetivo del artículo es analizar cómo el ACV puede contribuir a la formulación, implementación y evaluación de políticas públicas para la gestión de RSU, articulando evidencia científica con instrumentos de política y marcos regulatorios seleccionados. La comparación internacional busca identificar convergencias, diferencias y posibles aprendizajes para Brasil, distinguiendo (i) regulación de residuos, (ii) políticas de economía circular y (iii) iniciativas que utilizan explícitamente métodos o resultados de ACV. No se pretende realizar una revisión sistemática exhaustiva ni un dictamen jurídico integral de todos los países considerados.

METODOLOGÍA

El estudio se diseñó como una revisión narrativa de literatura, complementada con un análisis documental focalizado de carácter exploratorio y comparativo. El procedimiento no se plantea como una revisión sistemática exhaustiva ni como un dictamen jurídico integral. Se articula en tres componentes: (1) análisis de literatura científica sobre la aplicación del ACV a sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU); (2) examen de estudios brasileños que comparan escenarios municipales mediante ACV; y (3) análisis de instrumentos normativos e institucionales relacionados

con la gestión de residuos, la economía circular y la incorporación de evidencia ambiental en decisiones públicas.

La búsqueda y selección partieron de las referencias del manuscrito original y de publicaciones identificadas como pertinentes para el objetivo del artículo. Se priorizaron revisiones sobre ACV en sistemas de residuos (Laurent et al., 2014a, 2014b; Mulya et al., 2022), una revisión sobre evaluación de la sostenibilidad del ciclo de vida (Ceraso y Cesaro, 2024) y estudios de caso de Porto Alegre y Garibaldi (Reichert y Mendes, 2014; Mersoni y Reichert, 2017). Para el análisis documental se consideraron textos y páginas oficiales relativos a la PNRS y al SINIR en Brasil; la Directiva 2008/98/CE y materiales de la Comisión Europea sobre contratación pública verde y huella ambiental; la RCRA y Sustainable Materials Management de la EPA; instrumentos oficiales de Japón; documentos oficiales de China sobre reciclaje y el Código de Medio Ambiente y Ecología de 2026; y páginas municipales de São Paulo y Barcelona. La disponibilidad y profundidad de consulta varió entre fuentes; por ello, las conclusiones se limitan a lo que la documentación accesible permite sostener.

Se incluyeron publicaciones y documentos con relación directa con la gestión de RSU, las políticas públicas o la regulación, identificación suficiente de autoría o entidad y fecha, y contenido pertinente para sustentar las afirmaciones centrales. Se excluyeron duplicados, referencias no verificables y documentos sin relación sustantiva con el objetivo. La revisión no dispone de un registro consolidado y reproducible de todas las cadenas de búsqueda, fechas, resultados recuperados y decisiones de exclusión; por tanto, no se informan recuentos de registros ni se presenta como revisión sistemática.

La extracción y organización de la información se realizó mediante dos matrices metodológicas complementarias, presentadas íntegramente en las Tablas 1 y 2. La primera orienta la lectura comparativa de los estudios científicos y registra su identificación, contexto, sistema de gestión, alternativas, decisiones de modelización, inventario, categorías de impacto, créditos por sustitución, robustez, resultados y relación con políticas públicas. La segunda guía el análisis de los instrumentos normativos e institucionales y registra su naturaleza, objetivos, referencias explícitas al ACV, obligaciones expresas, recomendaciones, responsabilidades, ámbito de aplicación e implicaciones para la gestión. Los campos son categorías de extracción: su inclusión no implica que cada fuente contenga información para todas las variables.

Tabla 1
Matriz de análisis de la literatura científica

Dimensión	Variables o información que se registra	Finalidad analítica
Identificación bibliográfica	Autores, año, título, revista, DOI o URL.	Identificar y rastrear las publicaciones.
Caracterización del estudio	Objetivo, tipo de estudio y ámbito geográfico.	Contextualizar el estudio y su alcance.
Sistema de gestión de RSU	Tipo y origen de los residuos; características relevantes del sistema.	Identificar los sistemas y flujos evaluados.
Alternativas de gestión	Prevención, recogida, clasificación, reciclaje, compostaje, digestión anaerobia, incineración y disposición final, según corresponda.	Identificar las alternativas consideradas.
Diseño de la ACV	Unidad funcional, límites del sistema y enfoque de modelización.	Evaluar la comparabilidad metodológica.
Inventario del ciclo de vida	Fuentes de datos, representatividad y flujos incluidos.	Examinar la adecuación de los datos.
Evaluación de impactos	Categorías de impacto y métodos utilizados.	Identificar los impactos evaluados.
Créditos y sustitución	Tratamiento del reciclaje, recuperación energética y sustitución de productos o energía.	Examinar cómo se contabilizan beneficios y cargas.
Robustez y limitaciones	Análisis de sensibilidad e incertidumbre; limitaciones reconocidas.	Valorar la solidez y los límites de los resultados.
Resultados	Hallazgos principales y condiciones de validez.	Identificar convergencias y divergencias.
Relación con políticas públicas	Aplicación a planificación, regulación y toma de decisiones.	Examinar la utilidad para la gestión pública.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Matriz de análisis documental normativo y de política pública

Dimensión	Variables o información que se registra	Finalidad analítica
Identificación del instrumento	Título, organismo emisor, año, jurisdicción y fuente oficial.	Asegurar la trazabilidad documental.
Naturaleza del instrumento	Ley, decreto, reglamento, directiva, plan, estrategia o guía.	Distinguir instrumentos jurídicos y orientativos.
Objetivos y principios	Prevención, reducción, reciclaje, valorización, economía circular y gestión sostenible de RSU.	Identificar objetivos pertinentes.
Referencia a la ACV	Mención explícita a la ACV o a instrumentos equivalentes.	Verificar la presencia expresa de la ACV.
Obligaciones expresas	Disposiciones que exijan específicamente realizar o utilizar una ACV.	Identificar requisitos jurídicos explícitos.
Directrices y recomendaciones	Orientaciones sobre impactos, comparación de alternativas y apoyo a decisiones.	Separar recomendaciones de obligaciones legales.

Dimensión	Variables o información que se registra	Finalidad analítica
Responsabilidades y alcance	Entidades responsables, destinatarios, sectores y ámbito de aplicación.	Delimitar el alcance del instrumento.
Implicaciones para la gestión de RSU	Contribuciones potenciales a planificación, selección de alternativas y seguimiento.	Examinar la articulación entre regulación y gestión.

Fuente: Elaboración propia.

Las matrices cumplen una función de organización y trazabilidad analítica; las tablas comparativas que se presentan en Resultados y discusión constituyen una síntesis de los hallazgos seleccionados, no una reproducción de todos los campos de extracción. La matriz bibliográfica se sintetiza en la tabla comparativa de estudios y la matriz normativa se refleja en la comparación de marcos regulatorios e iniciativas institucionales. En la interpretación se distingue entre ACV ambiental y evaluación de la sostenibilidad del ciclo de vida (LCSA), que puede integrar dimensiones ambientales, económicas y sociales; estas dimensiones no se consideran automáticamente incluidas en un ACV ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La discusión se organiza en cuatro planos analíticos diferenciados: resultados científicos sobre la comparación de escenarios; aplicaciones potenciales del ACV en instrumentos de política pública; comparación regulatoria e institucional internacional; y desafíos de implementación.

3.1 Tendencias metodológicas y límites de comparabilidad

La literatura sobre ACV aplicado a sistemas de RSU se ha desarrollado en dos líneas complementarias: la comparación de alternativas y el examen de decisiones metodológicas que condicionan la interpretación de los resultados. Laurent et al. (2014a) revisaron 222 estudios y señalaron la heterogeneidad de los contextos investigados y las dificultades para generalizar los resultados entre territorios. La composición de los residuos, la infraestructura, las condiciones de tratamiento y disposición, la matriz energética y los supuestos de sustitución influyen en el desempeño ambiental de cada alternativa.

La revisión metodológica de Laurent et al. (2014b) subraya la importancia de definir el objetivo y el alcance, la unidad funcional, los límites del sistema, el inventario, las categorías de impacto y los procedimientos de interpretación. Mulya et al. (2022), al analizar 240 artículos publicados entre 2009 y 2020, también muestran que las decisiones metodológicas son centrales para la calidad y comparabilidad de los estudios. Ceraso y Cesaro (2024) amplían la discusión hacia la evaluación de la

sostenibilidad del ciclo de vida (LCSA), que busca integrar dimensiones ambientales, económicas y sociales; esta aproximación no debe confundirse con el ACV ambiental, que no incorpora necesariamente las tres dimensiones.

En consecuencia, los resultados del ACV deben interpretarse como evidencia condicionada por los escenarios modelados, no como una clasificación universal de tecnologías. La transparencia de supuestos, el análisis de sensibilidad, la calidad de los datos locales y la coherencia de las unidades funcionales son condiciones para evitar conclusiones excesivamente generales.

Tabla 3
Matriz bibliográfica de estudios científicos seleccionados

Referencia y tipo	Enfoque y aporte principal	Hallazgos útiles para el artículo	Límites de interpretación
Laurent et al. (2014a), revisión crítica	Revisión de 222 estudios de ACV de sistemas de residuos.	La heterogeneidad territorial dificulta transferir resultados entre sistemas.	No es una revisión específica de regulación ni de políticas públicas.
Laurent et al. (2014b), revisión metodológica	Examina objetivo y alcance, unidad funcional, límites, inventario, categorías y sensibilidad.	Fundamenta la necesidad de transparencia metodológica y análisis de sensibilidad.	No determina obligaciones jurídicas de aplicar ACV.
Mulya et al. (2022), revisión sistemática	Analiza 240 artículos publicados entre 2009 y 2020.	Confirma que métodos, unidades funcionales y supuestos afectan la comparabilidad.	El artículo actual delimita su aporte a políticas y regulación.
Ceraso y Cesaro (2024), revisión de LCSA	Revisa la evaluación de sostenibilidad del ciclo de vida en sistemas municipales.	Permite distinguir la dimensión ambiental de evaluaciones que integran dimensiones económicas y sociales.	LCSA no equivale a ACV ambiental; su alcance depende del método empleado.
Reichert y Mendes (2014), Porto Alegre	Ocho escenarios; modelo IWM-2; indicadores ambientales, económicos y sociales e índice agregado.	El escenario #5 ODT quedó primero bajo dos combinaciones de ponderación; la ordenación varió con los pesos asignados.	Resultados dependientes de escenarios, datos locales y preferencias de los actores.
Mersoni y Reichert (2017), Garibaldi	Seis escenarios; categorías ambientales, uso de energía y disposición de residuos.	CEN 5TRDAS recuperó 68 % de la masa; CEN 6TRIAS recuperó más masa y envió cerca de 6 % a relleno.	No existe una tecnología superior en todas las categorías; los autores señalan limitaciones de datos y de representación espacial/temporal.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Comparación científica de alternativas: Porto Alegre y Garibaldi

En Porto Alegre, Reichert y Mendes (2014) compararon ocho escenarios —el sistema existente y siete alternativas—, combinando modalidades de recolección con reciclaje, compostaje, digestión anaerobia, procesos térmicos y disposición en relleno sanitario. El inventario se desarrolló con IWM-2 y la evaluación incorporó categorías ambientales, indicadores económicos y sociales y un índice general de sostenibilidad. El escenario #5 ODT ocupó la primera posición en dos combinaciones de ponderación; sin embargo, la clasificación cambió parcialmente al aplicar los pesos definidos por el conjunto de actores, lo que evidencia que la decisión depende también de las preferencias y ponderaciones adoptadas.

En Garibaldi, Mersoni y Reichert (2017) evaluaron seis escenarios: el escenario base y cinco alternativas que combinan reciclaje, compostaje, digestión anaerobia, incineración y disposición en relleno sanitario. La evaluación consideró cambio climático, formación de foto-oxidantes, acidificación, eutrofización y toxicidad humana, además del uso de energía y la disposición de residuos reciclables y orgánicos en relleno. Los resultados no identifican una única alternativa como mejor en todas las categorías. El escenario CEN 5TRDAS recuperó el 68 % de la masa mediante reciclaje y digestión anaerobia seguida de compostaje; CEN 6TRIAS mostró mayor recuperación de masa y destinó alrededor del 6 % de la masa total recolectada a relleno. Los autores señalaron limitaciones relacionadas con la disponibilidad y calidad de los datos y con la representación de dimensiones espaciales y temporales.

La lectura conjunta no justifica declarar una tecnología universalmente superior. En Porto Alegre, la jerarquía de escenarios varió con la ponderación de los subíndices; en Garibaldi, el desempeño dependió de la categoría de impacto y de la combinación de procesos. La transferencia a otros territorios exige revisar la composición de los residuos, la unidad funcional, los límites del sistema, la matriz energética, la calidad de los datos y los supuestos de sustitución o recuperación. El ACV ofrece evidencia para comparar alternativas, pero no determina por sí solo qué política pública debe adoptarse ni sustituye el análisis económico, social, institucional y normativo.

3.3 Aplicaciones del ACV en instrumentos de política pública

Los resultados de ACV pueden contribuir a instrumentos que orientan la demanda pública, la información ambiental, los incentivos económicos y la responsabilidad por los productos. Conviene diferenciar entre instrumentos que pueden utilizar evidencia de ACV, normas que aluden al ciclo de

vida y requisitos que exigen expresamente un estudio formal de ACV. La existencia de un instrumento no demuestra por sí misma que sus decisiones se hayan fundamentado en un estudio de ACV.

Contratación pública sostenible

La contratación pública puede incorporar criterios ambientales verificables en las especificaciones técnicas y en la evaluación de ofertas. La Comisión Europea dispone de orientaciones de contratación pública verde y de herramientas de coste del ciclo de vida, que consideran costos de adquisición, operación y fin de vida; estos enfoques documentan el uso de criterios de ciclo de vida en compras públicas, aunque el coste del ciclo de vida no equivale al ACV ambiental (European Commission, s. f.-a, s. f.-c). En Brasil, la PNRS prioriza productos reciclados y reciclables y bienes, servicios y obras compatibles con patrones de consumo ambientalmente sostenibles (Brasil, 2010, art. 7, XI). El ACV puede fundamentar criterios ambientales, siempre que los documentos de contratación definan indicadores verificables, condiciones comparables y requisitos proporcionales.

Etiquetado ambiental y declaraciones de producto

El ACV puede aportar evidencia a programas de etiquetado y declaraciones ambientales al identificar impactos en diferentes etapas del ciclo de vida. La Comisión Europea documenta de manera explícita que los métodos Product Environmental Footprint (PEF) y Organization Environmental Footprint (OEF) se basan en ACV y buscan producir información ambiental comparable y verificable (European Commission, s. f.-b). En Brasil, la PNRS incluye el estímulo al etiquetado ambiental y al consumo sostenible (art. 7, XV). Sin embargo, no toda etiqueta implica un ACV completo conforme a ISO 14040/14044: deben verificarse las reglas aplicables, el alcance del análisis y los procedimientos de comprobación.

Incentivos fiscales, financieros y crediticios

La PNRS incluye incentivos fiscales, financieros y crediticios entre sus instrumentos (art. 8, IX). Pueden diseñarse para promover prevención, reutilización, reciclaje, ecodiseño o infraestructura de tratamiento. El ACV podría ayudar a verificar si los beneficios concedidos se asocian con reducciones ambientales y si existe desplazamiento de impactos entre etapas o categorías. No obstante, la inclusión legal de incentivos no demuestra que estén condicionados a resultados de ACV: ese vínculo debe establecerse explícitamente en la norma o programa específico. La evaluación también debe considerar costo fiscal, distribución de beneficios, capacidad de seguimiento y riesgo de apoyar alternativas con desempeño ambiental incierto.

Responsabilidad compartida, responsabilidad ampliada del productor y logística inversa

La PNRS establece la responsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos, distribuida entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores y titulares de los servicios públicos de limpieza urbana y manejo de residuos (arts. 3 y 30–33). La logística inversa viabiliza la devolución de determinados residuos al sector empresarial para su reaprovechamiento o destino ambientalmente adecuado. Estos instrumentos conectan diseño, producción, consumo y fin de vida, pero la responsabilidad compartida brasileña no debe reducirse sin matices a la responsabilidad ampliada del productor ni implica que cada sistema de logística inversa deba realizar un ACV formal. El ACV puede apoyar la selección de materiales, el establecimiento de metas de recuperación y la comparación de rutas de tratamiento, siempre que se representen adecuadamente los flujos, las tasas reales de recuperación y los impactos evitados. Los planes municipales, por su parte, son relevantes para articular recolección selectiva, reciclaje, logística inversa y responsabilidades locales, sin sustituir las obligaciones sectoriales previstas en la legislación.

En los cuatro instrumentos, la evidencia de ACV puede mejorar la fundamentación, pero su aplicación efectiva requiere reglas operativas claras, datos, capacidad institucional, mecanismos de verificación y evaluación de costos. Una alternativa con menor impacto ambiental modelado puede no ser viable sin financiación, infraestructura, participación de cooperativas de recicladores y mecanismos de control.

3.4 Comparación internacional de regulación, economía circular y uso documentado del ACV

La comparación se delimita a marcos y ejemplos representativos de Brasil, la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y China, complementados por las experiencias municipales de São Paulo y Barcelona (Prefeitura de São Paulo, s. f.; Barcelona + Sostenible, s. f.). Los casos no se presentan como equivalentes: la tabla distingue (a) legislación de residuos, (b) políticas de economía circular o gestión sostenible de materiales y (c) iniciativas para las que existe evidencia documental de utilización de ACV. Cuando las fuentes oficiales confirman una política de residuos o circularidad, pero no acreditan un uso efectivo de resultados de ACV, se indica expresamente.

Tabla 4
Matriz comparativa de marcos regulatorios e iniciativas institucionales

Jurisdicción / instrumento	Tipo de marco y contenido documentado	Evidencia de relación con ACV	1Lectura comparativa y límites
Brasil - Ley nº 12.305/2010 (PNRS), Decreto	Legislación federal de residuos; prevención, reciclaje, contratación	La PNRS menciona expresamente el estímulo a la implementación de la	Marco de referencia para vincular ACV e instrumentos públicos. La

Jurisdicción / instrumento	Tipo de marco y contenido documentado	Evidencia de relación con ACV	1Lectura comparativa y límites
nº 10.936/2022 y SINIR	pública sostenible, etiquetado ambiental, incentivos, responsabilidad compartida y logística inversa. (Brasil, 2010; Brasil, 2022).	evaluación del ciclo de vida del producto (art. 7, XIII). No establece por ese solo artículo una obligación universal de ACV formal para cada sistema municipal de RSU.	ejecución requiere reglamentos, indicadores, datos y capacidades institucionales.
Unión Europea - Directiva 2008/98/CE; contratación pública verde; métodos PEF/OEF	La Directiva establece la jerarquía de residuos y considera impactos ambientales, sanitarios, técnicos, económicos y sociales. La Comisión dispone de herramientas de coste del ciclo de vida para contratación y de métodos PEF/OEF basados en ACV. (European Parliament and Council, 2008; European Commission, s. f.-a, s. f.-b, s. f.-c).	Evidencia explícita de ACV en PEF/OEF y de enfoque de ciclo de vida en herramientas de contratación. No se identificó una obligación general de ACV formal para todo plan municipal de RSU en la Directiva de residuos.	Caso más claro de institucionalización de métodos de ACV para evaluar y comunicar impactos de productos/organizaciones; no debe confundirse con una obligación universal para todos los sistemas de residuos.
Estados Unidos - RCRA y EPA Sustainable Materials Management	RCRA es el marco federal central para la gestión de residuos no peligrosos y peligrosos dentro de su alcance. La EPA promueve Sustainable Materials Management (SMM), con perspectiva de ciclo de vida para usar materiales de forma más productiva y reducir impactos. (United States Environmental Protection Agency, s. f.-a, s. f.-b).	La EPA documenta una perspectiva de ciclo de vida y desarrolla análisis de materiales; esto demuestra uso institucional de pensamiento de ciclo de vida, pero no una obligación federal universal de ACV formal para cada sistema municipal. Para afirmar uso en una decisión específica se necesita identificar el estudio y la decisión concreta.	Aporta una perspectiva que incluye extracción, fabricación, uso y fin de vida, ampliando el foco más allá del residuo ya generado.
Japón - Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society y legislación de residuos/reciclaje	Marco legal y de políticas para reducir residuos, promover el uso cíclico de materiales y organizar responsabilidades de gobiernos, empresas y ciudadanía; existen leyes sectoriales de reciclaje. (Ministry of the	Las fuentes oficiales consultadas confirman legislación y políticas de economía circular, pero no establecen que todos los planes municipales deban realizar ACV formal. No se atribuye uso efectivo de ACV a una medida concreta sin	Útil para comparar la articulación entre prevención, recuperación de recursos y responsabilidades; la transferencia requiere adaptar instrumentos a la estructura municipal brasileña.

Jurisdicción / instrumento	Tipo de marco y contenido documentado	Evidencia de relación con ACV	1Lectura comparativa y límites
	Environment, Government of Japan, 2000, s. f.).	estudio/documento identificado.	
China - Código de Medio Ambiente y Ecología (2026) y políticas de reciclaje	El Código fue adoptado el 12 de marzo de 2026 y entró en vigor el 15 de agosto de 2026. Las directrices oficiales de reciclaje promueven clasificación, recuperación y uso eficiente de recursos. (State Council of the People's Republic of China, 2024, 2026a; Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, 2026).	La información oficial sobre adopción del Código y las directrices de reciclaje no basta para demostrar un mandato específico de ACV en sistemas municipales. La existencia de política de clasificación/reciclaje no equivale a uso documentado de ACV.	La actualización legal es relevante, pero cualquier afirmación sobre artículos específicos de ACV requiere cotejar el texto íntegro del Código.
São Paulo - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS)	Plan municipal que organiza responsabilidades y metas de reducción, reutilización, reciclaje y disposición adecuada; la actualización busca incorporar economía circular y cambio climático. (Prefeitura de São Paulo, s. f.).	La página oficial consultada documenta el plan y su orientación circular, pero no demuestra que sus metas hayan sido fundamentadas en un ACV formal.	Ejemplo municipal brasileño de política de residuos/economía circular, no evidencia suficiente por sí sola de aplicación de ACV.
Barcelona - Zero Waste / prevención de residuos y contratación municipal	La ciudad documenta acciones de prevención, reutilización, recogida selectiva, contratación con criterios ambientales y promoción de la economía circular. (Barcelona + Sostenible, s. f.).	Las fuentes municipales consultadas documentan medidas de economía circular y compra/gestión sostenible; no prueban por sí solas que una decisión concreta se fundamentara en resultados de ACV.	Ejemplo de implementación local de políticas circulares. Para atribuir una decisión al ACV debe localizarse un informe de evaluación específico y vinculado a esa decisión.

Fuente: Elaboración propia.

La comparación permite establecer tres niveles de evidencia. Primero, la existencia de legislación de residuos está documentada en Brasil, la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y China. Segundo, las políticas de economía circular o gestión sostenible de materiales aparecen en diferentes escalas, por ejemplo, en la PNRS, la estrategia europea, el programa SMM de la EPA, el marco japonés de sociedad de ciclo de materiales, las directrices chinas de reciclaje y los planes de São Paulo y Barcelona. Tercero, el uso explícito de métodos basados en ACV está mejor documentado en la metodología europea PEF/OEF y en la perspectiva de ciclo de vida promovida por la EPA; aun así,

para vincular un estudio concreto con una decisión pública concreta se requiere identificar el informe técnico y la decisión que lo cita.

Para Brasil, las complementariedades más relevantes son: (i) desarrollar criterios de contratación pública que indiquen cuándo el ACV es pertinente y cómo se compararán las ofertas; (ii) fortalecer información ambiental verificable de productos, con metodologías comparables; (iii) vincular incentivos económicos con indicadores de desempeño transparentes sin asumir que un único indicador ambiental representa toda la sostenibilidad; y (iv) mejorar los sistemas de información y seguimiento de la logística inversa para evaluar tasas reales de retorno, recuperación, reciclaje y destino final. La experiencia internacional ofrece referencias para diseñar instrumentos, pero su adopción requiere ajuste a la capacidad administrativa, los mercados de reciclables y las condiciones sociales locales.

3.5 Desafíos económicos, sociales e institucionales de implementación

La aplicación del ACV a los RSU enfrenta costos y complejidad técnica: requiere datos de generación y composición de residuos, distancias, consumos de energía y combustibles, emisiones, rendimientos de tratamiento, tasas de recuperación y supuestos sobre materiales sustituidos. Municipios con inventarios incompletos pueden necesitar inversiones en monitoreo, contratación especializada y capacitación. Las diferencias entre métodos, unidades funcionales y límites del sistema dificultan la comparación y pueden limitar la transferencia de resultados de una ciudad a otra.

La dimensión económica incluye inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, ingresos por materiales recuperados, costos de disposición, necesidades de infraestructura y riesgos fiscales. La dimensión social comprende empleo, condiciones de trabajo, aceptación pública, hábitos de separación en origen, distribución territorial de beneficios y efectos sobre cooperativas y trabajadores de reciclaje. La dimensión institucional abarca la coordinación entre niveles de gobierno, capacidad para fiscalizar contratos y sistemas de logística inversa, continuidad administrativa, acceso a datos y transparencia de las decisiones. Estas dimensiones no deben darse por incorporadas automáticamente en un ACV ambiental; pueden analizarse mediante evaluación económica, análisis social específico o un marco de LCSA cuando los datos y el método lo permitan.

Por tanto, las decisiones públicas no deberían basarse exclusivamente en indicadores ambientales. El ACV puede identificar impactos y compensaciones, mientras que el análisis económico examina costos y viabilidad financiera, el análisis social estudia efectos distributivos y aceptación, y

el análisis institucional evalúa la capacidad real de implementación. Cuando se emplea LCSA, deben explicitarse sus dimensiones, indicadores, fuentes de datos y reglas de integración para evitar presentar una evaluación parcial como una medida completa de sostenibilidad.

CONCLUSIONES

El ACV puede mejorar la calidad de las decisiones en la gestión de RSU al hacer explícitos los límites del sistema, cuantificar impactos potenciales y comparar alternativas con supuestos transparentes. Los casos de Porto Alegre y Garibaldi muestran que los resultados dependen de los escenarios, las categorías de impacto, la calidad de los datos y, cuando se integran indicadores múltiples, de las ponderaciones asignadas. No respaldan una declaración universal de superioridad de una tecnología de tratamiento.

La comparación de políticas públicas confirma la necesidad de separar tres cuestiones: la existencia de legislación de residuos, la adopción de políticas de economía circular y el uso efectivamente documentado de ACV para fundamentar decisiones. La PNRS brasileña menciona expresamente el estímulo a la evaluación del ciclo de vida del producto y establece instrumentos que pueden beneficiarse de evidencia ambiental. En la Unión Europea, PEF/OEF proporciona un ejemplo claro de métodos basados en ACV para productos y organizaciones. La EPA estadounidense documenta una perspectiva de ciclo de vida para la gestión de materiales. En Japón, China, São Paulo y Barcelona se verifican marcos de residuos o políticas circulares, pero las fuentes consultadas no bastan para atribuir a todas esas iniciativas una fundamentación efectiva en ACV formal.

La contratación pública sostenible, el etiquetado ambiental, los incentivos económicos y la responsabilidad compartida/logística inversa son vías relevantes para conectar ACV y gestión pública. Sin embargo, no debe afirmarse que estos instrumentos exigen ACV salvo que una disposición específica así lo determine. En la implementación, además de los impactos ambientales, deben considerarse costos, empleo, aceptación pública, infraestructura, capacidades institucionales y condiciones locales. El ACV es una herramienta de apoyo a la decisión, no un sustituto de la deliberación pública ni de los análisis económico, social y jurídico.

Como limitación, este trabajo constituye una revisión narrativa y documental focalizada, no una revisión sistemática exhaustiva ni una auditoría jurídica integral. Investigaciones futuras podrían ampliar la búsqueda con protocolos reproducibles, examinar textos legales completos y rastrear casos

concretos en los que estudios de ACV hayan sido citados formalmente en decisiones de contratación, etiquetado, incentivos o gestión de residuos.

REFERENCIAS

Brasil. (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.* Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Recuperado de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Brasil. (2022). Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. *Regulamenta a Lei nº 12.305*, de 2 de agosto de 2010. Recuperado de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm

Ceraso, A., & Cesaro, A. (2024). Life Cycle Sustainability Assessment of municipal solid waste management systems: A review. *Journal of Environmental Management, 368*, 122143. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122143

European Commission. (s. f.-a). *Green Public Procurement*. Recuperado de https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement_en

European Commission. (s. f.-b). *Life Cycle Assessment & the Environmental Footprint methods*. Recuperado de https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/lca-ef-methods_en

European Commission. (s. f.-c). *Life-cycle costing*. Recuperado de https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement/life-cycle-costing_en

European Parliament and Council. (2008). *Directive 2008/98/EC on waste*. Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj

Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T. H., & Hauschild, M. Z. (2014a). *Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives*. Waste Management, 34(3), 573–588. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045.

Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T. H., & Hauschild, M. Z. (2014b). Review of LCA studies of solid waste management systems—Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste Management, 34*(3), 589–606. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.004.

Mersoni, C., & Reichert, G. A. (2017). Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da avaliação do ciclo de vida: o caso do município de Garibaldi, RS. *Engenharia Sanitária e Ambiental, 22*(5), 863–875. https://doi.org/10.1590/S1413-41522017150351.

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. (2026). *中华人民共和国生态环境法典 [Ecological and Environmental Code of the People's Republic of China]*. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/202603/t20260313_1146496.shtml.

Ministry of the Environment, Government of Japan. (s. f.). *Laws: Waste & Recycling*. Recuperado de https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/

Ministry of the Environment, Government of Japan. (2000). *The Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society (unofficial English translation)*. Recuperado de https://www.env.go.jp/content/900452892.pdf

Mulya, K. S., Zhou, J., Phuang, Z. X., Laner, D., & Woon, K. S. (2022). A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: Methodological trends and prospects. *Science of the Total Environment, 831*, 154903. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154903.

Reichert, G. A., & Mendes, C. A. B. (2014). Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental, 19*(3), 301–313. https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001145.

State Council of the People's Republic of China. (2024, February 9). *China issues guidelines to establish a waste recycling system*. Recuperado de https://english.www.gov.cn/policies/latestreleases/202402/09/content_WS65c5ea15c6d0868f4e8e3e8a.html

State Council of the People's Republic of China. (2026a, March 13*). China adopts landmark legislation to propel green modernization: Ecological and Environmental Code to take effect on 15 August 2026.* Recuperado de https://english.www.gov.cn/news/202603/13/content_WS69b36ae1c6d00ca5f9a09d90.html

United Nations Environment Programme. (2024). *A policymakers' guide to Life Cycle Assessment: Policy brief*. Life Cycle Initiative. Recuperado de https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/46469

United States Environmental Protection Agency. (s. f.-a). *Sustainable Materials Management Basics*. Recuperado de https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics

United States Environmental Protection Agency. (s. f.-b). *Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) overview*. Recuperado de https://www.epa.gov/rcra

Prefeitura de São Paulo. (s. f.). *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS)*. Recuperado de https://prefeitura.sp.gov.br/web/meio_ambiente/w/plano-municipal-de-gest%C3%A3o-integrada-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-pgirs-

Barcelona + Sostenible. (s. f.). *Waste prevention and promotion of circular economy*. Recuperado de https://www.ajsosteniblebcn.cat/en/waste-prevention-and-promotion-of-circular-economy_93268

International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040: Environmental Management-Life cycle assessment-Principles and framework*. Recuperado de https://www.iso.org/standard/37456.html

International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14044: Environmental Management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*. Recuperado de https://www.iso.org/standard/38498.html

Contribución de los/as autores/as:

- Investigación: Vania Elisabete Schneider, Maria Fernanda Tanta Castro, Elizangela Santos Ferreira
- Metodología: Vania Elisabete Schneider
- Validación de los resultados: Vania Elisabete Schneider, Darci Barnech Campani
- Análisis formal de los resultados: Vania Elisabete Schneider, Darci Barnech Campani
- Investigación y ejecución del estudio: Vania Elisabete Schneider, Maria Fernanda Tanta Castro, Elizangela Santos Ferreira
- Organización y tratamiento de los datos: Vania Elisabete Schneider; Elizangela Santos Ferreira
- Desarrollo de la metodología: Vania Elisabete Schneider, Darci Barnech Campani
- Elaboración de gráficos y discusión de resultados: Vania Elisabete Schneider; Elizangela Santos Ferreira
- Elaboración de gráficos, mapas y visualizaciones: Vania Elisabete Schneider; Elizangela Santos Ferreira
- Revisión y edición del texto: Vania Elisabete Schneider, Darci Barnech Campani, Maria Fernanda Tanta Castro
- Redacción - revisión y edición: Vania Elisabete Schneider, Elizangela Santos Ferreira.
- Supervisión de la investigación: Vania Elisabete Schneider.

Contribución de los/as autores/as:

La autora Vania Elisabete Schneider es, en la actualidad, parte del equipo editorial de la Revista Yachaq. Sin embargo, se le asignó dicho cargo posterior a su contribución en el presente manuscrito. Además, por ser parte del Comité Consultivo, su influencia se limita a las atribuciones que le asigne del Director Editorial, las cuales fueron nulas en la consideración del presente artículo.