

COMPOSTAJE DESCENTRALIZADO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN VIVIENDAS URBANAS: ANÁLISIS DE VIABILIDAD AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA LEÓN, GUANAJUATO

Decentralized composting of organic waste in urban dwelling:
Environmental and financial feasibility analysis in León, Guanajuato

Daniel TAGLE-ZAMORA^{1*}, Lorena del Carmen ÁLVAREZ-CASTAÑÓN¹
y Mario FUENTE-CARRASCO²

¹ Departamento de Estudios Sociales, Universidad de Guanajuato, Puente Milenio 1001, 37670 León, Guanajuato, México.

² Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad de la Sierra Juárez, Avenida Universidad s/n, 68725 Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: datagle@ugto.mx

(Recibido: octubre 2023; aceptado: febrero 2024)

Palabras clave: gestión descentralizada de residuos, composta doméstica, viviendas corresponsables, cambio climático.

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos es el segundo tipo de acción climática priorizada por el gobierno mexicano para contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El objetivo de este trabajo fue analizar la viabilidad económica y ambiental del compostaje descentralizado de residuos orgánicos para viviendas del municipio de León (México) como eje de acción para la descarbonización en el sector residuos. La investigación tuvo dos pasos metodológicos: 1) el estudio de línea de base de emisiones directas de GEI y de los costos económicos de la gestión de residuos con información del Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos de León, los cuales fueron triangulados con datos obtenidos en entrevistas a actores clave involucrados, y 2) el análisis prospectivo para estimar la adicionalidad con base en diversos escenarios de disposición ciudadana para participar en un programa de compostaje. Los resultados obtenidos fueron favorables en dos dimensiones: a) la disminución de emisiones (adicionalidad de 68.74 a 824.91 tCO₂ anuales) y b) la reducción del gasto público municipal en los servicios de recolección y disposición con beneficios posibles de 2.8 a 34.4 millones de pesos anuales. Se concluye que el compostaje descentralizado es viable ambiental y económicamente para gestionar residuos sólidos y contribuir a la mitigación del cambio climático. Por tanto, se recomienda al organismo operador implementar un proyecto piloto de compostaje descentralizado que promueva la corresponsabilidad con la sociedad para gestionar los residuos urbanos.

Key words: decentralized waste management, domestic compost, co-responsible dwelling, climate change.

ABSTRACT

According to the Mexican government, climate action on waste is the second most important factor in reducing greenhouse gas emissions. This paper aimed to estimate the

economic and environmental benefits of decentralized composting in dwellings in León (Mexico) to determine the feasibility of its contribution to these socio-environmental goals. The research was qualitative, and the methodological tool was the baseline study of GHG emissions with an additional approach. Data from the Program for Prevention and Comprehensive Management of Solid Waste for the year 2020 and other relevant documents selected in the literature review were triangulated with those collected in interviews with people responsible for waste management in the municipality to build analysis scenarios based on the level of social participation. The main findings were the potential reduction in public spending for collecting and disposing of domestic organic waste (from 2.8 to 34.4 million pesos) and the decrease in GHG emissions due to recycling in homes (between 68.74 and 824.91 tCO₂ per year). It is concluded that the decentralized composting model is viable as a key strategy to mitigate climate change, and its contribution is economic, environmental, and social because the society would be involved in practices of shared responsibility in waste management to daily contribute to the mitigation of climate change.

INTRODUCCIÓN

Como signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), México ha establecido una ambiciosa meta no condicionada para reducir en 22 % sus emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) y en 51 % las de carbono negro para 2030, tal como se ha documentado en informes publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2015, 2020, 2022). Una de las estrategias clave para contribuir con estas metas es la gestión de residuos, para la cual México se compromete a reducir los GEI en un 28 % y las emisiones de carbono negro en 88 %. En 2015, la contribución de este sector fue de 6.6 % del total de GEI y 1 % de carbono negro (SEMARNAT 2015, INECC 2022). Por lo tanto, para alcanzar las metas de las contribuciones nacionalmente determinadas (CND) para 2030 en el sector residuos, se ha propuesto atender la brecha tecnológica de los rellenos sanitarios y las plantas de transferencia a nivel nacional. Además, el marco normativo y jurídico mexicano ha priorizado las acciones preventivas y la promoción de la responsabilidad compartida con la sociedad para alcanzar las metas citadas.

De acuerdo con SEMARNAT (2020), las acciones de mitigación planteadas por el gobierno mexicano tienen potencial técnico para alcanzar la meta fijada y lograr la reducción de 14.38 MtCO₂e. El compromiso con estos retos ha llevado a la programación de una partida presupuestal (319 millones de dólares para el periodo 2014-2030 [SEMARNAT 2020]) para el desarrollo de infraestructura a nivel municipal para la gestión de residuos sólidos, que en varios casos se ha concesionado al sector privado. Sin embargo, la SEMARNAT (2020) también ha señalado que es

necesario atender retos sociales e institucionales que podrían poner en riesgo el cumplimiento de las metas climáticas comprometidas, sobre todo por tres factores interrelacionados: énfasis en el criterio de priorizar la rentabilidad económica, insolvencia financiera de la mayoría de los municipios de México y baja participación ciudadana (SEMARNAT 2019). Algunos estudios han explicado estos resultados con base en la conexión transversal e interdisciplinaria que se requiere en la acción climática frente a la perspectiva centralizada de la gestión (Leal et al. 2022).

Ante esta complejidad socioambiental y el grave problema de generación de residuos sólidos urbanos, la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) se erige como una propuesta recurrente (Esparza 2021). Esta estrategia abarca un proceso estratégico completo que va desde la generación hasta la disposición final de los residuos, comprendiendo actividades como la separación en la fuente, el almacenamiento, la recolección, el transporte, la transferencia, la segregación, el tratamiento y la recuperación. Su principio fundamental es el uso eficiente de recursos mediante la adopción de medidas clásicas como la reutilización, el reciclaje o la disposición, y de medidas emergentes como la recuperación de energía mediante compostaje (Graziani 2018, Ojeda 2018). Respecto a esta últimas, la literatura reporta que la composta disminuye el impacto ambiental del manejo de residuos orgánicos en rellenos sanitarios (Hoorweg y Bhada 2012, Kennedy et al. 2014), aminora la dependencia de la energía fósil que implican los procesos de transporte y disposición (Ayilara et al. 2020), reduce la carga financiera municipal (Sundberg y Navia 2014), fomenta la conciencia ciudadana (Tagle y Azamar 2020) y aumenta la tasa de reciclaje a nivel doméstico (Li et al. 2013).

Según Nguyen et al. (2022), los hogares desempeñan un papel crucial en la reducción significativa de la generación de residuos orgánicos. Además, han demostrado una notable capacidad para adoptar comportamientos sostenibles en la vida diaria, como la separación de desechos orgánicos, su reutilización para alimentación animal y la práctica del compostaje en el hogar. Asimismo, han mostrado disposición para evitar comportamientos insostenibles, como tirar los residuos orgánicos en el contenedor de basura general o en el fregadero. En sintonía con lo anterior, Oliveira et al. (2017) sostienen que el compostaje doméstico es una medida viable que puede reducir de manera significativa las emisiones equivalentes de dióxido de carbono por unidad de masa de residuos convertidos en abono. Sin embargo, algunos estudios han señalado posibles externalidades del compostaje como malos olores, presencia de plagas y riesgos a la salud, que podría generar resistencia social (Shekdar 2009, Ortiz et al. 2014, Oviedo et al. 2017).

Según Agapios et al. (2020), es posible emplear una estrategia holística para tratar los residuos orgánicos desde la fuente con compostaje doméstico (siendo ésta la mejor técnica disponible) y, al mismo tiempo, obtener insumos que puede aplicarse, por ejemplo, en huertos de traspatio. Según Ortiz et al. (2014), el compostaje debe verse como una ecotecnología que demanda un proceso sociotécnico amplio que incluye provisión de información, capacitación y seguimiento para garantizar la adopción social de esta práctica climática en la gestión de residuos a nivel doméstico. Es decir, el seguimiento continuo de los implementadores es indispensable para que las personas normalicen dicha acción en sus viviendas.

La revisión de literatura destaca la importancia de integrar la dimensión participativa desde la fuente en los proyectos de la GIRS. Esto implica la urgencia de desarrollar estrategias descentralizadas en la gestión de residuos basadas en la corresponsabilidad socio-institucional, vinculada con el principio ambiental de responsabilidades compartidas, pero diferenciadas (SEMARNAT 2020, 2022). Este enfoque busca reducir el volumen de residuos recolectados, transportados y dispuestos, lo cual tiene un impacto directo en la generación de GEI y en el gasto público. Además, se ha reconocido que las iniciativas de acción participativa tienen el potencial de obtener mejores resultados en términos de descarbonización (INECC 2022) y en la reducción de la carga financiera para estados y municipios.

En este contexto, el objetivo de este trabajo consistió en analizar la viabilidad ambiental y financiera de un modelo de compostaje urbano descentralizado

que aproveche los residuos orgánicos de origen doméstico en el ámbito municipal con base en diferentes escenarios de participación social a nivel de vivienda como propuesta metodológica, ya que es crucial presentar propuestas viables que contribuyan al cumplimiento de las CND con acciones transversales para la descarbonización y el alivio de la carga financiera de los municipios como gestores de residuos sólidos.

Se consideró al municipio de León, Guanajuato, como caso de estudio, debido a diversos componentes de tipo metodológico, entre ellos los siguientes: a) la disposición de información municipal a través de su Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos (PPGIRS); b) al interés del organismo responsable de la gestión de residuos en colaborar con la academia; c) es el municipio con mayor población en esta entidad y el tercero a nivel nacional, con 440 662 viviendas (INEGI 2020) y una población de 1 721 215 habitantes en 2020; y c), derivado de lo anterior, en él se generan diariamente 1086 t de residuos sólidos de origen doméstico. De acuerdo con el PPGIRS, 49 % de estos residuos son de tipo orgánico, los cuales en este trabajo se consideran aptos para su aprovechamiento desde la fuente, a fin de aminorar la carga financiera que enfrenta el organismo operador e impulsar paralelamente la descarbonización en el sector residuos como aspecto planteado en las CND, el PPGIRS y el Programa Municipal de Cambio Climático de León (ALyCMM 2021).

Cabe destacar que el interés de la población en programas de reducción y aprovechamiento de residuos se adoptó a partir de la revisión de diferentes fuentes oficiales y académicas, pero no se comprobó directamente en las viviendas de León. A pesar de esta limitante metodológica, las principales contribuciones de este trabajo son prácticas, ya que valora desde la perspectiva ambiental y financiera una estrategia para el manejo de residuos basada en el compostaje descentralizado. Esto proporcionará elementos para la formulación de políticas de intervención en el sector residuos desde el ámbito municipal, con el objetivo de identificar sinergias en las que la sociedad, como actor fundamental, contribuya a reducir la carga financiera para el municipio, disminuir las emisiones directas de GEI y extender la vida útil del relleno sanitario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde las premisas metodológicas de Yin (2013), se considera que el municipio de León en México ofrece las condiciones adecuadas como estudio de

caso para validar ambiental y financieramente el compostaje descentralizado; esto, por tres razones fundamentales. En primer lugar, el Sistema Integral de Aseo Público de León (SIAP) ha implementado el Modelo Integral para el Manejo y Gestión de Residuos, lo que evidencia el compromiso de la autoridad municipal por operar un sistema de residuos que sea financieramente viable para la ciudad (SIAP 2016, 2020). En segundo lugar, su sistema de gestión ha sido motivo de debates académicos de alto interés, especialmente en la vertiente para reducir la generación per cápita de residuos relacionadas con sus diferentes programas orientados a la disminución y aprovechamiento de residuos que han resultado de la participación social (Tagle 2020, Tagle y Carrillo 2022). Tercero, la dimensión poblacional y su relación con la generación absoluta de residuos requiere atención especial. Finalmente, es importante destacar que el municipio tiene programas vigentes para estabilizar la generación de residuos en las viviendas.

El proceso metodológico de la investigación comprendió dos fases, de acuerdo con la herramienta metodológica denominada “línea de base de emisiones de GEI” (INECC 2022), cuyo objetivo es identificar el potencial de mitigación de la proyección de emisiones futuras en un horizonte de tiempo determinado, en este caso en la gestión del compostaje doméstico y su viabilidad. En la primera fase, la línea de base permitió colocar como referencia de tiempo inicial los indicadores de la presión ambiental y económica que representa la generación de residuos sólidos orgánicos de origen doméstico para el organismo operador en el municipio de León.

En la fase dos se proyectaron diversos escenarios para estimar la adicionalidad, entendida como una categoría metodológica clave para emitir un juicio de valor en el que se identifiquen los potenciales resultados favorables de mitigación de GEI y su relación con los indicadores financieramente viables. De acuerdo con Salmán y Arredondo (2020), es indispensable evidenciar que el proyecto garantiza una reducción real de emisiones en horizontes de tiempo largo, la cual no se hubiese logrado sin la ejecución del proyecto; por tanto, la comparación de flujos y reservorios de carbono que genera el proyecto con la línea base es necesaria. En este caso, el compostaje urbano descentralizado frente al escenario actual marcado por la línea de base.

Fase 1: estudio de línea de base

La primera fase inició con la revisión documental de fuentes oficiales a nivel federal, estatal y municipal. Los principales documentos analizados fueron

los siguientes: Ley general para la prevención y gestión integral de residuos (LPGIR; CDDHCU 2023a); Visión basura cero (SEMARNAT 2019); Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos (SEMARNAT 2020); Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos de Guanajuato (SMAOT 2021); Modelo integral para el manejo y gestión de residuos en León (MIMGRL; SIAP 2016); Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos en el municipio de León (PPGIRSML) del SIAP (2020), y Programa municipal de cambio climático de León (PMCCCL). Una vez realizada la revisión exhaustiva de literatura y el análisis de contenido de los documentos seleccionados, se identificaron las principales variables e indicadores relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en términos normativos y técnicos, mismos que se muestran en el **cuadro I**.

Enseguida, el análisis de contenido de los instrumentos municipales y del modelo de gestión de residuos operado en el SIAP (recolección y traslado) sirvió para delimitar las variables e indicadores específicos que requiere el caso de León. Además, el PPGIRSML representó la principal fuente de datos. La triangulación se logró mediante la realización de cuatro entrevistas. Tres de éstas fueron dirigidas a directivos del SIAP. Las entrevistas se realizaron en noviembre de 2019 a: 1) el director general del SIAP (entrevista A), con quien se abordó el tema de los retos del manejo y gestión de residuos por parte del SIAP en León, así como el contexto de la participación social que dio viabilidad a los diferentes programas implementados para la reducción y aprovechamiento de residuos que opera el organismo; 2) el subdirector de desarrollo institucional y administración (entrevista B), con quien la entrevista se centró en el tema de la evolución de los costos de los servicios de recolección y disposición final de residuos, y 3) el subdirector del área de tratamiento y disposición de residuos (entrevista C), con quien se abordó la información sobre los GEI que implica el manejo de residuos.

Todas las entrevistas fueron realizadas con el consentimiento del director del SIAP, ya que hay una fuerte colaboración con el grupo de investigación. Dicha colaboración ha motivado el interés del SIAP en sumar nuevos proyectos que alimenten su cartera de programas para la reducción y aprovechamiento de residuos. Finalmente, la cuarta entrevista se dirigió a la coordinadora del Laboratorio Urbano de León del World Resources Institute (WRI) en noviembre de 2023, con quien se abordaron las acciones de descarbonización promovidas con el municipio de León desde 2022 (entrevista D). La obtención y revisión

CUADRO I. VARIABLES E INDICADORES DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).

Variable	Indicador	
Generación total de RSU	Toneladas/día	
Generación total de RSU domiciliarios	(t/día)	
Generación per cápita de RSU	Kilogramo/habitante/día (Kg/Hab/día)	
Composición de los RSU domiciliarios	Orgánicos	t/día
	Reciclables	
	Inorgánicos combustibles	
	Descartables	
Cuota por recolección y traslado de RSU domiciliarios	Pesos/tonelada (\$/t)	
Cuota por disposición final de residuos domiciliarios		
Impacto ambiental (actividades de recolección)	Consumo de diésel	Litros/año (l/año)
	Emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al servicio de recolección	Toneladas de dióxido de carbono/toneladas de RSU recolectadas al año (tCO ₂ /tRSU recolectados/año)
Impacto ambiental (actividades de disposición final)	Consumo de diésel	l/año
	Emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al manejo de residuos en el sitio de disposición final	Toneladas de dióxido de carbono/toneladas de RSU manejados en el sitio de disposición final al año (tCO ₂ /tRSU manejados en sitio/año)
Impacto ambiental total directo de los RSU (actividades de recolección más actividades de disposición final)	Emisiones directas de gases de efecto invernadero asociadas al manejo de residuos (emisiones de recolección más emisiones de manejo en sitio de los RSU)	tCO ₂ /tRSU/año
Impacto ambiental (generación de biogás en el sitio de disposición final (combinación de metano y dióxido de carbono))	Emisiones de gases de efecto invernadero (generada por los RSU)	Metros cúbicos de biogás
Viviendas	Número de viviendas en el municipio	

tCO₂: toneladas de CO₂; tRSU: toneladas de RSU.

Fuente: elaboración propia con información del PPGIRSML (SIAP 2020).

de información permitió plantear una propuesta de línea de base sobre los componentes ambientales y económicos para valorar una estrategia de composta descentralizada para León. En el **cuadro II** se muestran las variables e indicadores específicos de este estudio.

Fase 2: propuesta para estimar la adicionalidad

La segunda fase es una propuesta metodológica para medir la adicionalidad de la acción de compostaje

descentralizado para las viviendas del municipio estudiado, la cual consideró aspectos técnicos y financieros. Con base en el principio de adicionalidad de la metodología de “línea de base de emisiones de GEI”, en el análisis se consideraron los GEI en la dimensión ambiental y la reducción de los costos monetarios en la gestión de residuos, vista como ahorro en el gasto público del municipio, en la dimensión financiera.

La propuesta de los escenarios de adicionalidad sugeridos se desprendió de la revisión de los

CUADRO II. VARIABLES E INDICADORES DE LÍNEA DE BASE DEL MUNICIPIO DE LEÓN, GUANAJUATO.

Variable	Indicador
Generación de residuos orgánicos de origen doméstico	t/día
Tarifa promedio de recolección de las zonas A, B y C	\$/t
Costo de recolección	\$/año
Tarifa de disposición	\$/t
Costo de disposición	\$/año
Costo total residuos sólidos orgánicos (costo de recolección + costos de disposición)	\$/año
Carga ambiental recolección (1)	tCO ₂ /tRSU/año
Carga ambiental disposición (2)	tCO ₂ /tRSU/año
Carga ambiental total	tCO ₂ /tRSU/año
Viviendas	Número de viviendas

RSU: residuos sólidos urbanos; tCO₂: toneladas de CO₂; tRSU: toneladas de RSU.

Fuente: elaboración propia con información del PPGIRSML (SIAP 2020).

Mecanismos de desarrollo limpio (IBRD 2016, Salmán y Arredondo 2020), además del PPGIRSML. Del primero, se consideró una formulación escalonada para medir la acción de mitigación de la propuesta basada en la composta. En este caso se consideraron cuatro escenarios de posible participación de la población y se propusieron cuatro niveles en porcentajes de viviendas que pudiesen realizar dicha acción (20, 40, 60 y 80 % del total de viviendas). Del segundo se obtuvo información de la generación per cápita de residuos (0.68 kg/persona/día), el porcentaje correspondiente a residuos orgánicos (49 %) y el promedio por vivienda de generación de residuos orgánicos por semana (9.33 kg/vivienda considerando 3.9 personas/vivienda).

En este sentido, se podrían haber propuesto tres rangos de volúmenes de posible compostaje por vivienda (1 a 3; 4 a 6 y 7 a 9 kg/vivienda/semana), pero se optó por considerar únicamente un rango mínimo de aprovechamiento de residuos orgánicos establecido entre 1 y 3 kg/vivienda/semana, como recomiendan Ortiz et al. (2014), quienes aseguran que el inicio de un programa de ecotecnias no debe saturar a la persona responsable de realizar el aprovechamiento de residuos orgánicos en la vivienda, a fin de favorecer el desarrollo de hábitos proambientales. A partir de estos escenarios se diseñaron los criterios de estimación de los beneficios que se podrían derivar de la práctica cotidiana de la composta descentralizada.

Finalmente, en lo referente a determinar la viabilidad de la participación social para implementar un esquema de compostaje descentralizado para las viviendas de León, se consideraron el PPGIRSML (SIAP 2020), los estudios realizados por Tagle (2020) sobre el análisis de los programas del SIAP para re-

ducir y aprovechar residuos, el Informe Encuesta de Satisfacción del Cliente Municipal del Servicio de Recolección de Promotora Ambiental (PASA 2021) y la entrevista D, ya que el Laboratorio Urbano de León, que coordina el WRI con la Universidad de las Naciones Unidas y el municipio de León, han promovido acciones de descarbonización desde 2022. Dentro de las acciones realizadas resalta la de huerto urbano, misma que contempla la actividad de composta realizada por vecinas del centro de León.

RESULTADOS

Generación y composición de residuos sólidos de origen doméstico en León

El PPGIRSML reporta que la generación total diaria de RSU es de 1768.51 t (volumen anual de 645 506.15 t). Del monto total generado de RSU, 61.4% (1086.80 t/día) es de origen doméstico y 38.6% (682.52 t/día) son residuos de manejo especial. Con base en el PPGIRSML, el **cuadro III** muestra el patrón de comportamiento de la generación de RSU de origen doméstico en el municipio y su pronóstico hasta 2030. La información indica un cambio de comportamiento a la baja entre 2015 y 2020 en el volumen de generación total y per cápita; esto significa una reducción de 20.5 % de 2015 a 2020, mientras que el indicador per cápita reportó 0.68 kg/día de generación de residuos para 2020. No obstante, el SIAP pronostica un comportamiento incremental para 2030, lo que demanda proyectos para modificar (estabilizar o reducir) la generación de RSU en León.

De acuerdo con el SIAP (2020), la composición de RSU de origen doméstico se integra con 49 % de residuos de tipo orgánico (534.95 t/día),

CUADRO III. COMPORTAMIENTO Y PRONÓSTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) DE ORIGEN DOMÉSTICO EN LEÓN, GUANAJUATO.

Año	Volumen total de generación de RSU (t/día)	Generación per cápita de RSU (kg/persona/día)
2007	1150	1.4
2012	1200-1500	1.08
2015	1438.74	0.82
2020	1086.80	0.68
Pronóstico		
2025	1163.39	0.71
2030	1221.89	0.72

Fuente: SIAP (2020).

25 % corresponde a inorgánicos combustibles (270.04 t/día), 19 % a material reciclable (206.31 t/día) y 7 % a material descartable (75.48 t/día). Tal como indican los datos, la distribución muestra una representatividad mayoritaria de residuos orgánicos.

Recolección-disposición de RSU de origen doméstico

El SIAP es el organismo público descentralizado de León responsable del aseo público de la ciudad de acuerdo con la LGPGIR. Entre sus principales funciones se encuentra el servicio de recolección y disposición final de residuos (SIAP 2016). El servicio de recolección se ha manejado con la modalidad de concesión por 20 años a las empresas Gestión e Innovación en Servicios Ambientales (GISA) y Promotora Ambiental de la Laguna (PASA). Las concesionarias han alcanzado una cobertura del 98 %, lo que ha garantizado el servicio a 440 mil viviendas de la mancha urbana de León mediante la operación de 195 rutas de recolección.

Respecto a la disposición final de RSU, el municipio de León tiene el sitio de disposición final (SDF) El Verde, localizado en el noroeste del municipio, que opera bajo concesión a la empresa PASA desde 2001. El SDF se encuentra certificado por la NOM-083-SEMARNAT-2003, clasificado como tipo A con ingreso mayor a 100 toneladas al día (SIAP 2016, 2020). Este relleno sanitario abarca 70 ha y se calculó un ingreso acumulado de 7762 052 de toneladas de residuos sólidos con vida útil hasta 2031, año considerado como tentativo para el cierre a la entrada residuos (SIAP 2020).

En el SDF opera actualmente la Planta Generadora de Energía Eléctrica “Alberto Santos González” con título de concesión por 20 años a PASA (México)

e HIDROSAN (Chile). La Central LFGE León genera 2.8 MW de energía eléctrica derivados del biogás que proveen las macroceldas del relleno para su venta al municipio, el cual alumbrará aproximadamente 28 mil luminarias y genera un ahorro de 12 % respecto a lo que el municipio pagaba a la Comisión Federal de Electricidad (GGTO 2019).

Costo de recolección y disposición final de RSU

En 2020, el costo total de los servicios de recolección y disposición de RSU de origen doméstico fue de 257 millones de pesos. El costo de recolección representa tres cuartas partes del costo total del servicio de aseo público municipal (entrevista B). En 2020, el esquema actual de concesión generó un gasto de 219 millones de pesos para las dos concesionarias antes mencionadas (entrevistas A y B, SIAP 2020). En 2020, el costo de la disposición final y confinamiento de RSU fue de 38 millones de pesos, pagados a PASA a través de la Dirección General de Medio Ambiente de León (entrevista B, SIAP 2020).

Estos costos tienen una tendencia incremental, ya que las tarifas se ajustan en la revisión anual de los contratos de dichos servicios por causas inflacionarias, y por el crecimiento poblacional y económico del municipio. Comparando los costos de recolección y disposición de León (\$625.86/t), en 2020, con el costo promedio (\$555/t) de 167 municipios revisados por SEMARNAT (2020), se tiene que el gasto en León por dichos servicios está 12 % por encima del costo promedio señalado, resultando acuciante desarrollar estrategias para un mejor manejo de los RSU de origen doméstico que alivie la carga financiera del municipio.

Carga ambiental de GEI de los servicios de recolección y disposición final de RSU domiciliarios

De acuerdo con el PPGIRSML y el PMCCL, el parámetro disponible para determinar la huella directa de carbono de los servicios de recolección y disposición final es el consumo anual de combustible. En el **cuadro IV** se muestran los consumos anuales de combustible para cada etapa en el manejo de residuos con información proporcionada por el PPGIRSML. Sin embargo, el INECC (2022) considera indispensable complementar esta información con las emisiones indirectas de GEI; no obstante, para esta investigación no se pudo obtener información sobre el consumo de energía eléctrica dentro de las instalaciones de las concesionarias del servicio de recolección y disposición para determinar la cantidad indirecta de GEI. Esto representa una limitante en la investigación para estimar escenarios en el

CUADRO IV. EMISIONES DIRECTAS DE CO₂ DE LA RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EN LEÓN, GUANAJUATO.

Actividad	Consumo anual de combustible por actividad (L)	Emisiones directas de CO ₂ anuales por actividad (t)
Recolección de RSU realizado por la concesionaria Promotora Ambiental (PASA)	1 071 264.80	3014.22
Recolección de RSU realizado por la concesionaria Gestión e Innovación en Servicios Ambientales (GISA)	693 628	1951.66
Total	1 764 892.8	4965.88
Servicios de disposición final realizado por la concesionaria PASA	372 617	1048.43
TOTAL	2 137 509.80	6014.31

Fuente: SIAP (2020).

componente ambiental que considere las emisiones totales (directas e indirectas) de GEI. Por tanto, este estudio se limitó a realizar las estimaciones considerando exclusivamente la mitigación de emisiones directas de CO₂.

Con base en los señalamientos anteriores, el análisis de línea de base propuesto se plasma en el **cuadro V**, estableciendo los indicadores disponibles en la gestión de residuos de tipo orgánico de origen doméstico. Esta información será utilizada en la siguiente fase de la investigación como insumo principal para calcular las estimaciones de los beneficios vinculados con el compostaje descentralizado.

Determinación de la participación social en programas de reducción y aprovechamiento de residuos en León

Desarrollar un programa de compostaje descentralizado que madure con el tiempo depende de la capacidad de organización y el interés del desarrollador en tomar en cuenta la participación ciudadana, ya que la información, capacitación y seguimiento son elementos esenciales para propiciar conductas proambientales en los ciudadanos (Ortiz et al. 2014, Álvarez y Tagle 2020). Entre los principales programas del SIAP para fomentar la corresponsabilidad se encuentra el Llantatón, Recicla y Gana, Ponte las Pilas León, Recicla tu Vidrio, Red de Recuperadores Urbanos, Recicla y Tapita que da Vida (SIAP 2020). El SIAP ha logrado que la población tenga una participación sostenida en los programas mencionados (entrevista A). En 2019, por ejemplo, El Llantatón

logró recolectar 24 900 llantas que se mandaron a Aguascalientes para ser utilizadas como insumo en una cementera; además, Recicla y Gana logró recolectar media tonelada de residuos reciclables entre enero y junio.

Otros programas con resultados positivos han sido Ponte las Pilas León, el cual recuperó cerca de una tonelada de pilas por mes con la implementación de 300 puntos de acopio; Recicla tu Vidrio es una colaboración con bares que logró en dicho año recolectar 1.2 % de vidrio de las 30 mil toneladas que se generan anualmente. La Red de Recuperadores Urbanos había registrado 157 personas dedicadas a la recuperación de residuos en la vía pública, mientras que el programa Recicla contaba con la colaboración de 200 fraccionamientos que realizan una separación de origen y entrega de residuos reciclables los miércoles a las unidades de recolección y aprovechamiento del organismo (entrevista A; SIAP 2020, Tagle 2020).

La Encuesta de satisfacción al cliente municipal realizada por PASA en mil viviendas consultadas de las 270 mil que atiende en las zonas B y C, otorga una calificación a la percepción social del usuario doméstico respecto de la prestación del servicio de recolección realizado por su concesionario (PASA 2021). En la sección “Participación y medio ambiente” de este instrumento se cuestionó si el encuestado estaría dispuesto a realizar una separación y aprovechamiento de residuos en su vivienda, a lo que el 39.5 % indicó estar muy de acuerdo y el 54 % de acuerdo. En el reactivo que inquirió si el encuestado realiza algún tipo de separación de residuos dentro

CUADRO V. INDICADORES Y DATOS DE LÍNEA DE BASE PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) DE TIPO ORGÁNICO DE ORIGEN DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE LEÓN.

Variable	Dato	Dato anual
Volumen de residuos orgánicos de origen doméstico	534.95 t/día	195 256.75 t
Tarifa promedio de recolección	\$529.24/t	-
Costo asociado a la recolección de residuos orgánicos	\$283 116.93/día	\$103 337 682.37
Tarifa de disposición	\$96.62/t	-
Costo asociado a la disposición final de los residuos orgánicos	51 686.86 (\$/día)	\$18 865 707.18
Costo total de los residuos orgánicos	334 803.79 (\$/día)	\$122 203 389
Carga ambiental de la recolección ¹ Emisiones directas de CO ₂	0.0125 tCO ₂ /tRSU	2443.21 tCO ₂ /tRSU/año
Carga ambiental de la disposición ² Emisiones directas de CO ₂	0.0026 tCO ₂ /tRSU	515.82 tCO ₂ /tRSU/año
Carga ambiental total	0.0151 tCO ₂ /tRSU	2959.03 tCO ₂ /tRSU
Viviendas	440 662 (año 2020)	

¹Proporción de las emisiones totales anuales de recolección con respecto al porcentaje correspondiente a la recolección de la parte orgánica entre el volumen orgánico recolectado [(4965.88 tCO₂ x 0.492) / 195 256.75 t/año]; ²proporción de las emisiones totales anuales de disposición con respecto al porcentaje correspondiente al manejo de la disposición de la parte orgánica entre el volumen orgánico dispuesto [(1048.43 tCO₂ x 0.492) / 195 256.75 t/año].
tCO₂: toneladas de CO₂; tRSU: toneladas de RSU.

Fuente: elaboración con información de SIAP (2020) e INEGI (2020).

de la vivienda, el 61.4 % respondió positivamente. Finalmente, el 21.6 % respondió afirmativamente al reactivo que pregunta al informante si realiza composta dentro de su vivienda, en tanto que el 78.4 % respondió negativamente, ya que desconoce qué es la composta o no sabe cómo realizarla.

Asimismo, el WRI, en colaboración con la Universidad de las Naciones Unidas, ha desarrollado en la ciudad de León una actividad denominada Laboratorio Urbano en la línea de Coaliciones Urbanas Transformadoras, en la cual se ha logrado la aglomeración de participantes que representan a diferentes organizaciones civiles, instituciones académicas, asociaciones de colonos, sector privado y diferentes entidades gubernamentales, todos enfocados al interés del manejo de recursos naturales y el cambio climático. La entrevista D indica que el WRI, a través del Laboratorio Urbano, tiene dos proyectos vigentes en México, uno en Naucalpan en el Estado de México, y otro en León, Guanajuato. En ambos proyectos la colaboración del WRI con los municipios ha sido para promocionar acciones de descarbonización.

En el caso de León, se plantearon 13 acciones de descarbonización, una de las cuales es la ejecución del proyecto piloto Huerto Urbano en Barrio Arriba,

el cual se ubica en la zona centro de León e involucra activamente a vecinas de la colonia que realizan composta en sus viviendas como parte de dicha actividad. No obstante, su finalidad es conseguir un área de donación que sirva de espacio para implementar el huerto urbano colectivo. Tal como señala la entrevista D, esta actividad ha estado acompañada por un numeroso grupo de participantes, principalmente académicos y organizaciones sociales ajenos a la colonia, que la han cobijado.

El análisis de esta información no ha permitido calcular el porcentaje de la población que podría participar en un programa de compostaje de residuos orgánicos promovido por el organismo; sin embargo, desde el punto de vista cualitativo, la información indica que la población tiene interés en participar activamente en proyectos relacionados con temas de cuidado ambiental. Esto se refuerza con la permanencia de los programas del SIAP para la reducción y aprovechamiento de residuos. Además, la revisión indica que existe interés y apoyo de organizaciones internacionales, como el WRI y la Universidad de las Naciones Unidas, para desarrollar y acompañar acciones participativas para la descarbonización en la ciudad. Por tanto, se asume que el

organismo debería aprovechar este escenario para establecer un programa municipal de compostaje descentralizado.

Escenarios para la estimación de beneficios asociados al compostaje descentralizado

Este apartado exhibe los resultados obtenidos a partir de la estimación de adicionalidad de una estrategia basada en composta descentralizada para diferentes niveles de escala de aprovechamiento de residuos orgánicos en viviendas de León.

Beneficios económicos

Como muestra el **cuadro VI**, un programa conservador que considere un kilogramo de aprovechamiento de residuos orgánicos manejado con composta por semana con 20 % de viviendas participantes de León podría representar para el SIAP un ahorro anual estimado de 2.8 millones de pesos a tarifas de 2020; esto, asociado con la reducción de los conceptos de

recolección y disposición final del manejo de residuos orgánicos de origen doméstico. En un escenario de adicionalidad que considere 3 kg de aprovechamiento de residuos orgánicos con composta por semana, considerando una participación del 80 % de las viviendas de León, representaría un ahorro estimado anual de 34.4 millones de pesos en los costos del volumen recolectado y confinado respecto a la línea de base para los residuos orgánicos domésticos (**Cuadro VII**).

El **cuadro VIII** sintetiza la proporción del ahorro de recursos financieros que podría obtener el municipio (SIAP y DGMA) por la disminución de los montos a cubrir por la contraprestación de los servicios de recolección y disposición, misma que se derive de un programa municipal de aprovechamiento de residuos orgánicos como el planteado aquí, mostrando con ello que el compostaje descentralizado podría ofrecer diferentes escenarios de viabilidad financiera derivados de la reducción en la demanda de dichos servicios ofrecidos por el SIAP.

CUADRO VI. ESCENARIO DE ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS CONSIDERANDO 1 KG DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE VIVIENDAS PARTICIPANTES.

Escenario a: 1 kilogramo de residuo orgánico compostado por vivienda/semana					
Viviendas participantes (%)	Volumen reciclado de residuos orgánicos t/año	Proporción volumen reciclado/volumen generado total de residuos orgánicos (%)	Ahorro recolección (\$/año)	Ahorro disposición final (\$/año)	Ahorro total (\$/año)
20	4582.88	2.34 %	\$2425443	\$442797	\$2868241
40	9165.76	4.69 %	\$4850886	\$885595	\$5736482
60	13748.65	7.04 %	\$7276335	\$1328394	\$8604730
80	18331.53	9.38 %	\$9701778	\$1771192	\$11472971

CUADRO VII. ESCENARIO DE LA ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS CONSIDERANDO 2 Y 3 KG DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE VIVIENDAS PARTICIPANTES.

Escala de viviendas aplicando composta (%)	Escenario b: 2 kilogramos de reciclaje de residuos orgánicos vivienda/semana		Escenario c: 3 kilogramos de reciclaje de residuos orgánicos vivienda/semana	
	Volumen reciclado de residuos orgánicos al año (t/año)	Ahorro total anual (\$)	Volumen reciclado de residuos orgánicos al año (t/año)	Ahorro total anual (\$)
20	9165.76	\$5736482	13748.64	\$8604723
40	18331.52	\$11472964	27497.28	\$17209446
60	27497.3	\$17209460	41245.95	\$25814190
80	36663.06	\$22945942	54994.59	\$34418913

CUADRO VIII. ESTIMACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS OBTENIDOS POR EL COMPOSTAJE RESPECTO A LOS COSTOS ANUALES TOTALES EN QUE INCURRE EL MUNICIPIO PARA ATENDER LA RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TARIFAS DE 2020.

Escala de viviendas aplicando composta (%)	Proporción de ahorro económico anual escenario A (%)	Proporción de ahorro económico anual escenario B (%)	Proporción de ahorro económico anual escenario C (%)
20	2.35	4.69	7.04
40	4.69	9.38	14.08
60	7.04	14.08	21.12
80	9.39	18.77	28.16

Beneficios ambientales (climáticos)

Los aportes ambientales de un programa de composta descentralizada en viviendas urbanas se relacionan con la mitigación de GEI como el CO₂, asociado a la recolección y disposición final de residuos. Como ya se ha indicado, se consideraron exclusivamente las emisiones directas y no las totales, ya que sólo se dispone de información de las emisiones directas que generan los servicios de recolección y disposición. En este sentido, el **cuadro IX** muestra el escalón mínimo de mitigación anual de emisiones directas con el aprovechamiento de residuos orgánicos en las viviendas, estimado en 68.74 tCO₂, equivalentes al 2.32 % del total de emisiones directas de GEI de los servicios de recolección y disposición.

Si se considera la adicionalidad en un escenario de aprovechamiento de 3 kg de residuos por semana en que participe el 80 % de las viviendas, las emisiones directas mitigadas anualmente corresponderían a 824.91 tCO₂, equivalentes al 27.87 % del total de emisiones directas de GEI considerando la línea de base que actualmente se refleja en los procesos de recolección y disposición. Todos los escenarios reflejan viabilidad

ambiental en comparación con la línea de base, por lo que una estrategia de compostaje descentralizado muestra total pertinencia en el componente climático.

Además de la mitigación de emisiones directas de GEI, se aprecia un beneficio ambiental derivado de la reducción del volumen de residuos que dejarían de ingresar al SDF con un programa de compostaje, aspecto que refleja la adicionalidad considerada en este análisis. Esta adicionalidad muestra que, en el caso mínimo, un proyecto que pudiese reciclar 1 kg por semana con el 20 % de participación de viviendas, podría evitar la disposición de 4582.88 t/año en el SDF; por su parte, un escenario ambicioso en el que se reciclaran 3 kg por semana en el 80 % de las viviendas, podría evitar el confinamiento de 54 994 t/año de residuos orgánicos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con base en el análisis presentado, se demuestra que la estrategia de aprovechamiento de residuos orgánicos generados a nivel de vivienda mediante

CUADRO IX. ESTIMACIÓN DE MITIGACIÓN ANUAL DE EMISIONES DIRECTAS DE CO₂ CONSIDERANDO TRES DISTINTOS ESCENARIOS DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y CUATRO NIVELES DE ESCALA DE PARTICIPACIÓN EN LAS VIVIENDAS.

Escala de viviendas aplicando composta (%)	Escenario A: reciclaje de 1 kg de residuos orgánicos por vivienda a la semana	Escenario B: reciclaje de 2 kg residuos orgánicos por vivienda a la semana	Escenario C: reciclaje de 3 kg residuos orgánicos por vivienda a la semana
	Mitigación (tCO ₂ /año)	Mitigación (tCO ₂ /año)	Mitigación (tCO ₂ /año)
20	68.74	137.48	206.22
40	137.48	274.97	412.45
60	206.22	412.45	618.68
80	274.97	549.94	824.91

un programa de compostaje descentralizado es ambiental y financieramente viable para el municipio de León. Se presentan dos argumentos que respaldan la pertinencia de considerar que el compostaje descentralizado se suma a la cartera de proyectos de reducción y aprovechamiento de residuos del SIAP. En primer lugar, el argumento técnico, derivado de la definición de la línea de base, permitió incorporar y articular los indicadores económicos y ambientales, específicamente para relacionarlos con la proporción de RSU de tipo orgánico domiciliario. Esto se traduce en ahorros anuales estimados de 2.8 a 34.4 millones de pesos, así como la prolongación del tiempo de vida del relleno sanitario debido a la disminución anual del volumen de ingreso de 4582 a 54994 t. El segundo argumento se relaciona con la adicionalidad GEI, destacando que el compostaje descentralizado resultaría viable desde un escenario conservador hasta uno optimista, con mitigación anual estimada entre 68.74 y 824.91 tCO₂, respectivamente.

Los resultados coinciden con los de Oliveira et al. (2017), quienes sostienen que el compostaje a nivel doméstico es viable si se acompaña de estrategias institucionales, tal como la reducción en los días de recolección de RSU para disminuir el impacto negativo de las emisiones de GEI derivadas del transporte y recolección. Además, estos resultados se suman a la discusión que plantean Nguyen et al. (2022) sobre la importancia de las acciones de compostaje doméstico desde los hogares, para contribuir a la disminución de emisiones y al incremento de la participación ciudadana.

Los resultados del análisis prospectivo están alineados con elementos esenciales establecidos en los instrumentos normativos nacionales, como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de 2003 y su última reforma de 2023; la Ley General de Cambio Climático de 2012 y sus últimas reformas de 2023; y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1988 y su última reforma de 2024 (CDDHCU 2023a, b, 2024). Estos instrumentos enfatizan la necesidad de desarrollar acciones preventivas de responsabilidad compartida para lograr la concertación con la sociedad en la gestión integral de residuos.

En comparación con los datos de la línea de base, las estimaciones obtenidas muestran que una gestión que considere composta descentralizada contribuye al cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente a los Objetivos 3 (Salud y bienestar), 7 (Energía asequible y no contaminante), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), 12 (Producción y consumo responsables), 13 (Acción

por el clima) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) (ONU 2015). Por lo tanto, se esperaría que estas proyecciones despertaran el interés de las autoridades municipales para considerar estrategias alternativas en la gestión de residuos.

La aportación de esta investigación radica en la presentación de una metodología para evaluar las contribuciones ambientales y financieras derivadas de una estrategia de compostaje descentralizado, aspecto que no se encontró en la revisión de la literatura sobre el aprovechamiento de residuos. Asimismo, se sugiere este estudio como insumo para la formulación de una política pública orientada a mejorar el manejo de residuos desde la fuente con el involucramiento de los actores sociales, tal como se evidenció en la línea de base.

Con base en los hallazgos de este trabajo, se recomienda al organismo lanzar un programa piloto de participación ciudadana para demostrar el aprovechamiento de residuos orgánicos a nivel de vivienda. El SIAP podría aprovechar su red de comunicación con la población, la cual ha construido con diferentes programas de reducción y aprovechamiento, y de esta manera capitalizar la incorporación del reciclaje de residuos orgánicos como un programa adicional. Además, el SIAP podría sumarse a iniciativas como la impulsada por el WRI y la Universidad de las Naciones Unidas para implementar propuestas de descarbonización mediante compostaje doméstico, cuyos resultados han evidenciado que el acompañamiento con enfoque a la adopción social de la composta en las viviendas participantes puede propiciar resultados positivos.

Esta investigación presenta ciertas limitaciones para una aplicación amplia, por lo que es importante destacarlas. La principal fue metodológica, ya que se basó en la revisión de diferentes fuentes oficiales y académicas que infieren que la población tiene interés de participar en programas de reducción y aprovechamiento de residuos, sin considerar una medición directa de la disposición real de la población para participar en un programa de compostaje en sus viviendas. Otra limitación fue la falta de disponibilidad de información, particularmente respecto de emisiones indirectas de GEI de los servicios de recolección y disposición. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, la propuesta cubre un vacío en la búsqueda de alternativas y demuestra viabilidad tanto económica como ambiental, además de realzar el papel de los ciudadanos en la construcción de dichas alternativas.

Finalmente, es importante destacar el papel de la gestión de residuos a partir de acciones transversales participativas, como medida para enfrentar la crisis

climática y contribuir a la disminución de GEI, y así establecer una ruta estructurada para la neutralidad del carbono financieramente viable. En este contexto, la propuesta ofrece la posibilidad de asumir una ruta de descarbonización para el Municipio de León, Guanajuato, subrayando la importancia de llevar esta discusión a la sociedad, pero iniciando con los responsables de la toma de decisiones, mismos que deben considerar enfoques multicriterio en la valoración de los costos de oportunidad para asumir o no acciones alternativas.

REFERENCIAS

- Agapios A., Andreas V., Marinos S., Katerina M. y Antonis Z. (2020). Waste aroma profile in the framework of food waste management through household composting. *Journal of Cleaner Production* 257, 120340. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120340>
- Álvarez L. y Tagle D. (2020). Ecotechnology as mechanism of development in disadvantaged regions of Mexico. En: *International business, trade and institutional sustainability*. (W. Leal, P. Borges y F. Frankenberger Eds.). Springer, Cham, Suiza, pp. 887-898. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26759-9_52
- Ayilara M.S., Olanrewaju O.S., Bobaloba O.O. y Odeyemi O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability* 12 (11), 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- ALyCMM (2021). Programa municipal de cambio climático de León. Ayuntamiento de León y Centro Mario Molina. León, Guanajuato, México, 16 pp.
- CDDHCU (2023a). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación. Diario Oficial de la Federación, México. 8 de mayo de 2023.
- CDDHCU (2023b). Ley General de Cambio Climático. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, México. 15 de noviembre de 2023.
- CDDHCU (2024). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, México. 24 de enero de 2024
- Esparza J. (2021). Clasificación y afectación por residuos sólidos urbanos en la ciudad de la plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 37, 357-371. <https://doi.org/10.20937/RICA.53758>
- GGTO (2019). En Guanajuato trabajamos a favor de las energías renovables y sustentables: Gobernador. Gobierno de Guanajuato [en línea]. <https://boletines.guanajuato.gob.mx/2019/10/24/en-guanajuato-trabajamos-a-favor-de-las-energias-renovables-y-sustentables-gobernador/01/02/2021>
- Graziani P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos. Oportunidades para América Latina. Corporación Andina de Fomento, Caracas, Venezuela, 92 pp.
- Hoornweg D. y Bhada-Tata P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, D.C., EUA, 116 pp.
- INECC (2022). México: inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ciudad de México, México, 208 pp.
- INEGI (2020). Censo de población y vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México [en línea]. <https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2020//05/04/2021>
- Kennedy A.C., Ibrahim N. y Hoornweg D. (2014). Low carbon infrastructure strategies for cities. *Nature climate change* 4, 343-346. <https://doi.org/10.1038/nclimate2160>
- IBRD (2016). Carbon credits and additionality. Past, present, and future. Partnership for market readiness, technical note 13. International Bank for Reconstruction and Development and The World Bank. Washington, D.C., EUA, 37 pp.
- Leal W., Vidal D., Chen C., Petrova M., Pimenta M., Yang P., Rogers S., Álvarez-Castañón L., Djekic I., Sharifi A. y Neiva S. (2022). An assessment of requirements in investments, new technologies, and infrastructures to achieve the SDGs. *Environmental Science Europe* 34, 58. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00629-9>
- Li Z., Lu H., Ren L. y He L. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: a review. *Chemosphere* 97 (7), 1247-1257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>
- Nguyen T., Malek L., Umberger W. y O'Connor P. (2022). Household food waste disposal behaviour is driven by perceived personal benefits, recycling habits and ability to compost. *Journal of Cleaner Production* 379 (1), 134636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134636>
- Ojeda V. (2018). Antecedentes, limitaciones, barreras y problemática del manejo de los residuos en la región. En: *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (P. Tello, D. Campani y D. Sarafian Eds.). Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Asunción, Paraguay, pp. 2-14.
- Oliveira L., Oliveira D., Stolte B., Silva B. y Gomes R. (2017). Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios.

- Journal of Cleaner Production 155, 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.093>
- ONU (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas, Nueva York, EUA [en línea]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> 17/02/2021
- Ortiz J.A., Masera O. y Fuentes A. (2014). La ecotecnología en México. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México, 128 pp.
- Oviedo E.R, Marmolejo L.F. y Torres P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. *Lecturas desde Colombia. Ingeniería, Investigación y Tecnología* 18 (1), 31-42.
- PASA (2021). Encuesta de satisfacción del cliente municipal del servicio de recolección, León (2021). Promotora Ambiental. León, Guanajuato, México, 24pp.
- Salmán J.F.M. y Arredondo R.E. (2020). Propuesta metodológica para la gestión de bonos de carbono derivados de la mejora de transporte, para la construcción de ciclovías. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Querétaro, México, 175 pp.
- SEMARNAT (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030, instrumentación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México [en línea]. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-2020-2030> 09/01/2021
- SEMARNAT (2019). Visión basura cero. Líneas de implementación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 13 pp.
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 274 pp.
- SEMARNAT (2022). México: inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2019. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 208 pp.
- SEMARNAT (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, México, 20 de octubre de 2004.
- Shekdar A. (2009). Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste management* 29 (4), 1438-1448. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.025>
- SIAP (2016). Modelo Integral para el Manejo y Gestión de Residuos en León. Sistema Integral de Aseo Público de León. León, Guanajuato, México, 246 pp.
- SIAP (2020). Programa Municipal para la Prevención y Gestión de Residuos para el Municipio de León, Guanajuato. Sistema Integral de Aseo Público de León, León, Guanajuato, México [en línea]. <https://www.aseopublicoleon.gob.mx/copia-de-leyes-y-reglamentos-1> 08/10/2020
- SMAOT (2021). Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos de Guanajuato. Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato [en línea]. <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/manejo-integral-de-residuos/197/Programa-Estatal-para-la-Prevenci%C3%B3n-y-Gesti%C3%B3n-Integral-de-los-Residuos> 15/01/2022
- Sundberg C. y Navia R. (2014). Is there still a roll for composting? *Waste management and research* 32 (6), 459-460. <https://doi.org/10.1177/0734242X14536094>
- Tagle D. (2020). Una mirada de la economía circular a los programas de reducción de residuos en León, Guanajuato. ¿Soluciones concretas o paliativos ambientales? *Expresión Económica* 44, 59-80. <https://doi.org/10.32870/eera.vi44.1050>
- Tagle D. y Azamar A. (2020). Beneficios asociados al uso de ecotecnias en comunidades rurales de Guanajuato, México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 33 (1), 112-133.
- Tagle D. y Carrillo G. (2022). Gestión de residuos sólidos en León Guanajuato: indicadores de economía circular y de los objetivos del desarrollo sostenible. *Región y Sociedad* 34, 1-27. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1583>
- Yin K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation* 19 (3), 321-332. <https://doi.org/10.1016/10.1177/1356389013497081>