

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Perspectiva de ciclo de vida de residuos orgánicos en un espacio académico

 **Nancy Ivette Castro Becerril**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, ncastrob110@alumno.uaemex.mx
ORCID: 0009-0000-5621-2748

 **Gustavo Alvarez Arteaga**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, galvareza68@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0260-3484

 **Claudia Ivett Alanís Ramírez**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, calanisr001@uaemex.mx
ORCID: 0000-0001-6935-1798

Doi: 10.36677/qret.v27i2.25837

Resumen: La gestión de residuos orgánicos es clave para mitigar el impacto ambiental asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero. Como estrategia alternativa, la cuantificación de la huella de carbono permite desarrollar estrategias de mitigación basadas en el análisis de ciclo de vida de productos y servicios. En este estudio se estima la huella de carbono de los residuos orgánicos en una institución de educación superior mediante el diagnóstico de su generación, manejo y disposición final, por medio de la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), incluyendo encuestas estudiantiles, caracterización y cuantificación per cápita de residuos. Los resultados mostraron que el 65 % de los residuos son orgánicos, con una generación per cápita de 0.11 kg/día, lo que deriva la emisión del espacio académico de 148.54 kg CO₂eq/año. Se proponen tres estrategias para reducir esta huella: i) reducción o reutilización de papel (15 %); ii) compostaje aerobio (85 %) y iii) valorización total de residuos orgánicos (100 %). Se concluye que la adopción de un enfoque de ciclo de vida en la gestión de residuos orgánicos reduce significativamente la huella de carbono institucional, al tiempo que se fomenta la sostenibilidad mediante un modelo de bioeconomía circular en el ámbito universitario.

Palabras claves: análisis de ciclo de vida, economía circular, gases de efecto invernadero, huella de carbono, residuos orgánicos.

Recepción: 17 de febrero, 2025

Aceptación: 07 de abril, 2025



RESEARCH SCIENTIFIC ARTICLES

Life cycle perspective of organic waste in an academic space

 **Nancy Ivette Castro Becerril**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, ncastrob110@alumno.uaemex.mx
ORCID: 0009-0000-5621-2748

 **Gustavo Alvarez Arteaga**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, galvareza68@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0260-3484

 **Claudia Ivett Alanís Ramírez**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, calanisr001@uaemex.mx
ORCID: 0000-0001-6935-1798

Doi: 10.36677/qret.v27i2.25837

Abstract: The management of organic waste is crucial for mitigating the environmental impact associated with greenhouse gas emissions. As an alternative strategy, the measurement of carbon footprint allows the development of mitigation strategies based on the life cycle analysis of products and services. This study estimates the carbon footprint of organic waste in a higher education institution by diagnosing its generation, management, and final disposal. This has been completed using the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), including student surveys, as well as waste characterization and per capita quantification. The results showed that 65% of the waste is organic, with a per capita generation of 0.11 kg/day, leading to an academic space emission of 148.54 kg CO₂eq/year. Three strategies are proposed to reduce this footprint: i) reduction or reuse of paper (15%), ii) aerobic composting (85%), and iii) total valorization of organic waste (100%). The study concludes that adopting a life cycle approach to organic waste management can significantly lower the institutional carbon footprint while promoting sustainability through a circular bioeconomy model within the university context.

Keywords: life cycle assessment, circular economy, greenhouse gases, carbon footprint, organic waste

Introducción

En los últimos años, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) ha cobrado relevancia, debido a las consecuencias ambientales, sociales y económicas derivadas de su manejo. En México la generación per cápita de RSU es de 0.944 kg/hab/día, con un total de 120 128 ton/día, de los cuales el 46.42 % son residuos orgánicos (RO); 31.56 %, residuos susceptibles de aprovechamiento; y 22.03 %, otros residuos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2020). En particular, los RO representan una fracción significativa del total de los residuos generados y su manejo inadecuado ha propiciado la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) (Sánchez *et al.*, 2015), contribuyendo al cambio climático, a la contaminación de suelos, de aguas superficiales y subterráneas por la lixiviación de líquidos, así como la generación de malos olores y proliferación de plagas. En el rubro de la salud humana, persiste el riesgo de contraer enfermedades biológico-infecciosas a causa de la proliferación de agentes patógenos (Rosas-Prado *et al.*, 2021).

Los RO conformados por restos de alimentos, papel y cartón pueden degradarse biológicamente mediante la acción de bacterias fermentativas. En este proceso, los compuestos orgánicos son hidrolizados hasta monómeros de CH_4 , un gas con alto poder inflamable y se genera un acetato a partir del CO_2 (Dávila-Vázquez, 2007). Esta degradación contribuye a la emisión de GEI, cuyo potencial de calentamiento global (PCG) se mide en términos de CO_2 equivalente (CO_2eq) a lo largo del ciclo de vida de los residuos (Semarnat, 2019). No obstante, la valorización de los RO mediante tecnologías como la biodigestión anaerobia permitirían aprovechar su contenido energético para la generación de electricidad y calor, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Además, este proceso genera un subproducto con aplicaciones como mejorador de suelos, promoviendo modelos de bioeconomía circular y disminuyendo el impacto ambiental asociado a su disposición final (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018).

La bioeconomía circular está estrechamente relacionada con la gestión integral de RO ya que ambos conceptos se enfocan en maximizar el uso de recursos biológicos y minimizar el desperdicio a través de ciclos regenerativos mediante el uso de tecnologías más eficientes (Escamilla-Alvarado *et al.*, 2017; Graziani, 2018; Kumar Awasthi *et al.*, 2022). Bajo el enfoque de la bioeconomía circular,

los residuos no se ven como desechos finales, sino como recursos que pueden ser reutilizados para generar nuevos productos; esto incluye la transformación de residuos alimentarios, agrícolas o forestales en bioenergía, fertilizantes y otros productos bajo una perspectiva de ciclo de vida como lo es compostaje (Catalán Campiño, 2019; Ashokkumar *et al.*, 2022).

El compostaje es el tratamiento que aprovecha el carbono capturado en la biomasa vegetal para transformarlo en abonos orgánicos por medio de un proceso aerobio, que evita que la fracción orgánica llegue intacta a los sitios de disposición final (SDF) (Andersen *et al.*, 2012; Jensen *et al.*, 2016; García-Bucio *et al.*, 2022). Durante el proceso es importante controlar parámetros como: el contenido de humedad, la temperatura y disponibilidad de oxígeno, así como la proporción de nutrientes (relación carbono/nitrógeno (C/N)) durante las diferentes etapas. La parametrización de estos factores bajo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite evaluar los impactos ambientales del compostaje (Sun *et al.*, 2021; Nordahl *et al.*, 2020). Adoptar una perspectiva de ciclo de vida para la gestión ambiental urbana de los residuos sólidos permite definir procedimientos específicos tales como: sistematizar su ciclo de vida mediante la estructura urbana, diseñar acciones correctivas que posibilitan la participación social en la identificación y evaluación de los principales impactos asociados (Viau *et al.*, 2020), así como elaborar un conjunto de regulaciones que protejan a los sistemas naturales de los procesos socioeconómicos (Reynaldo *et al.*, 2019).

La gestión integral de residuos atañe a los diferentes sectores sociales y económicos, tal es el caso de las Instituciones de Educación Superior (IES). Dentro de estos espacios, los RO suelen ser una parte importante del total generado, debido a actividades como: la preparación y consumo de alimentos en cafeterías, el uso de laboratorios, mantenimiento de áreas verdes y desarrollo de eventos institucionales (Carvajal-Flórez *et al.*, 2023). La gestión eficiente de estos residuos en los entornos académicos ofrece una oportunidad para promover prácticas sostenibles y servir como modelo de educación ambiental para otros sectores de la sociedad (Alanís *et al.*, 2022). Sin embargo, a pesar del potencial para implementar estrategias innovadoras de manejo de residuos, las IES aún enfrentan desafíos en términos de infraestructura, recursos económicos, educación y concientización ambiental de su comunidad.

Uno de los desafíos actuales es la estimación de la huella de carbono (HC) del sector de residuos en las IES ya que permite comprender y gestionar el impacto ambiental que generan las actividades universitarias en términos de emisión de GEI. Esta medición no solo es clave para mitigar el cambio climático, sino también para la toma de decisiones en el manejo de residuos dentro del

ámbito académico. La importancia de contribuir con estudios que valoren la implementación de acciones sobre la gestión de residuos se ha reportado en IES internacionales como el caso de la Universidad de Oulu, Finlandia (Kiehle *et al.*, 2023), donde se calculó la HC con el método del Green House Protocol (sus siglas en inglés, GHP), considerando las emisiones de GEI asignadas a la gestión de desechos, con perspectiva de ciclo de vida. Dentro de las fracciones de desechos se incluyeron RO, cartón y papel. Los resultados indicaron que la HC durante el periodo de estudio fue de 19.072 ton de CO₂eq, donde el 1.3 % corresponde a los RO.

Otro estudio es el que se llevó a cabo en los comedores de la Universidad Científica del Sur, Lima, Perú, aplicando la metodología establecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés, IPCC), propusieron escenarios para contrarrestar la HC, siendo uno de ellos la valorización de los residuos, logrando así una reducción del 85.90 % (Vargas-Ayala *et al.*, 2022). En México, la Universidad Iberoamericana, campus Ciudad de México, cuenta con un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos, el cual ha sido una herramienta educativa al fomentar la participación colaborativa de académicos, alumnos y personal administrativo tanto en las tareas de investigación como en las de gestión en el área de manejo de residuos (Ruiz Morales, 2017). Como parte de dicho programa, se realizó un diagnóstico integral del manejo de los residuos en la institución, reportando que la cantidad recuperable pasó de 13 760 kg en 2018 a 22 686 kg para 2021, siendo papel y cartón los principales residuos recuperables (Ibero Sustentable, 2022).

Las IES desempeñan un papel clave en la promoción de la sostenibilidad, no solo como generadoras de conocimiento, sino también como espacios que integran la diversidad de pensamientos, culturas e intereses de sus distintos actores (Restrepo Zapata, 2022). En este contexto, la medición de HC se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar el impacto ambiental de estas instituciones a partir de sus emisiones de GEI. Sin embargo, la implementación efectiva de esta medición representa un desafío para gestores y tomadores de decisiones, debido a la heterogeneidad y complejidad de las metodologías disponibles, lo cual genera incertidumbre en los resultados y dificulta la aplicación de estrategias claras para la reducción de emisiones y la transición hacia modelos de gestión más sostenibles (Mellado, 2021).

En Latinoamérica, el uso de la HC como instrumento de ponderación no ha sido armonioso, pues si bien las políticas climáticas de cada país incluyen guías metodológicas para su estimación, no existe un consenso sobre los métodos de medición empleados (Comisión Económica para América Latina y el Caribe

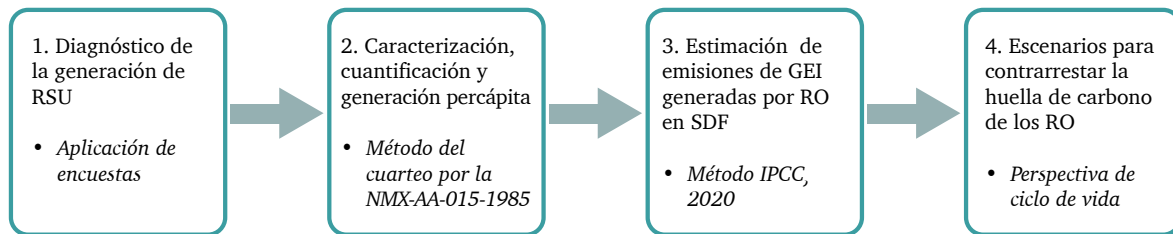
[CEPAL], 2021). Esta falta de armonización refleja la necesidad de un enfoque integral que permita la implementación uniforme de este tipo de herramientas. A medida que las IES avanzan en la implementación de estrategias sostenibles, se enfrentan a desafíos significativos, como la recolección precisa de datos y la necesidad de consensuar metodologías para la medición de la huella de carbono (Samara *et al.*, 2022). Estas instituciones tienen el potencial de ser líderes en la adopción de prácticas que no solo mitiguen su impacto ambiental, sino que también fomenten una cultura de sostenibilidad en la sociedad.

La Universidad Autónoma del Estado de México (Uaemex), participa actualmente en el ranking Green Metrics, desarrollado por la Universidad de Indonesia, el cual clasifica a nivel mundial a las IES en función de su sostenibilidad ambiental, evaluando su desempeño en diversas áreas del medio ambiente y la sostenibilidad (UI Green Metric, 2021). Dentro de este ranking, la Uaemex se posiciona en el lugar 14 a nivel regional, 55 de América Latina y 414 mundial. Cabe mencionar que en el sector residuos la institución alcanza un puntaje de 1200 con máximo a lograr de 1800 puntos. Dentro de los 6 criterios y 39 indicadores se encuentra el de energía y cambio climático, cuyo valor de evaluación de residuos considera la implementación de un programa para reducir las emisiones de GEI provenientes de RO y la reducción de residuos enviados a vertederos, que tienen un impacto directo en la HC de la institución (UI Green Metric, 2023).

Dentro del *Plan Rector de Desarrollo Institucional de la Uaemex (2021-2025)*, se consideran estrategias para aplicar un Sistema de Gestión Ambiental en sus diferentes espacios académicos y desarrollar actividades de tratamiento y reciclaje de residuos de forma permanente (Barrera Díaz, 2021). Como parte de las acciones, la Dirección de Protección al Ambiente, recientemente reportó una HC para el sector RO de 845.69 ton CO₂/año (Montoya García, 2023). Tomando como antecedente el estudio previo, el objetivo de la investigación es estimar la HC de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (Fapur), a partir un diagnóstico sobre el manejo, generación y disposición de RO entre la comunidad estudiantil, proponiendo escenarios para contrarrestar la HC, con perspectiva de ciclo de vida.

Metodología

Para el cálculo de la HC de los RO (alimentos, papel y cartón) que se generan en la Fapur, se llevaron a cabo los siguientes pasos (figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo para estimar la HC generada por los RO de la Fapur

Fuente: Elaboración propia.

Diseño de la encuesta para la percepción estudiantil sobre RSU

Para conocer la percepción de la comunidad estudiantil sobre la situación actual del manejo de los RSU en la institución, se diseñó y aplicó una encuesta a una muestra representativa de alumnos (N=130) con un nivel de confianza del 80 % y un margen de error del 5 %. El instrumento contenía tres secciones: a) Percepción del manejo institucional de RSU, b) Esquemas de generación y disposición de RSU e c) Interés personal por participar en acciones para mejorar la gestión de RSU.

Caracterización y cuantificación per cápita de los RO

La caracterización y cuantificación de las diferentes fracciones de los RSU se llevó a cabo durante un año escolar (agosto de 2022 a junio de 2023), mediante el método de cuarteo establecido por la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 1985). Para el cálculo en la generación per cápita de RSU, se consideró un total de 564 alumnos que representan el 86 % de la comunidad FAPUR (Uaemex, 2022).

Estimación de la huella de carbono

Para la evaluación de la HC de los RO dentro de la Fapur, se utilizó la metodología del IPCC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2020; IPCC, 2022), desarrollando el cálculo de emisiones de GEI generadas por los RO y su disposición final, aplicando datos de actividad sobre la gestión, generación, así como un modelo de descomposición microbiana de RO, donde la fórmula general se describe a continuación (ecuación 1).

Ecuación 1. Emisiones de CH₄

$$\mathbf{Emisiones\ de\ CH_4 = \left| \sum_c^{\dots} CH_4\ generado\ m.\ T - RT \right| \cdot (1 - 0xT)}$$

Donde:

T = año del inventario

c = categoría o tipo de desecho o material

RT = CH₄ recuperado durante el año T

OxT = factor de oxidación durante el año T, (fracción)

$$\mathbf{Emisiones\ CO_{2e} = Emisiones\ de\ CH_4 \cdot PCG\ de\ CH_4}$$

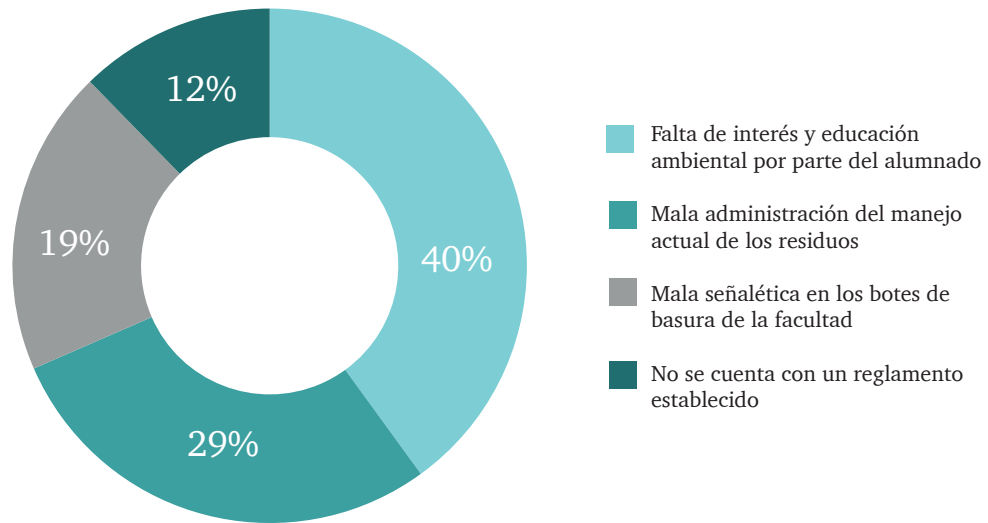
PCG = Potencial de calentamiento global

Resultados y discusión

Percepción estudiantil sobre la Gestión de RSU en la Fapur

Del total de encuestados, 72% estuvo conformado por estudiantes de la Licenciatura de Ciencias Ambientales y el 28% de Planeación Territorial. En la figura 2, se muestra la percepción de los alumnos de la Fapur sobre la separación de los RSU, indicando que el 40% de los participantes consideraron que la principal causa por la que no se separan los RSU dentro de la Facultad es debido a que el alumnado muestra una falta de interés y educación ambiental sobre la separación de RSU; destacando que menos del 5% de los alumnos conoce la existencia de lineamientos que regulen el manejo de residuos dentro del espacio académico. Únicamente el 12% contestó que es la mala administración del manejo actual de los residuos la causa principal por la que consideran que no se separan correctamente los residuos. Asimismo, el 81%, nunca ha asistido a conferencias o talleres que aborden el tema de los residuos en la Fapur.

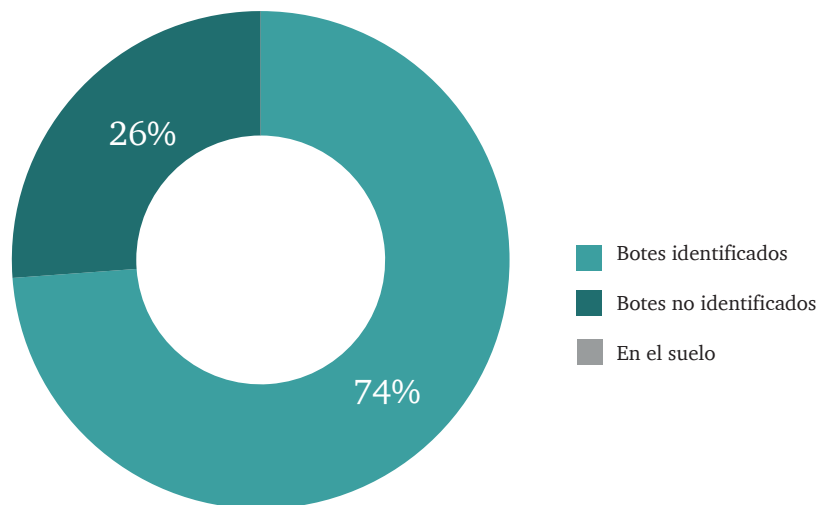
Figura 2. Percepción de los alumnos de la Fapur sobre la separación de los RSU



Fuente: Elaboración propia.

La frecuencia con que los alumnos (86% de los encuestados), refirieron generar residuos entre una a cinco veces por semana. En la figura 3 se muestra el lugar donde los residuos son depositados por los encuestados, destacando con un 74% los botes con señalética. Sin embargo, al realizarse la caracterización y cuantificación de estos, se obtuvo que más del 80% de los residuos llegan a los botes no identificados en los que no hay separación.

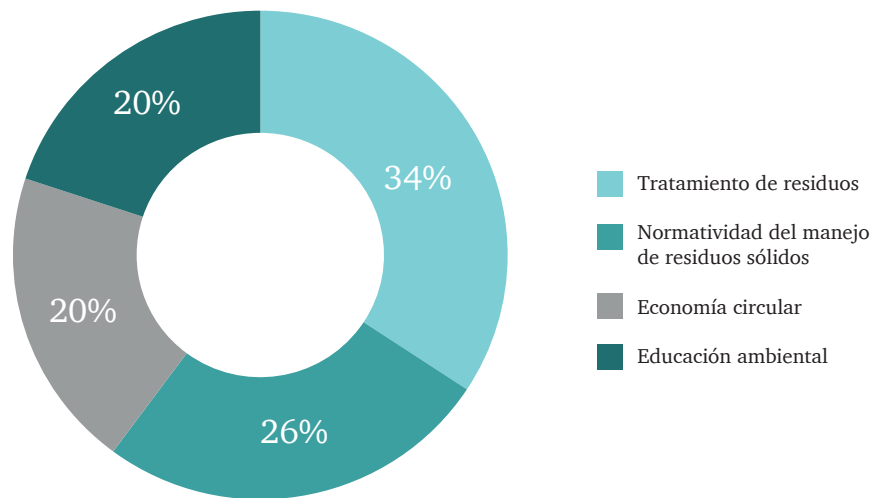
Figura 3. Lugar donde se depositan estos RSU de la Fapur



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se cuestionó el interés de los alumnos en formar parte de una brigada para promover la gestión de RSU y sólo el 64% respondió positivamente. En relación con los temas sobre los que les gustaría recibir información de residuos, el 34% prefirió conocer sobre posibles tratamientos, 26% de normatividad y 20% de aspectos de economía circular y educación ambiental (figura 4).

Figura 4. Temas para recibir información sobre los residuos a los alumnos de la Fapur



Fuente: Elaboración propia

Análisis del manejo actual de los RO

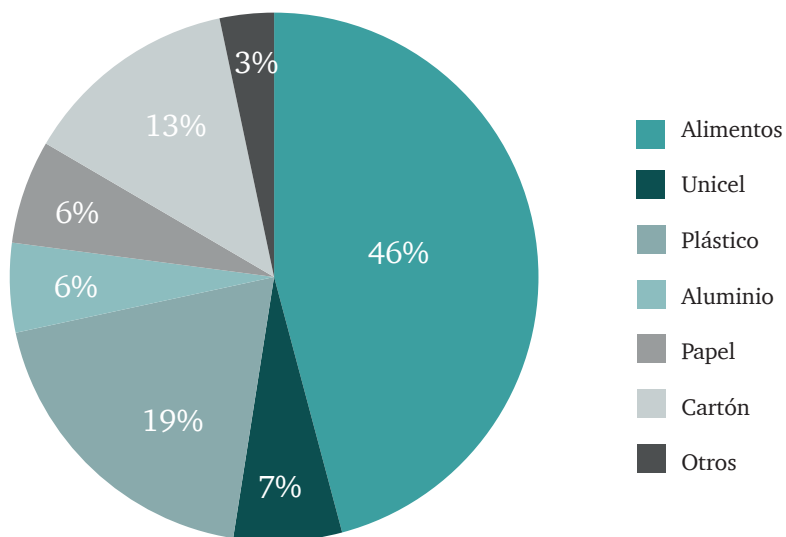
Para la etapa de cuantificación y caracterización se consideraron los resultados de los pesajes realizados a lo largo de los meses estudiados. En el cuadro 1 se muestra la cantidad en kg de RSU generados en todo un año escolar por la comunidad de la Fapur. Para efecto de los cálculos posteriores de esta investigación, se trabajó con la fracción de RO (65%) (alimentos, papel y cartón) (figura 5). Cabe resaltar que en un estudio previo, reportado por Alanís *et al.* (2022), identificaron que la mayoría de RO generados dentro de la Fapur provienen de la cafetería universitaria, restaurantes y puestos ambulantes aledaños.

Cuadro 1. Cantidad de RSU (kg), generados por la Fapur

Categoría de RSU	Meses								Total (kg)
	2022				2023				
	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Feb	Mar	Abr	May	
Orgánico (alimento)	246	228	216	230	184	246	216	90	1656
Unicel	1.96	25.20	12.00	13.05	6.18	12	3.60	2.94	76.93
Plástico	28.80	24	24.00	25.60	30	27.60	36	26.40	222.40
Aluminio	3.80	9	9.60	7.47	8.40	10.80	6.48	7.92	63.47
Papel	12	3	15.60	10.20	8.24	6.00	5.52	13.20	73.76
Cartón	15.60	15.60	24.00	18.40	20.12	19.20	17.40	23.76	154.08
Otros	4.69	2.94	2.76	3.46	6.16	12	2.88	3.60	38.50
Total	312.85	307.74	303.96	308.18	263.10	333.60	287.88	167.82	2285.14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Composición volumétrica de los RSU generados en la Fapur (2022-2023)



Fuente: Elaboración propia.

La generación de residuos por estudiante al año en universidades latinoamericanas varía en función de factores como: el tamaño de la institución, las políticas de gestión ambiental y los hábitos de consumo de la comunidad universitaria. De acuerdo con el total de RSU generados en la Fapur, se calculó la generación diaria de residuos por persona cuyo valor fue de 0.17 kg/día, de los cuales 0.11 kg/día por persona son RO. Si se compara la generación diaria per cápita con la de diferentes instituciones educativas a nivel internacional, es posible observar que este dato es consistente con el rango reportado por Paredes Canencio *et al.* (2024), quienes compararon estudios de universidades de todo el mundo (cuadro 2), no así para la generación anual per cápita, que es similar a la obtenida por Vilches *et al.* (2015) y Chavarría-Solera *et al.* (2016) para instituciones en Ecuador y Costa Rica respectivamente. Estas variaciones se explican principalmente por diferencias metodológicas, como la inclusión de ciertas actividades en el método GHG Protocol dentro del Alcance 3, las cuales no son contempladas en todos los estudios, además del número de días laborables que cada análisis toma en cuenta.

Cuadro 2. Generación per cápita anual de RSU en diferentes Universidades

Institución Educativa	País	Residuo considerado	Generación	Generación	Fuente
			diaria	anual	
			kg/persona		
Fapur, Uaemex	México	Orgánicos totales (comida, papel, cartón)	0.11	5.5	Este estudio
Universidad Nacional	Costa Rica	Residuos sólidos enviados al relleno sanitario (incluye orgánicos, papel/cartón)	ND	3.6	Chavarría-Solera <i>et al.</i> , 2016
Universidad Politécnica Salesiana	Ecuador	Residuos sólidos totales comunes (mayoría comida, papel/cartón 62.34%)	0.0207	2.9	Vilches <i>et al.</i> , 2015
Estudiantes universitarios	Suecia	Residuos alimentarios evitables (hogares universitarios)	0.046	16.79	Malefors <i>et al.</i> , 2025
Instituciones varias	Global (múltiples países)	Residuos sólidos orgánicos, papel/cartón (promedio habitual)	0.1 - 0.5 (rango estimado)	36.5- 182.5 (rango estimado)	Paredes-Canencio <i>et al.</i> , 2024

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de la huella de carbono de los RO

Bajo la metodología del IPCC, se calculó la HC de los RO, que representan el 65% del total de RSU en la Fapur, esta fue de 148.54 kg CO₂eq/año, considerando el escenario actual de su confinamiento en un SDF. Si bien, este último dato no es factible de comparar con el de otras instituciones debido a que existen diferencias considerables en la población de cada una de ellas, si es posible hacer un comparativo con la HC per cápita, que para nuestro estudio fue de 0.23 kg CO₂eq/año, similar a la de la Universidad Nacional de Costa Rica (0.26 kgCO₂eq/año), pero de más del doble a lo obtenido en Reino Unido y Pakistán (cuadro 3).

Cuadro 3. Huella de carbono per cápita para la generación de residuos orgánicos

Universidad	País	Metodología	Huella de carbono (kgCO ₂ eq/per/año)	Fuente
Uaemex (Fapur)	México	IPCC	0.23	Estudio propio
Universidad Nacional	Costa Rica	Instituto Meteorológico Nacional (IMN)	0.26	Chavarría-Solera <i>et al.</i> , 2016
Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur.	Perú	SimaPro	0.62	Vilches <i>et al.</i> , 2015
Bournemouth	Reino Unido	GHG Protocol	0.10	Filmonau <i>et al.</i> , 2021
Punjab	Pakistán	GHG Protocol	0.13	Haseeb <i>et al.</i> , 2022

Fuente: Elaboración propia.

El comparativo revela nuevamente similitudes y contrastes con las instituciones mencionadas; en comparación con las universidades de Reino Unido y Pakistán, los valores de la HC de las universidades latinoamericanas son entre dos y cinco veces superiores, lo cual pudiera explicarse principalmente a partir de las diferentes plataformas metodológicas empleadas como el GHG Protocol, las actividades o materiales incluidos en el Alcance 3 en cada caso, así como el tipo

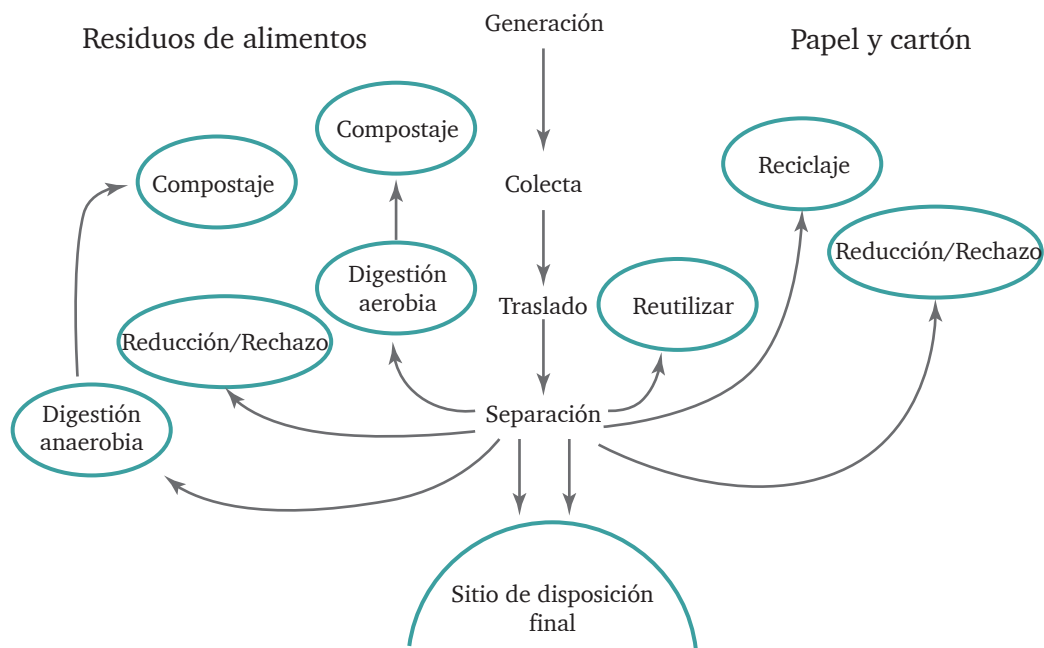
de inventario realizado, pero también pudiera advertir una importante potencial para optimizar las prácticas de gestión de RO en nuestra institución.

Como resultado de lo anterior, estudios de amplio espectro como el metaanálisis realizado por Paredes Canencio *et al.* (2024), advierten la necesidad de homologar las metodologías propuestas en un intento por establecer un lineamiento base y comparaciones más pertinentes.

Perspectiva de ciclo de vida para la gestión de RO

Desde el enfoque de la bioeconomía circular de los residuos orgánicos, propuesto por autores como Ragossnig y Schneider (2019) y Talwar y Holden (2022), es fundamental incorporar en la comunidad académica un modelo institucional guiado por el pensamiento de ciclo de vida. Esto permitiría, entre otros beneficios, disminuir de forma significativa la cantidad de RO enviados a SDF, al aprovecharlos en la producción de abonos orgánicos utilizables en las áreas verdes de la institución. Adicionalmente, el modelo tendría el potencial de integrarse a esquemas educativos locales para promover y coordinar la participación de los diferentes actores institucionales (Alanís *et al.*, 2022), que eventualmente pudiera transferirse a otros sectores de la sociedad (Sayara *et al.*, 2020).

En el caso de los RO, la transición de un modelo lineal a un modelo circular es factible, de acuerdo con el diagrama de mariposa propuesto por la Fundación Ellen MacArthur (2014) (figura 6). Esta transición se basa en jerarquizar el manejo de residuos, priorizando estrategias de prevención, reutilización y valorización. Por lo que respecta a los residuos alimentarios, las estrategias recomendadas incluyen la reducción o rechazo en origen, seguidas de tratamientos biológicos como la digestión aerobia y anaerobia, que permiten la producción de composta y biogás, aportando con ello un valor energético adicional al residuo (Oliveira *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2021). Considerando al papel y cartón, las acciones prioritarias son la reducción o rechazo, seguidas del reciclaje y la reutilización, favoreciendo así un enfoque más sostenible en la gestión de los RO.

Figura 6. Modelo lineal a circular para el manejo de RO

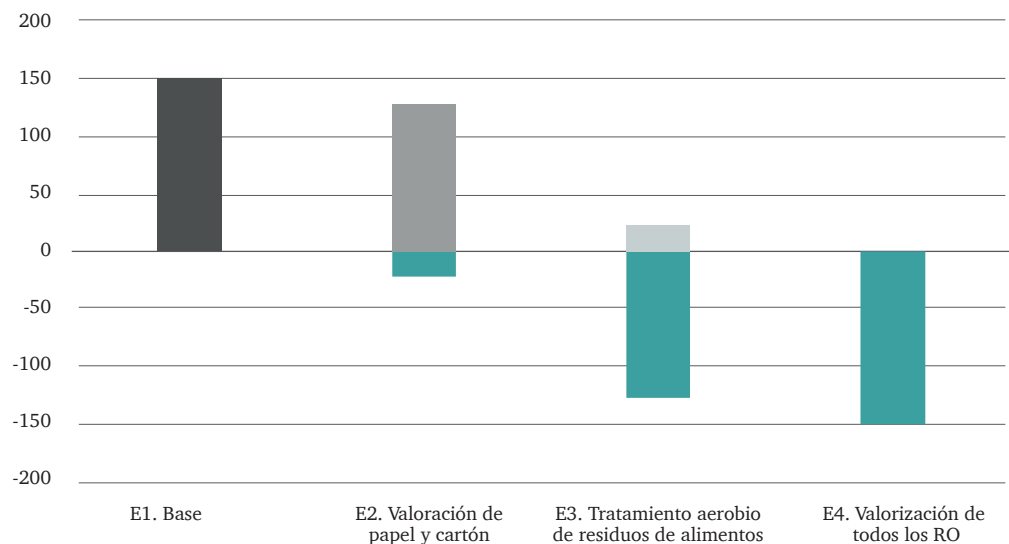
Fuente: Elaboración propia con base en Ellen MacArthur Foundation (2014).

Para fomentar el tratamiento de los RO que genera la Fapur y contrarrestar su HC actual se plantearon cuatro escenarios (figura 7): 1) Escenario actual, 2) Valorización de papel y cartón, 3) Tratamiento aerobio de residuos de alimentos y 4) Valorización de todos los RO. Como resultados, en el segundo escenario se plantea que, si en la Facultad se llevara a cabo la valorización de los residuos de papel y cartón ya sea por reducción o reúso, la HC que se emitiría sería de 126.26 kg CO₂eq/año, reduciendo su HC con respecto al escenario 1 en 15%. En el tercer escenario se plantea que, si en la facultad se llevara a cabo un tratamiento aerobio de los residuos de alimentos, las emisiones serían de 22.27 kg CO₂eq/año, reduciendo así la HC en 85%.

De acuerdo con el documento *Visión Nacional hacia una gestión Sustentable: Cero Residuos* (Semarnat, 2019), las plantas de compostaje forman parte de la gestión de RO dentro de un modelo de economía circular, contribuyendo al uso eficiente de los recursos naturales y promoviendo el desarrollo sostenible en el país (Evangelisti *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2021). Apoyando el supuesto anterior, los estudios de Juárez *et al.* (2008); Grace, (2020) y Sardarmehni *et al.* (2020), concluyen que la producción de composta en todos los escenarios evaluados en un ACV reduce de manera considerable los impactos en las categorías de

acidificación, eutrofización, toxicidad del suelo, efectos cancerígenos, enfermedades respiratorias y la extracción de combustibles fósiles. Es por ello que, para futuros proyectos se planea contar con datos experimentales de las emisiones de CO₂ biogénicas sobre la eficiencia del proceso (Ardolino *et al.*, 2018). El cuarto escenario donde se valorizaron todos los RO que se generaron en la facultad, siendo el escenario ideal para considerar, se tendría una HC nula, considerando la recuperación de nutrientes, energía y agua (Samarasiri *et al.*, 2021).

Figura 7. Escenarios para disminuir la HC de los RO (kg CO₂eq/año) en la Fapur



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La perspectiva de ciclo de vida de los residuos orgánicos generados en la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México permitió establecer un diagnóstico detallado sobre su origen, gestión y tratamiento de estos. Los resultados evidenciaron la necesidad de implementar una estrategia de educación ambiental enfocada en la separación, manejo y disposición final de residuos dentro del espacio académico, según la percepción de la comunidad estudiantil.

Se determinó que los residuos orgánicos, compuestos principalmente por restos de alimentos, papel y cartón, representan el 65 % del total de desechos generados, con una producción per cápita de 0.11 kg/día. La evaluación de la huella de carbono con la metodología del IPCC para este sector estimó emisiones

de 148.54 kg CO₂eq/año, un valor comparable con el promedio de otras universidades latinoamericanas. Para reducir la huella de carbono y avanzar hacia un modelo de bioeconomía circular, se plantearon cuatro escenarios de gestión. Entre ellos, el tratamiento aerobio de los residuos alimentarios se destacó como la opción más efectiva, con una reducción de hasta el 85% en las emisiones de carbono. Además, este proceso permite la producción de composta y biofertilizantes, los cuales pueden ser utilizados en las áreas verdes del campus y en proyectos agrícolas, promoviendo un modelo de emprendimiento sostenible dentro de la institución.

El análisis comparativo de los resultados con los de diferentes Instituciones Educativas de Educación Superior, reflejan la necesidad de estandarizar criterios metodológicos para permitir comparaciones más efectivas entre ellas; esto no solo facilitaría una mejor del desempeño ambiental institucional, sino que también fortalecería la implementación de estrategias para reducir las emisiones, contribuyendo así de manera significativa al combate del cambio climático.

Referencias

- Alanís, C., Álvarez, G. y Ávila, L. (2022). Modelo institucional con perspectiva de ciclo de vida para el tratamiento de residuos orgánicos. *Revista CoPaLa, Construyendo Paz Latinoamericana*, 14(14), 3-15. <https://doi.org/10.35600/25008870.2022.14.0210>
- Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H. y Scheutz, C. (2012). Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. *Waste Management*, 32(1), 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.014>
- Ardolino, F., Parrillo, F. y Arena, U. (2018). Biowaste-to-biomethane or biowaste-to-energy? An LCA study on anaerobic digestion of organic waste. *Journal of Cleaner Production*, 174, 462-476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.320>
- Ashokkumar, V., Flora, G., Venkatkarthick, R., SenthilKannan, K., Kuppam, C., Mary Stephy, G., Kamyab, H., Chen, W.-H., Thomas, J. y Ngamcharussrivichai, C. (2022). Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective. *Fuel*, 324, 124313. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124313>
- Barrera Díaz, C. E. (2021). *Plan Rector de Desarrollo Institucional de la Uaemex (2021-2025)*. Universidad Autónoma del Estado de México
- Carvajal-Flórez, E., Toro Yepes, J. J. y Realpe Erazo, M. I. (2023). Caracterización de residuos sólidos en una institución de educación superior: Caso de estudio campus Robledo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 14(1), 1-37. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-01-01>
- Catalán Campiño, E. (2019). *Aplicación del análisis de ciclo de vida a tecnologías emergentes de valorización de residuos orgánicos: El caso de la fermentación en estado sólido (FES)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Barcelona]. TDX. <http://hdl.handle.net/10803/669644>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2021). *Huella ambiental y de carbono en las exportaciones y el comercio internacional*. Biblioteca de la CEPAL. <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=587382&p=4073966>
- Chavarría-Solera, F., Molina-León, O. M., Gamboa-Venegas, R. y Rodríguez-Flores, J. (2016). Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo a la neutralidad de carbono. *Uniciencia*, 30(2), 47. <https://doi.org/10.15359/ru.30-2.4>
- Dávila-Vázquez, G. y Razo-Flores, E. (2007). Producción biológica de hidrógeno por vía fermentativa: Fundamentos y perspectivas. *Bio Tecnología*. 11(3), 19-27.
- Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Hacia una economía circular - Resumen ejecutivo*. Ellen MacArthur Foundation. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_Spanish_exec_pages-Revise.pdf
- Escamilla-Alvarado, C., Poggi-Varaldo, H. M. y Ponce-Noyola, M. T. (2017). Bioenergy and bioproducts from municipal organic waste as an alternative to landfilling: A comparative life cycle assessment with prospective application to Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 25602-25617. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6939-z>
- Evangelisti, S., Clift, R., Tagliaferri, C. y Lettieri, P. (2017). A life cycle assessment of distributed energy production from organic waste: Two case studies in Europe. *Waste Management*, 64, 371-385. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.028>
- Filmonau, V., Archer, D., Bellamy, L., Smith, N. y Wintrip, R. (2021). The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 756, 142963. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143964>
- García-Bucio, P., Sotelo-Navarro, P. X., Poggi-Varaldo, H. M., Cañizares-Villanueva, R. O. y Escamilla-Alvarado, C. (2022). Indicadores de la bioeconomía circular para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 78-92. <https://doi.org/10.20937/RICA.54350>
- Grace, V. (2020). *Comparative Life Cycle Assessment of Different Organic Municipal Waste Treatments*. [Tesis de maestría, Universidad de Leiden]. https://pure.hva.nl/ws/portalfiles/portal/16916987/Final_Thesis_Report.pdf
- Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos. Oportunidades en América Latina*. Caracas: CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>

- Haseeb, M., Tahir, Z., Batool, S.A., Majeed, A., Ahmad, S.R. y Kanwai, S. (2022). The carbon footprint of a public sector University before and during the COVID-19 lockdown. *Global NEST Journal*, 24(1), 29-36. <https://doi.org/10.30955/gnj.004222>
- Ibero Sustentable. (2022). *Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México (IBERO)*. <https://sustentable.ibero.mx/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2020). *Metodología para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final*. <https://www.gob.mx/inecc>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2022). *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Jensen, M. B., Møller, J. y Scheutz, C. (2016). Comparison of the organic waste management systems in the Danish German border region using life cycle assessment (LCA). *Waste Management*, 49, 491-504. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.035>
- Juárez, C., Güereca, L. y Gassó, S. (2008). Análisis del ciclo de vida del sistema de gestión de residuos municipales de la Ciudad de México. *Redisa*, 13. <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/14195/Gasso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kiehle, J., Kopsakangas-Savolainen, M., Hilli, M. y Pongrácz, E. (2023). Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, 329. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056>
- Kumar Awasthi, M. yan, B., Sar, T., Gómez-García, R., Ren, L., Sharma, P., Binod, P., Sindhu, R., Kumar, V., Kumar, D., Mohamed, B. A., Zhang, Z. y Taherzadeh, M. J. (2022). Organic waste recycling for carbon smart circular bioeconomy and sustainable development: A review. *Bioresource Technology*, 360, 127620. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127620>
- Malefors, Ch., Sjolund, A. y Sundin, N. (2025). Food waste quantities, carbon footprint and nutrient loss in university students' households in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, 54(2025) 441-451. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.01.017>

- Mellado Villafuerte, N. (2021). Huella de carbono en Latinoamérica como herramienta de medición de impacto ambiental en instituciones privadas, 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 10018. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1050
- Montoya García, Y. (2023). *Propuesta de neutralización de la huella de carbono de la Universidad Autónoma del Estado de México, derivada de las actividades sustantivas del año 2021 y 2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México] RI UAEMex. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/139403>
- Nordahl, S. L., Devkota, J. P., Amirebrahimi, J., Smith, S. J., Breunig, H. M., Preble, C. V., Satchwell, A. J., Jin, L., Brown, N. J., Kirchstetter, T. W. y Scown, C. D. (2020). Life-cycle greenhouse gas emissions and human health trade-offs of organic waste management strategies. *Environmental Science & Technology*, 54(15), 9200-9209 <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00364>
- Oliveira, L. S. B. L., Oliveira, D. S. B. L., Bezerra, B. S., Silva Pereira, B. y Battistelle, R. A. G. (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>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>
- Paredes Canencio, K. N., Lasso, A., Castrillon, R., Vidal Medina, J. R. y Quispe, E. C. (2024). Carbon footprint of higher education institutions. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5), 30239-30272. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04596-4>
- Ragossnig, A. M. y Schneider, D. R. (2019). Circular economy, recycling and end-of-waste. *Waste Management and Research*, 37(2), 109-111. <https://doi.org/10.1177/0734242X19826776>
- Restrepo Zapata, E. J. (2022). Análisis de las estrategias ambientales que implementan las eco universidades de Antioquia y su influencia en la mitigación de la huella de carbono. *Revista Cintex*, 27(1), 13-21. <https://doi.org/10.33131/24222208.387>

- Reynaldo, M. O. U., Zúñiga Igarza, L. M. y Fernández, I. V. (2019). Gestión ambiental urbana del ciclo de vida de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Holguín, Cuba. *Cuaderno Urbano*, 26(26), 7. <https://doi.org/10.30972/crn.26263788>
- Rosas-Prado, C. E., Urbina Cárdenas, M. F., Espinoza Rodríguez, H. R. y Reyes Reyes, C. A. (2021). Manejo integral de los residuos sólidos para mejorar la salud pública del distrito José Leonardo Ortiz, Chiclayo. *Revista de la Universidad del Zulia*, 12(32), 175-189. <https://doi.org/10.46925/rdluz.32.13>
- Ruiz Morales, M. (2017). Contexto y evolución del plan de manejo integral de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 337-346. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.14>
- Samara, F., Ibrahim, S. yousuf, M. E. y Armour, R. (2022). Carbon footprint at a United Arab Emirates University: GHG Protocol. *Sustainability*, 14, 2522. <https://doi.org/10.3390/su14052522>
- Samarasiri, B. K. T., Perera, M. H. D., Fernando, D. y Perera, K. S. S. (2021). Resource recovery from organic fraction of municipal solid waste in Sri Lanka – Current status and prospects. *Trends Journal of Sciences Research*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.31586/wastewater101001>
- Sánchez, A., Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrena, R., Gabriel, D., Sánchez-Monedero, M. Á., Roig, A., Cayuela, M. L. y Mondini, C. (2015). Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 223-238. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0507-5>
- Sardarmehni, M., Levis, J. W. y Barlaz, M. A. (2020). What is the best end use for compost derived from the organic fraction of municipal solid waste? *Environmental Science and Technology*, 55(1), 73-81. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04997>
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F. y Antoni, S. (2020). Recycling organic waste through composting: Process performance and compost application in agriculture. *Agronomy*, 10(11), 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI]. (1985). *Norma mexicana NMX-AA-015-1985: Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-muestreo-método de cuarteo*. Dirección General de Normas.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2019). *Visión Nacional hacia una gestión sustentable: Cero residuos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/diagnostico-basico-para-la-gestion-integral-de-los-residuos-2020>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H. y Cheng, Q. (2021). Organic waste utilization and urban food waste composting strategies in China - A review. *Notulae Scientiae Biologicae*, 13(2), 10881. <https://doi.org/10.15835/nsb13210881>
- Talwar, N. y Holden, N. M. (2022). The limitations of bioeconomy LCA studies for understanding the transition to sustainable bioeconomy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27, 680-703. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02053-w>
- UI Green Metric. (2021). *Overall rankings 2021 - UI GreenMetric*. <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021>
- UI Green Metric. (2023). *Guideline UI GreenMetric World University Rankings 2023*. UI GreenMetric
- Universidad Autónoma del Estado de México. [Uaemex]. (2022). *Agenda estadística Universidad Autónoma del Estado de México*. <https://spdi3.uaemex.mx/sed/default/>
- Vargas-Ayala, A., Tucto-Cueva, E., Milla Luna, D., Ricra Chávez, O. y Nazario-Ramírez, M. (2022). Caracterización de residuos sólidos universitarios y estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en dos alternativas de gestión. *South Sustainability*, 3(2), e059. <https://doi.org/10.21142/ss-0302-2022-e059>
- Viau, S., Majeau-Bettez, G., Spreutels, L., Legros, R., Margni, M. y Samson, R. (2020). Substitution modelling in life cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste Management*, 102, 795-803. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.042>
- Vilches, R., Dávila, F. y Varela, S. (2015). Determinación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus sur, año base 2012. *La Granja*, 21(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n21.2015.03>

- Wang, Y., Yuan, Z. y Tang, Y. (2021). Enhancing food security and environmental sustainability: A critical review of food loss and waste management. *Resources, Environment and Sustainability*, 4, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100023>
- Wei, Y., Wang, N., Lin, Y., Zhan, Y., Ding, X., Liu, Y., Zhang, A., Ding, G., Xu, T. y Li, J. (2021). Recycling nutrients from organic waste by advanced compost technology - A case study. *Bioresource Technology*, 337, 125411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125411>