

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN



Evaluación del estado actual del manejo de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. Develando desafíos

ID **Abigail García Valerio**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, agv77@live.com.mx; ORCID: 0000-0002-8283-6965

ID **Salvador Adame Martínez**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, sadamem@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-4499-0099

Recepción: 24 de abril, 2024**Aceptación:** 12 de junio, 2024**Doi:** 10.36677/qret.v27i1.23459

Resumen: El manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU) representa un desafío crucial para el desarrollo sostenible a nivel mundial. En el Estado de México, esta problemática adquiere mayor relevancia debido a su gran población y la creciente generación de residuos. El objetivo de este artículo es evaluar el manejo de los RSU en la entidad, a través de un diagnóstico y una serie de indicadores que permitan ponderar la situación actual. La metodología empleada incluyó tres fases: (i) revisión y análisis documental; (ii) elaboración del diagnóstico en todas sus etapas; y (iii) diseño de un marco de evaluación basado en indicadores de tipo general, cobertura, y eficiencia, los cuales se compararon con valores de referencia de organismos internacionales y nacionales. Como resultado se obtuvieron: a) en indicadores generales, la generación de RSU per cápita de 0.97 kg/hab/día; b) en indicadores de cobertura, la recolección es del 79 % de la población y una disposición final del 91 % de lo recolectado; c) en indicadores de eficiencia, el servicio de recolección alcanza un 0.6 % y la disposición final un 0.3 %. El manejo adecuado de los RSU se estima en un 67 %. En conclusión, la gestión de RSU en el Estado de México es deficiente según estándares internacionales, pero regular bajo esquemas locales. Por lo tanto, la evaluación es una herramienta esencial para implementar estrategias y políticas que permitan enfrentar los retos actuales.

Palabras clave: Evaluación, metodología, manejo, residuos sólidos urbanos.

RESEARCH SCIENTIFIC ARTICLES



Current evaluation of urban solid waste management in the State of Mexico. Unveiling challenges

**Abigail García Valerio**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, agv77@live.com.mx; ORCID: 0000-0002-8283-6965

**Salvador Adame Martínez**

Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México, sadamem@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-4499-0099

Doi: 10.36677/qret.v27i1.23459

Abstract: Proper management of Urban Solid Waste (USW) represents a crucial challenge for sustainable global development. In the State of Mexico, this issue is significant due to its large population and increasing waste generation, among other factors. This paper aims to assess the USW management in the area through a diagnosis and a series of indicators that help evaluate the current situation. The methodology included three phases: (i) review and documentary analysis; (ii) elaboration of the diagnosis in all its stages; and (iii) design of an evaluation framework based on general, coverage, and efficiency indicators, which were compared with reference values from international and national bodies. The results were as follows: a) in general indicators, USW generation per capita of 0.97 kg/person/day; b) in coverage indicators, the collection covers 79% of the population and final disposal accounts for 91% of what is collected; c) in efficiency indicators, the collection service reaches 0.6% and final disposal 0.3%. Proper USW management is estimated at 67%. In conclusion, USW management in the State of Mexico is deficient according to international standards, but average under local schemes. Thus, evaluation is an essential tool for implementing strategies and policies that address current challenges.

Keywords: evaluation, methodology, management, urban solid waste.

Introducción

En el contexto mundial, la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye un significativo desafío ambiental, social y económico. Según el informe del Banco Mundial (2020), anualmente, se producen aproximadamente 2 017 millones de toneladas de RSU, con una tasa de reciclaje del 9.5 %, lo que señala un impacto ambiental adverso debido a un manejo inadecuado. Este problema se intensifica en países latinoamericanos, donde factores como el crecimiento demográfico exacerbado y el desarrollo económico contribuyen a la falta de una gestión efectiva (Sobrino *et al.*, 2015) lo que puede provocar la contaminación del suelo, agua y aire, afectando negativamente a la biodiversidad y la salud humana (Al-Khatib *et al.*, 2010), mediante la proliferación de enfermedades (García y Martínez, 2020; Hernández, 2018). Además, los residuos mal manejados pueden generar lixiviados tóxicos y gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Proyecciones indican que la cantidad de RSU a nivel mundial podría alcanzar los 3 400 millones de toneladas anuales en los próximos años (Kaza *et al.*, 2018). Este aumento subraya la urgencia de abordar la gestión integral de los desechos urbanos desde su origen hasta su disposición final, involucrando activamente a los ciudadanos en este proceso (Wojtarowski Leal *et al.*, 2019). Como mencionan Hoornweg y Bhada-Tata (2012), el manejo de los RSU es una tarea extremadamente desafiante; por tanto, sugieren abordarla como un asunto inaplazable y tratarla con mayor responsabilidad en beneficio de la comunidad.

En México, la problemática por los RSU es un asunto de gran relevancia debido a su constante incremento. A pesar de que se han observado mejoras con la implementación de instrumentos de política ambiental en los tres niveles de gobierno, la atención principal se ha centrado en fortalecer el manejo municipal (Lizama Pérez *et al.*, 2018) sin disminuir el problema considerablemente.

Ante este escenario, la gestión de los RSU representa un desafío crítico en la búsqueda de un desarrollo sustentable en todos sus niveles. El Estado de México (Edomex) no es la excepción, ya que enfrenta una creciente presión ambiental y social debido al rápido incremento de la generación de RSU en áreas urbanas. Tal como afirma el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2020), el Edomex es la entidad con mayor generación de RSU de toda la región centro (44 % de las t/

día). Por entidad federativa es el mayor generador en todo el país (16 739 t/día) (Semarnat, 2020); lo que representa el 14 % de los RSU del territorio mexicano.

Por consiguiente, el manejo adecuado de los RSU y la evaluación de este no solo es fundamental para la preservación del entorno natural, sino también por el impacto social que puede tener. Según Torres y Fernández (2017), la participación comunitaria, la educación ambiental, la concienciación y la colaboración de la ciudadanía son cruciales para el éxito de los programas de manejo de residuos, ya que juegan un papel importante en la reducción de residuos y en la adopción de prácticas sostenibles. Además, como destaca Gómez (2021), un manejo eficiente de los RSU puede crear oportunidades económicas a través del reciclaje y la recuperación de materiales, creando empleos y promoviendo una economía circular.

Gómez y Díaz (2018) argumentan que el cumplimiento de las regulaciones propicia que las empresas y los gobiernos locales actúen de manera responsable y transparente, garantizando que los residuos se manejen de forma adecuada y segura. Martínez (2017) afirma que las políticas públicas en materia de RSU son cruciales para avanzar hacia un futuro más sostenible.

Por ello, en primera instancia, este artículo expone un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de los RSU en el Estado de México; en consecuencia, se evalúa el manejo de estos por medio de una serie de indicadores que dan continuidad y mejora la gestión de los RSU, considerando aspectos como la generación, la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final. Con el fin de identificar puntos clave que deben ser abordados de manera urgente, así como promover un manejo más eficiente y sostenible, que no solo se quede en un ejercicio académico, sino que sea una herramienta fundamental para la toma de decisiones informadas y la mejora continua de las prácticas de gestión de RSU.

Consideraciones básicas conceptuales

A continuación, se presenta un marco conceptual que explora los aspectos clave del manejo de los RSU.

Residuos sólidos urbanos

Un residuo se describe como cualquier material, producto u objeto que es retirado o eliminado de forma definitiva por aquellos que lo generaron, ya sea el productor, propietario o poseedor, debido a que lo percibe como carente de utilidad (Gaggero y Ordoñez, 2010; Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR], 2003), o bien, que es susceptible de ser almacenado en diversos tipos de recipientes. Así mismo, es considerado como todo aquello derivado de las actividades humanas y animales, generalmente en forma sólida o semisólida, que es eliminado por considerarse inútiles o prescindibles

(Tchobanoglous *et al.*, 1994). Esta categoría abarca la diversa masa de residuos de la sociedad, que incluye desde la acumulación más sencilla de residuos agrícolas, hasta los generados en los servicios. De acuerdo con la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (Organisation for Economic Co-operation and Development [OCDE], 2016), los RSU se definen como materiales generados durante las actividades productivas y de consumo que carecen de valor económico en su entorno original. Esto puede deberse a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento o a la ausencia de un mercado para los productos recuperados.

En México, la LGPGIR, en su artículo 5 fracción XXXIII, define los RSU como aquellos procedentes de las viviendas, comercios, instituciones, centros gubernamentales, barrido de calles; poda de jardines y parques públicos (LGPGIR, 2003); incluso residuos derivados de papel y oficinas hospitalarias siempre y cuando no sean residuos peligrosos o de manejo especial.

Clasificación de los RSU

En México, con base en la LGPGIR, los residuos se dividen en tres categorías según sus orígenes y características: a) residuos sólidos urbanos (RSU); b) residuos de manejo especial (RME); c) residuos peligrosos (RP). Cada tipo de residuo requiere técnicas específicas de manejo y disposición (Minghua *et al.*, 2009).

Los RSU son los que se generan en viviendas, establecimientos comerciales, mercados, instituciones, espacios públicos, áreas verdes, así como procesos de demolición y construcción sin características de RME o RP. Además, el artículo 18 de la LGPGIR establece la obligación de clasificar los residuos sólidos urbanos en dos tipos: orgánicos e inorgánicos (LGPGIR, 2003).

Generación de RSU

Se refiere a la producción de residuos procedentes de actividades domésticas, comerciales e industriales dentro de áreas urbanas. Este proceso es influenciado por factores como: (i) la urbanización y el crecimiento poblacional que intensifican la producción de RSU, debido a la concentración de actividades humanas en áreas urbanas (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012); (ii) los patrones de consumo, caracterizados por el aumento en la adquisición de bienes desechables y empaquetados que resultan en una mayor generación de residuos per cápita (Mazzanti y Zoboli, 2008); (iii) la eficiencia industrial, ya que procesos productivos menos eficientes tienden a generar más residuos tanto en la fase de manufactura como en la postconsumo (Berkhout y Hertin, 2004).

Recolección de RSU

Es un proceso que abarca: (i) la eficiencia operativa con la optimización de rutas y recursos para maximizar la recolección (Tchobanoglous y Kreith, 2002); (ii) la cobertura del servicio, asegurando que la mayoría de las zonas estén atendidas adecuadamente (Cointreau, 2006); (iii) la segregación en origen que facilita el reciclaje y la reducción de residuos mediante la clasificación inicial por los generadores (Guerrero *et al.*, 2013); (iv) la tecnología en vehículos de recolección y sistemas de datos que mejoran la eficiencia y trazabilidad del proceso (Henry *et al.*, 2006).

Disposición final de RSU

Implica (i) la selección de sitios adecuados, ya que minimiza los impactos ambientales y sociales (Johannessen y Boyer, 1999); (ii) el diseño de infraestructura que incluye celdas de relleno sanitario con barreras y sistemas de drenaje (Christensen *et al.*, 2001); (iii) la vigilancia de lixiviados, previene la contaminación hídrica (Kjeldsen *et al.*, 2002); (iv) el control de emisiones que captura y trata gases de efecto invernadero (Bogner y Matthews, 2003); (v) las tecnologías de tratamiento, como la incineración y el compostaje, reducen el volumen de residuos y recuperan energía y materiales (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

Manejo y gestión de los RSU

El manejo tradicional de los RSU, regularmente, implica solo tres fases: generación, recolección y vertido; sin embargo, no asegura la adecuada eliminación de los RSU, por lo que es necesaria una gestión que comprenda todas las actividades y medidas necesarias. Es decir, involucrar desde la generación, almacenamiento, barrido, recolección, traslado, procesamiento o tratamiento, aprovechamiento de materiales y disposición final (Semarnat y Agencia de Cooperación Técnica Alemana [GTZ], 2006), así como el monitoreo de materiales para minimizar los impactos negativos (Dorji, 2017). La gestión de los residuos debe ser acorde con el tipo de residuos y mediante una evaluación económica, social y ambientalmente sustentable.

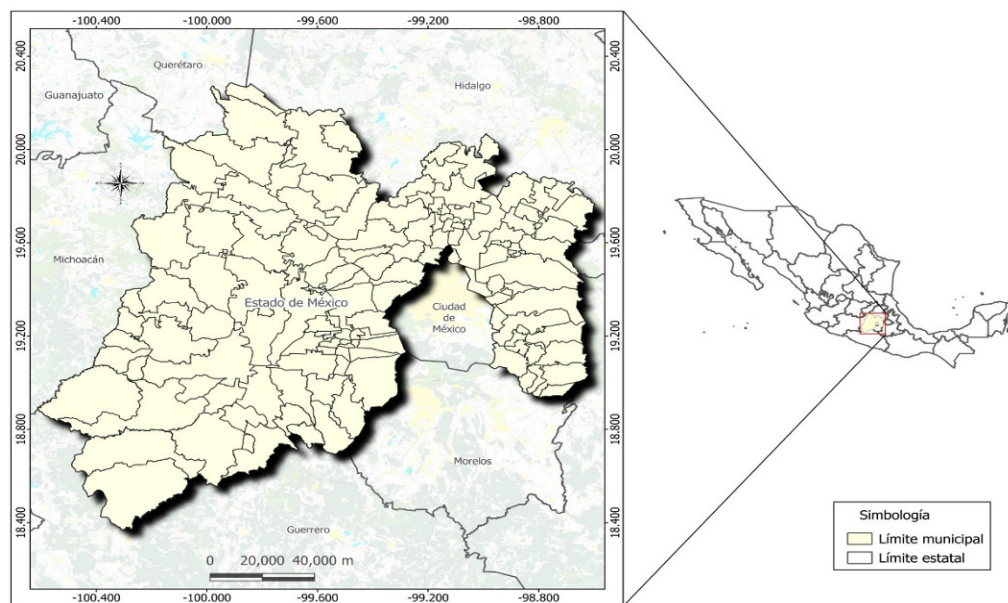
Indicadores

Los indicadores son variables que suministran datos comprensivos y sintéticos sobre un fenómeno, estos van más allá de su capacidad inherente de representación. La elección de la variable se rige por la perspectiva social desde la cual se examina el entorno, en ningún caso se dirige hacia la reproducción objetiva conceptual del medio o alguno de sus elementos (Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol], 2012). Paraguassú y Rojas (2002) recomiendan utilizar los siguientes indicadores para evaluar la gestión de RSU: (i) generales; (ii) cobertura; (iii) eficiencia; (iv) calidad; (v) costos.

Descripción del área de estudio

El Edomex se encuentra en la zona central de México (figura 1), en las coordenadas geográficas: norte $20^{\circ} 17' 00''$; sur $18^{\circ} 21' 15''$ de latitud norte; este $98^{\circ} 35' 30''$; oeste $100^{\circ} 37' 00''$ de longitud oeste (INEGI, 2024). Colinda al norte con Querétaro e Hidalgo; al oriente, Puebla y Tlaxcala; al sur, con Guerrero y Morelos; al poniente, Michoacán y Guerrero; además, envuelve a la Ciudad de México. Tiene una extensión territorial de 22 351 km² (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INNEC], 2020); lo que representa el 1.14 % de superficie respecto al total nacional (INEGI, 2015b). Lo integran 125 municipios que estructuran de forma diversa la entidad.

Figura 1. Localización del Estado de México



Fuente: elaborado con base en INEGI (2024)

Con respecto a la población, el Edomex ocupa el primer lugar a nivel nacional por su número de habitantes (INEGI, 2015b). En el año 2015 contaba con 16 187 608 habitantes; en 2019, 17 245 551 (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2020); de los cuales 8 820 924 son mujeres y 8 424 627 hombres (COESPO, 2019). En esta entidad habita el 13.5 % del total de la población del país (COESPO, 2020). Cabe mencionar que, el 87 % es población urbana, mientras que el 13 % se trata de población rural (INNEC, 2020). Se estima que para el año 2030 habrá una población de 20 167 433 habitantes. Al ser uno de los estados con mayor ocupación demográfica se deben adoptar medidas a corto y largo plazo en el sistema de gestión de RSU.

Agregando a lo anterior, la contribución porcentual del sector primario al PIB estatal es del 1 %, el sector secundario del 32 %, mientras que del sector terciario es del 66 % que incluye servicios y comercio (COESPO, 2020). Los residuos generados por este último sector, junto con los residuos domésticos, son llevados a los sitios de disposición final (SDF); situación muy diferente sucede en los sectores primarios y secundarios.

Cabe mencionar que el estado aporta al PIB Nacional el 9.3 % (INNEC, 2020), ubicándose en el segundo lugar después de la Ciudad de México. El municipio de Naucalpan ocupa el primer lugar con el 18.14 % del PIB; Tlalnepantla, 12 %; Toluca, 10.46 %; Ecatepec, 8.89 %; Cuautitlán Izcalli, 5.44 % (Moreno, 2019). Estos municipios suman el 55 % del PIB total del estado, aunado a que son los más urbanizados y con mayor población. Se recomienda que los municipios sean evaluados individualmente para el diseño de estrategias y políticas en cuestión de manejo de RSU.

Metodología

En esta investigación se aplicó una metodología mixta, realizada en tres fases: (i) Análisis documental: recopilación, organización y examinación de fuentes oficiales de diversas instituciones internacionales y nacionales, así mismo, conjuntamente, se caracteriza la zona de estudio. (ii) Elaboración del diagnóstico detallado de la gestión de los RSU en todas sus etapas: generación, recolección, traslado, procesamiento o tratamiento, aprovechamiento de materiales y disposición final. (iii) Diseño de un marco de evaluación basado en la identificación, clasificación y medición de indicadores de tipo general, de cobertura, eficiencia y desempeño en diferentes etapas del manejo de los RSU. En esta última fase se desarrollan las siguientes actividades: a) selección y agrupación de indicadores de gestión de RSU; b) análisis y cálculo de los indicadores; c) integración de resultados; d) comparación con valores de referencia basados en estándares internacionales, organismos nacionales entre otros. Estos se describen a continuación.

Evaluación de la gestión de RSU a través de indicadores

Selección y agrupación de indicadores

Una vez identificadas las etapas de atención prioritaria de la gestión de los RSU durante el diagnóstico, se definieron, para cada una de ellas, los indicadores que permitieran evaluar las características de estas fases. La descripción detallada de cada ecuación empleada en el cálculo de los indicadores se presenta en el apéndice 1.

Análisis y cálculo de los indicadores

En este rubro se analizaron cuatro tipos de indicadores: (i) generales, (ii) de cobertura, (iii) de eficiencia y (iv) de desempeño. Se explica en qué consiste cada uno.

Indicadores generales

Su objetivo es determinar los recursos necesarios, como maquinaria, equipo y personal, para satisfacer la infraestructura requerida en el proceso de gestión de residuos. En esta sección se considera el indicador de la generación per cápita (GPC) que representa la cantidad diaria de RSU producidos por cada persona. Se calcula tomando el promedio de la generación de residuos por habitante, expresado en kilogramos por habitante al día (ecuación 1). El cálculo de la GPC ayuda a evaluar el riesgo potencial asociado con una gestión inadecuada de los residuos (Semarnat, 2016). Además, también puede ser estimada por métodos indirectos mediante datos globales y sin discriminaciones cualitativas, como se observa en las ecuaciones 2 y 3, que establecen la proporción entre la cantidad total de residuos que se recogen y la población total atendida.

Indicadores de cobertura

Estos valores indican y determinan el porcentaje de sectores y los sitios que tiene el servicio de recolección, transferencia y disposición final.

- **Recolección.** Se determina dividiendo la cantidad de toneladas recolectadas de RSU entre las generadas diariamente. Con este indicador se identifica qué parte de la población tiene acceso al servicio de recolección. Para lograr una mayor eficacia es esencial analizarlo junto con factores como la frecuencia de recolección, la densidad poblacional y la accesibilidad (Sedesol, 1999). Además, se puede desglosar por sectores de la ciudad en relación con la densidad de población. Este indicador se calcula como el porcentaje de la cobertura de recolección respecto a los residuos generados, según se ve en la ecuación 4 (Sedesol, 1999), y el porcentaje de la cobertura con relación a la cantidad de habitantes atendidos, señalada en la ecuación 6 (Sedesol, 2012).
- **Transferencia.** Se obtiene como resultado del porcentaje de la cobertura de la transferencia con relación en la recolección, se observa en la ecuación 5 (Sedesol, 1999).
- **Disposición final.** Proporciona el porcentaje de residuos depositados en el lugar de disposición final, se calcula la cantidad que se destina al relleno sanitario con relación al total recopilado. Se usa para evaluar y cuantificar la eficacia y el rendimiento de los procesos de disposición final de la recolección (ecuación 8) (Sedesol, 2012).

Indicadores de eficiencia

Son medidas utilizadas para evaluar y cuantificar la eficacia y el rendimiento de los procesos. También, permite cuantificar los empleados necesarios para proporcionar el servicio o implementar el proceso en un área determinada. En esta sección se utilizaron dos indicadores: (i) del servicio de recolección (ecuación 9) y (ii) el servicio de disposición final (ecuación 10).

Indicador de desempeño

A través de este valor, se verifica el avance en el manejo ambientalmente correcto de los RSU. En este caso se emplea el indicador de manejo adecuado de RSU (ecuación 11).

Comparación con valores de referencia

Se diseñó un marco de referencia basado en criterios establecidos por organismos internacionales y nacionales, así como en autores expertos en la materia (cuadro 1), que permiten medir o comparar los datos obtenidos del diagnóstico. Incluye indicadores como la generación, cobertura, eficiencia y balance de masas. Estos valores facilitan la evaluación práctica del manejo de los RSU; a la vez, coadyuvan a tomar decisiones estratégicas y priorizar acciones para mejorar la gestión de residuos.

Cuadro 1. Comparativa de valores de referencia por institución y autor

Indicador	Organismos Internacionales			Organismo Nacionales			Autores					
	[1]	[2]		[3]		[4]	[5]			[6]		
						bueno regular malo				Desempeño bueno Desempeño regular Desempeño deficiente		
Generación	• Generación de RSU per cápita	0.85 kg/hab/día			0.825kg/hab			0.35-0.75 kg/hab/día	≤200	>200	>500	
Cobertura	• Recolección con relación a los RSU generados	90-95%	95-99%		75%				≥85%	<85	<60%	
	• Recolección con relación a los habitantes atendidos	0.922	90-100%			≥90%	<90	<70%	85 – 100%	≥90%	<90	<70%
	• Disposición final con relación a la generación	0.657			65-85%							
	• Disposición final con relación a la recolección		90%-100%	80%-90%	<80%			85- 100%				
	• RSU vertidos en rellenos sanitarios		90%-100%	80%-90%	<80%							
	• RSU separados y clasificados para reciclado		>25%	15%-25%	<15%							
Eficiencia	• Del servicio de recolección					≥90%			≥90%	<90 - ≥70%	<70%	
	• Del servicio de disposición final		90%-100%	80%-90%	<80%				≥90%	<90	<80%	
Balance de masas	• Entradas y salidas	>25%								≥80%		

[1] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2019).

[2] Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2016), ONU-Habitat (2010), Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2003).

[3] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2019) y Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol, 2012).

[4] Wilson *et al.* (2015).

[5] Paraguassú y Rojas (2002).

[6] Turcott Cervantes y Lobo, (2016).

Resultados

Manejo actual de residuos sólidos urbanos en el Estado de México

Generación

Según datos estimados en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, en el año 2019, el Estado de México generó 16 739 t/día de RSU (Semarnat, 2020), lo que significa el 13.9 % del total de todo el país, ocupando el primer lugar en generación a nivel nacional. Además, de acuerdo con la Evaluación estratégica del avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático, entre 2007 y 2016, la generación de este tipo de residuos aumentó un 13.2 % en la entidad mexiquense (INECC, 2018).

Composición de los RSU

De acuerdo con los muestreos realizados en el Estudio de valorización y aprovechamiento de RSU en el EDOMEX, realizado por el Centro Mario Molina (CMM), los componentes encontrados en los RSU son: 36 % orgánicos, 20.5 % valorizables (tereftalato de polietileno [PET], cartón, metal y vidrio transparente), 10.5 % potencialmente valorizables y 33.5 % de otro origen (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [SMAGEM] y CMM, 2015). Sin embargo, los componentes pueden variar entre los diferentes municipios debido a condiciones geográficas y socioeconómicas.

Como se observa, los residuos orgánicos son los de mayor generación, lo que representa una oportunidad para establecer un sistema en circuito de apoyo a la sustentabilidad, ya que pueden procesarse y originar beneficios en materia de suministro de energía, así como de reducir los efectos del cambio climático (Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA], 2017).

Peso volumétrico de los RSU

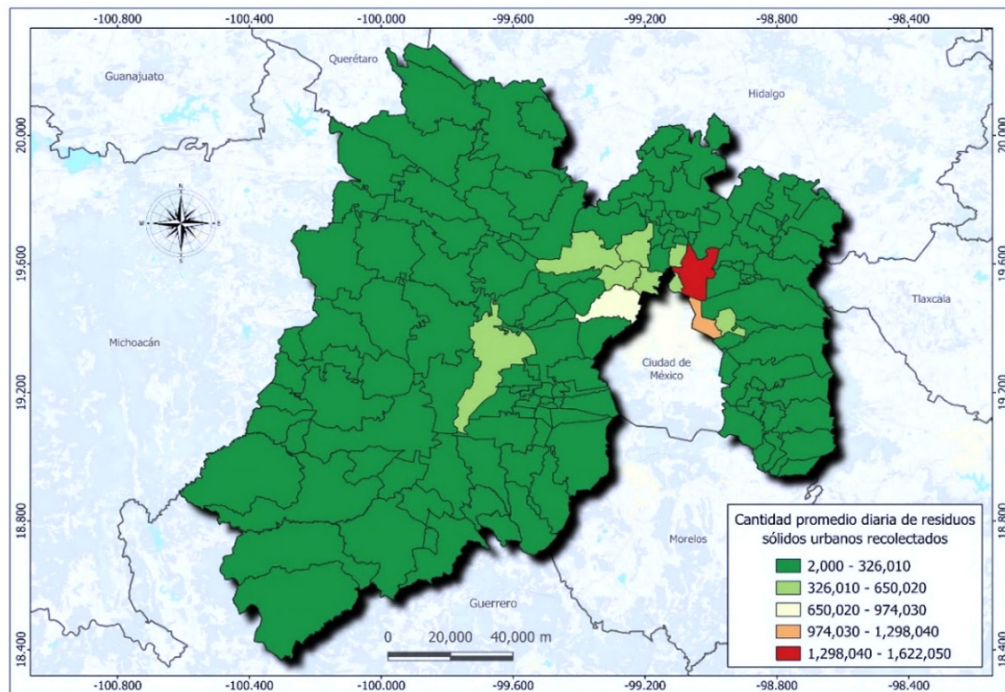
Con base en datos estimados por el CMM, el peso volumétrico promedio de los RSU en la entidad mexiquense es de 0.119 kg/m³ en casas habitación y 0.129 kg/m³ en vehículos recolectores (SMAGEM y CMM, 2015). Este dato permite diseñar y evaluar la capacidad de los contenedores requeridos para recibir los residuos y la operación de las unidades de recolección que se requieren para la gestión integral de estos.

Recolección

En el Estado de México se recolectan en promedio 11 955 t/día de RSU (INEGI, 2021) mediante los métodos de pesaje, vehículos/capacidad/viajes y otro tipo. Los municipios donde se recolecta la mayor cantidad de residuos son Ecatepec de Morelos con 13.6 %; Nezahualcóyotl, 10 %; Naucalpan de Juárez,

6.7 %; Chimalhuacán y Tlalnepantla de Baz, 5.4 % cada uno (figura 2). Mientras que los municipios con menor recolección son: San Simón de Guerrero, 2; Tonalitla, 2.3; Papalotla, 2.5; Nopaltepec, 2.8; Ixtapan del Oro y Sultepec 3 ton/día, respectivamente. En conjunto representan menos del 2 % del total de la entidad.

Figura 2. Recolección de RSU en Estado de México



Fuente: Elaborado con base en INEGI (2021).

De las 11 955 t/días recolectadas en la entidad, 11 580.6 se recogen de manera no selectiva, tan solo 374.4 t/día son seleccionadas. De estos últimos, el 85 % se realiza por combinación de esquemas; 10.5 %, con rutas diferenciadas; 4.2 % recolección en días diferenciados; el 0.2 % bajo otros esquemas.

Prestadores del servicio de recolección

También llamados gestores, son las personas autorizadas para el servicio de una o más de las actividades de manejo integral de residuos (LGPGIR, 2003). En México, generalmente la prestación del servicio de recolección está dado a través de cuatro regímenes de contratación. Según datos del INEGI (2021), en el EDOMEX existen 216 prestadores de servicios en el rubro de la recolección; 117 son de tipo público (54 %), 77 privados y 22 de carácter social.

El municipio Melchor Ocampo es el que tiene más prestadores de servicio privado (32); Chimalhuacán, Tecámac y Tultitlán son el mayor número de prestadores del servicio de recolección social.

Sistemas de recolección

Según el INEGI (2021), la recolección es realizada a través de tres formas: (i) casa por casa; (ii) en un punto de recolección establecido; y (iii) sistema de contenedores. En promedio se recogen al día 9 659.8 t por medio del sistema casa por casa (81 %); en un punto de recolección establecido 1 872.59 t/día (15.7 %); por el sistema de contenedores se recogen 422.27 t/día (3.5 % aproximadamente).

Parque vehicular de recolección

En el Edomex se tiene contabilizado en total 2 175 vehículos recolectores en operación, de los cuales 1 285 son vehículos con compactador¹, 760 vehículos con caja abierta² y 130 de otro tipo³. Naucalpan de Juárez y Toluca son los municipios con más parque vehicular de tipo compactador (162 y 118, respectivamente); Ixtapaluca tiene el mayor número de vehículos con caja abierta (91 unidades); finalmente, la localidad con mayor cifra de vehículos de otro tipo es Tlalnepantla de Baz con 27 unidades inventariadas.

Con respecto a la antigüedad de los vehículos en operación, se registran 353 unidades anteriores a 1996; 186 vehículos pertenecientes al periodo 1996-2000; de 2001 a 2005, se tienen 339 unidades; existen 381 vehículos entre 2006 y 2010; del periodo 2011-2015 se cuenta con 320; posteriores al año 2016, solo hay 471 unidades; existen 125 unidades de los que no se tiene el dato del año del vehículo.

Para el parque vehicular de recolección se usan diferentes combustibles. Se encontró que, del total de las unidades recolectoras, 1 517 vehículos utilizan diesel, 605 camiones usan gasolina, 50 emplean gas. No se encontró registro de vehículos que utilicen biocombustible o electricidad. Naucalpan y Toluca son los municipios con mayor número de vehículos que utilizan diesel y gasolina. Sin embargo, el Programa de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) relaciona el tema de los RSU con el cambio climático que se vive hoy en día, revelando que, en 2019 se generaron aproximadamente 8 000 giga gramos de bióxido de carbono equivalente (Gg de CO₂e) provenientes de RSU del Estado de México y 2 000 Gg de CO₂e de residuos originados en la Ciudad de México (INECC, 2022).

Personal ocupado en la prestación del servicio de recolección

De acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México (INEGI, 2021), existen 11 012 empleados en el servicio de recolección, de los cuales el 88 % son varones, solo el 12 % son mujeres. Cabe destacar que, del total de trabajadores, el 84 % son técnicos

¹ Se refiere a vehículos del tipo cilíndrico con compactador, compactador con separación, compactador con carga lateral, compactador con carga delantera, compactador con carga trasera, mini compactador de carga lateral, octagonal con compactador y otro (con compactador).

² Incluye camión de volteo, camioneta o pick up, camioneta de redilas y camioneta de volteo.

³ Incluye barredoras, grúas, trascabos, entre otros.

y operativos varones, en tanto que el 10 % son mujeres; 2 % son administrativos-contables femeninos y 1 % masculino. En el caso de gerentes o directivos, el 2 % son varones y el resto, mujeres.

El personal en la prestación del servicio de recolección está contratado según seis regímenes. El 52 % son empleados de base o sindicalizados; 18 % son de confianza; 7 %, trabajadores eventuales, 1.4 %, bajo honorarios y 21 % corresponden a otro tipo de régimen (INEGI, 2021).

Centros de acopio

Existen siete centros de acopio distribuidos en cuatro municipios; en ninguno de ellos se registra retribución a cambio de materiales (INEGI, 2021). En estos sitios se reciben aproximadamente 1 517 kg/día en promedio, de los cuales 6 kg son de vidrio; 4 kg, otros plásticos; 4 kg son papel y cartón; 3 kg, PET; 1 kg, pilas y baterías; 2 kg de eléctricos y electrónicos; 3 kg de aluminio. Se registra que 1 369 kg corresponden a otros⁴ y 125 kg de llantas (INEGI, 2021), no hay inventario de materiales como fierro, lámina, acero, cobre, bronce y plomo. En el cuadro 2 se muestra una comparación de la cantidad de materiales valorizables captados en los centros de acopio en el periodo de 2010 a 2020. Se observa una disminución considerable con el paso del tiempo, esto es a causa de la separación inadecuada desde el origen, falta de registros en los centros de acopio, así como de incentivos en la población para llevar sus residuos valorizables a un sitio de acopio, entre otros.

Cuadro 2. Materiales valorizables en el Estado de México durante el periodo 2010-2020

Materiales valorizables (kg)	2010	2012	2014	2017	2019	2020	Promedio
Papel y cartón	6,773	630	516	1,513	110	4	1,591
PET	5,720	951	797	558	59	3	1,348
Aluminio	2,945	550	37	1	2	3	590
Cobre, bronce y plomo	1,603	150	20	0	1	0	296
Fierro, lamina y acero	5,606	1,718	611	220	2	0	1,360
Vidrio	4,279	953	1,600	1,637	1	6	1,413
Plástico	2,358	850	3,670	1,519	21	4	1,404
Otros	395	3,805	70	8	760	1,369	1,068
Centros de acopio	43	19	23	16	17	7	22

Fuente: elaborado con base en INEGI (2010; 2012; 2015a; 2017; 2019; 2021)

⁴ Este tipo de material corresponde a llantas y aceites.

Tratamiento

De los 125 municipios que integran la entidad mexiquense, solo cuatro (Atla-comulco, Nezahualcóyotl, Tlatlaya y Valle de Bravo) envían sus RSU a alguna de las siete plantas de tratamiento existentes. Mientras que en el caso de Texcoco y Valle de Chalco Solidaridad cada uno cuenta con una planta de tratamiento, sin embargo, no envían sus residuos para tratarlos. Todos los centros de procesamiento mencionados se encuentran bajo un régimen de gestión público.

Del total de las plantas, tres realizan separación de RSU, un centro lleva a cabo trituración, dos efectúan compactación, cinco hacen composteo y solo uno tiene digestión anaerobia (INEGI, 2021).

En promedio, cada día se envían 261 toneladas a estas plantas, de las que el 32 % son materiales recuperados en estos sitios. Entre estos elementos se encuentran los siguientes: (i) papel y cartón (2.6); (ii) PET (0.715); (iii) otros plásticos (0.583); (iv) aluminio (0.134); (v) fierro, lámina y acero (0.449); (vi) cobre, bronce y plomo (0.004); (vii) vidrio (2.24); (viii) materia orgánica (74.4); (ix) otro material (1.95) (t/día respectivamente).

En las plantas de tratamiento laboran 145 personas, de las cuales tres pertenecen al área de gerencia y dirección, siete empleados son administrativos o contables, 135 son técnicos y operativos. Al igual que en otras etapas del manejo de RSU, en esta también es notable la predominancia de empleados del sexo masculino (76 %) sobre el femenino (24 %). Principalmente, las mujeres trabajan en el área técnica operativa. Del total de los empleados, el 42 % es personal eventual, el 33 % labora bajo otro régimen, el 17 % es de base o sindicalizado y el 7.6 % es personal de confianza.

Transferencia

En el estado, 18 municipios envían sus RSU a las 16 estaciones de transferencia existentes dentro de la entidad. Trece se encuentran bajo un régimen público y tres son gestionados por el sector privado. En México, los centros de transferencia desempeñan diversas funciones⁵ además de envasar y transportar los residuos. Bajo este escenario, el Edomex tiene ocho estaciones que almacenan temporalmente RSU: seis estaciones realizan trasvase, cuatro centros seleccionan o separan, dos estaciones compactan y un centro tritura.

En estos centros laboran 78 personas, de las cuales el 48 % tienen puesto de confianza; 35 % son de base o sindicalizados; 8 % están bajo contratación eventual y el 9 % pertenecen a otro régimen de contratación. Del total del personal, el 88 % son hombres, mientras que el 12 % son mujeres.

⁵ Actividades que consisten en depositar temporalmente y trasvasar; también se realizan otras funciones ya sea de manera simultánea o separada, por lo que es posible que el total de los registros sea mayor a la suma de estaciones de transferencia.

Disposición final

El Edomex registra 67 SDF donde se depositan aproximadamente 10 873.7 t/día (Semarnat, 2020); además, como señala la Evaluación estratégica del avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático, la Ciudad de México deposita los RSU en cuatro rellenos sanitarios ubicados en la entidad, ingresando aproximadamente 8 542 t/día (INECC, 2018) adicionales a la cantidad antes mencionada.

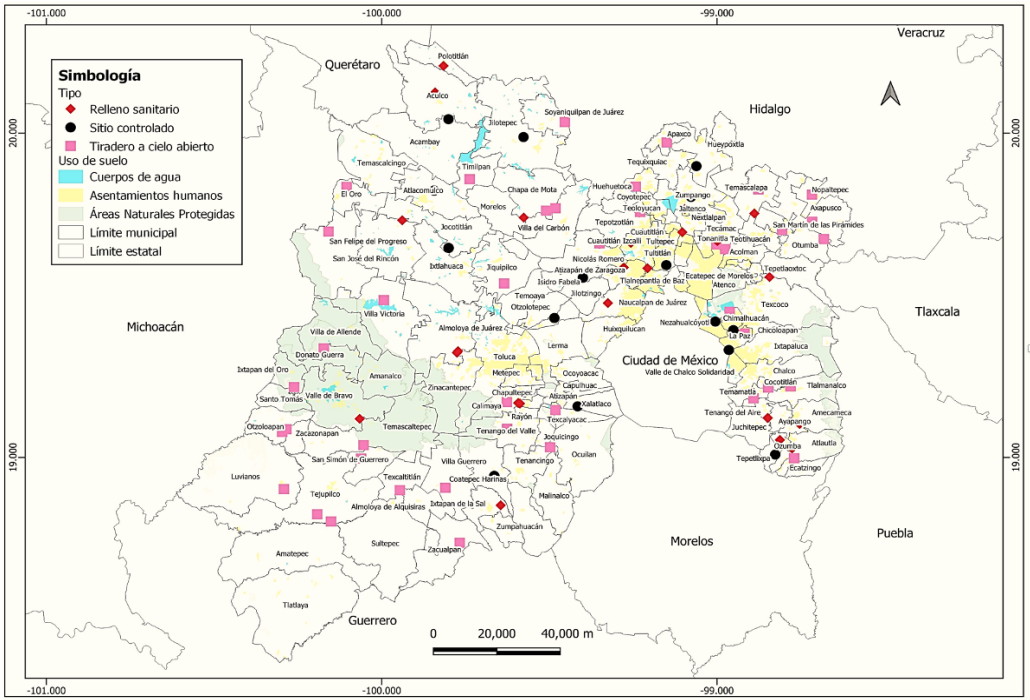
En el primer semestre del año 2023, la Ciudad de México envió aproximadamente 10 000 t/día, por lo que el Estado de México recibe aproximadamente 20 900 t/día en sus diferentes SDF.

El tipo de propiedad de los predios donde se ubican los SDF en el Edomex son mayormente de tipo municipal (49 %), seguidos por los de tipo privado (34 %); con menor presencia los de tipo social (7 %), de otro tipo (7.4 %) y de tipo estatal (1.5 %). De los 67 SDF, 52 operan bajo una gestión pública y 15 son manejados por el sector privado.

Con base en el tipo de infraestructura, tan solo 19 SDF tienen una disposición adecuada de los residuos, mientras que los 52 restantes vierten de manera inadecuada los RSU.

Por otra parte, como señalan los *Programas de Protección Civil para Basureros* (Coordinación General de Protección Civil, 2012; 2015; 2017; 2019), los RSU provenientes de diversos municipios son vertidos en los SDF (figura 3) ya sean rellenos sanitarios, sitios controlados o no controlados en toda la entidad mexiquense.

Figura 3. Tipos de sitios de disposición final (con base en su infraestructura) en el Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en la Coordinación General de Protección Civil (2012; 2015; 2017; 2019).

El ingreso de RSU a los SDF, en el periodo del 2012 al 2019, ha sido ascendente en los tres tipos de confinamiento (cuadro 3), sin embargo, para el año 2021 no se encontró registro de disposición en SDF en el Programa de Protección Civil.

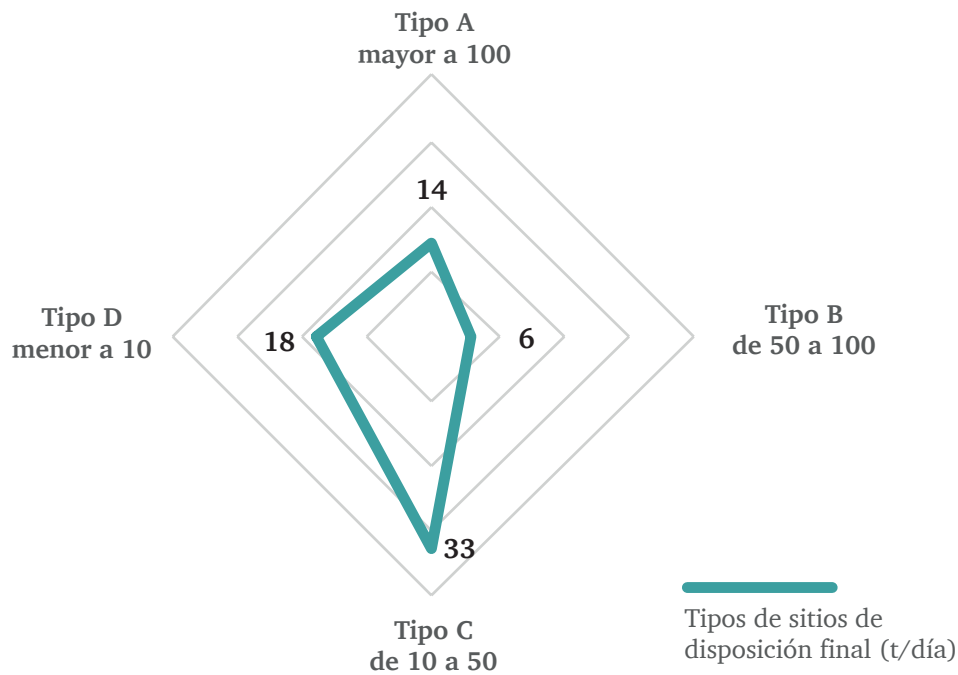
Cuadro 3. Residuos sólidos urbanos enviados a sitios de disposición final

Municipios	2012		2015		2017		2019	
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]
Con relleno sanitario	13	4,116	18	10,998	16	8,791	SD*	10,550
Con sitios de disposición final controlados	28	1,872	24	1,416	25	5,007	25	7,443
Con sitios de disposición final no controlados	38	1,002	35	2,428	35	2,597	37	2,657
Total	128	12,296	126	14,842	76	16,395	125	20,650
			[1] Número de municipios		[2] Toneladas/día		[*] Sin dato	

Fuente: elaboración propia con base en la Coordinación General de Protección Civil (2012; 2015; 2017; 2019).

Teniendo en cuenta la normatividad vigente, en México existen cuatro tipos⁶ de vertederos de acuerdo con su capacidad de confinamiento: (i) Tipo A, los de mayor capacidad, ingresan igual o mayor a 100 t/día de RSU; (ii) Tipo B recibe entre 50 a 100 t/día; (iii) Tipo C, disponen entre 10 y 50 t/día; (iv) Tipo D, los de menor capacidad, reciben menos de 10 toneladas al día (Semarnat, 2020). Como se muestra en la figura 4, en el Edomex hay 14 SDF de tipo A, 6 vertederos de tipo B, 33 SDF de tipo C y 18 sitios de confinamiento de tipo D. Se puede identificar que en la entidad existen los cuatro tipos de vertederos, además, 46.4 % de ellos reciben entre 10 y 50 t/día.

Figura 4. Sitios de disposición final de acuerdo con su capacidad con base en el diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos



Fuente: elaboración propia con base en Semarnat (2020)

Con base en la NOM-083-Semarnat-2003, los SDF en México deben de tener los siguientes elementos para su operación: báscula, captura de lixiviados, captura de biogás, geomembrana y cerca. También, se contemplan los procesos realizados en los SDF como el control de acceso, control de la admisión de los RSU, compactación y cubrimiento con tierra y monitoreo sobre aspectos de higiene y seguridad (Semarnat, 2004).

⁶ Tipología basada en la NOM-083-Semarnat-2003.

En la entidad mexiquense, los métodos más utilizados para realizar la disposición en los SDF son el mixto (66 %), seguido del sistema de plano inclinado (17 %); después el plano horizontal (9 %), por último, a través de métodos no especificados (7.5 %) por los encargados de los SDF. Además, estos sitios cuentan con un inventario de 305 vehículos, de los cuales 40 son tipo retroexcavadora, 36 excavadoras, 17 moto-conformadora, 15 cargadores con ruedas, 50 tractores de cadena, 24 compactadores, 21 camiones tipo pipa, 66 camiones de volteo y 36 de otro tipo.

Con respecto al sistema de impermeabilización, 39 % de los SDF tienen geomembrana; 21 %, arcilla compactada; 6 %, suelo natural con sales minerales; mientras que 34 % no tiene ningún tipo de impermeabilización. En referencia a la captación y concentración de lixiviados, 52 % no tiene ningún sistema; 36 % tiene lagunas de estabilización; 31 % dispone de cárcamos; el 1 % otro tipo de captación. El 58 % de los sitios no lleva a cabo extracción de lixiviados; en tanto que, el 32 % lo hace a través de bombeo y el 9 % por gravedad. Con relación al tratamiento de lixiviados, 54 % de los SDF no lleva a cabo ningún tipo de tratamiento; 34 % se hace a través de evaporación; 31 %, por recirculación; 3 %, con lodos activados y lagunas aireadas, adsorción y oxidación química respectivamente; 1.5 %, a través de otro tipo. El 52 % no cuentan con un sistema de control de biogás; el 28 % lo realiza mediante pozos de desfogue o de venteo (sin quema) y el 19 % lo hace por quema con pozos individuales.

Las características constructivas⁷ con las que cuentan los SDF en el EDOMEX son las siguientes: 27 poseen drenaje pluvial; 19 tienen áreas de emergencia; 58 cuentan con caminos de acceso; 44 tienen caminos interiores; 35 refieren cerca o malla perimetral; 38 presentan casetas de vigilancia y control de acceso; 22 integran celdas de confinamiento; 16 tienen básculas en operación; 19 sitios registran uso de energía eléctrica; 13 usan agua potable; 15 tienen drenaje sanitario; 23 tienen oficinas; 8 disponen de consultorio médico o enfermería y 8 sitios no cuentan con ninguno de los rasgos antes mencionados. Los SDF con más características constructivas se ubican en Ixtapaluca y Tepetzotlán.

Con respecto a los procesos llevados a cabo en los confinamientos, 48 sitios controlan el acceso a vehículos y personas; 23 registran las empresas que depositan allí sus residuos; 33 registran tipo y cantidad de residuos ingresados; 53 compactan y cubren con tierra los RSU; 19 tienen monitoreo ambiental de biogás; 20 realizan monitoreo ambiental de lixiviados; 14 monitorean acuíferos; 15 cuentan con dispositivos de seguridad y planes de contingencia; 14 monitorean polvo, materiales ligeros, ruido, olores y fauna nociva; 3 queman de manera controlada los RSU y 7 sitios no llevan cabo ningún proceso. Ixtapaluca y Tepetzotlán son los municipios con mayor número de procesos de este tipo. Con relación a actividades de remediación, solo en seis municipios se han realizado tratamientos en SDF, tal

⁷ El número de características constructivas puede ser mayor que la cantidad de SDF, debido a que un sitio puede tener más de una característica.

es el caso del municipio de Atlautla con tratamiento de tipo biológico; Ecatzingo, Villa Victoria y Tonanitla realizan tratamiento físico; mientras que Joquicingo y Timilpan optan por otro tipo de tratamiento.

Planes y programas

Con respecto a los instrumentos desarrollados para la prevención y manejo integral de los RSU en el Estado de México, se registran 20 programas orientados a la gestión integral de los residuos; catorce son de orden municipal, cinco estatales y uno federal.

Financiamiento

Se encontraron registros de los recursos financieros, provenientes del presupuesto federal destinados al manejo de los RSU en el Edomex, a partir del año 2013 hasta el 2018, a través de Programas de Prevención y Manejo Integral de Residuos y el Programa de Fortalecimiento Ambiental. De acuerdo con información obtenida del *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* (Semarnat, 2020) se entregaron subsidios para 19 proyectos de la entidad mexiquense. Durante el periodo 2013-2016, el presupuesto federal para el manejo de los RSU fue de 185 828 414.00 pesos (cuadro 4), en cambio, no se proporcionaron recursos económicos en los dos últimos años registrados.

Cuadro 4. Recursos del presupuesto federal para financiar proyectos sobre gestión de RSU (pesos)

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Programas	8	3	7	1	0	0	19
Presupuesto	89,427,000	12,000,000	49,279,000	35,122,414	0	0	185,828,414

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2018).

Sin embargo, en el periodo de 2015 a 2019, con la finalidad de desarrollar los procedimientos necesarios para cumplir con las obligaciones señaladas en la Ley General de Prevención y Manejo Integral de Residuos en materia de Residuos de Manejo Especial (RME) y otros, se destinaron recursos por \$113 442 236 pesos bajo los rubros de participación presupuestal provenientes de la Secretaría del Medio Ambiente de la Distribución del Presupuesto por Proyecto. Manejo integral de residuos sólidos del Estado de México.

Finalmente, en el cuadro 5 se desarrollan las cifras clave obtenidas durante el diagnóstico de la gestión de los RSU. Estos datos son esenciales porque proporcionan información cuantitativa para evaluar los diferentes aspectos del sistema de gestión a través de los indicadores antes señalados (ver apéndice 1).

Cuadro 5. Resumen de la gestión de RSU en el Estado de México

Etapa de la gestión de los RSU	Cantidad	Unidad de medida
Generación	16,739	T/día
Recolección	11,954.6	
Recolección No selectiva	11,580.6	
Recolección Selectiva	374.43	
Residuos Orgánicos	6,026.04	
Residuos Inorgánicos	10,712	
Vehículos recolectores en operación	2,175	Unidad
Centros de Acopio	7	
Plantas de tratamiento	7	
Estaciones de transferencia	16	
Residuos enviados a planta de tratamiento	261	T/día
Materiales recuperados en planta de tratamiento	83	
Sitios de disposición final	67	Unidad
Residuos ingresados a sitios de disposición final	10,873	

Fuente: elaboración propia

Evaluación de la gestión de RSU con indicadores

Como resultado del cálculo de las ecuaciones, se encontró lo siguiente: (i) de los indicadores generales se obtuvo que la generación de RSU per cápita es de 0.97 kg/hab/día. La recolección con relación a los residuos generados es del 71 %. La transferencia con referencia a la recolección es del 21 %. (ii) Acerca de los indicadores de cobertura, la recolección con relación a la cantidad de habitantes es del 79 %, la disposición final con relación a la generación es del 65 %; la disposición final con relación a la recolección es del 91 %. (iii) Los indicadores de eficiencia señalan que el servicio de recolección es de 0.6 %, mientras que la disposición final es del 0.3 %. Finalmente, los indicadores de desempeño muestran que el manejo adecuado de los RSU fue del 67 % (cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados de la evaluación de la gestión de los RSU (con base en indicadores)

Clasificación	Indicador	Resultado
General	Generación de residuos sólidos per cápita	0.970 kg/hab/día
	Generación de residuos per cápita con relación a los residuos recolectados	0.693 kg/hab/día
	Generación de residuos per cápita con relación a los residuos vertidos	0.016 kg /hab/día
Cobertura	De recolección con relación a los residuos generados	71%
	De la transferencia con relación a la recolección	21%
	De recolección con relación a la cantidad de habitantes atendidos	79%
	De la disposición final con relación a la generación	65%
	De la disposición final con relación a la recolección	91%
Eficiencia	Del servicio de recolección	0.6%
	Del servicio de disposición final	0.3%
Desempeño	Manejo adecuado (entradas y salidas).	67%

Fuente: elaboración propia

Indicadores

Generales

Según los cálculos realizados en la ecuación 1, se encontró que la cantidad de generación per cápita de RSU del Estado de México es de 0.97 kg/per cápita/día, esto es mayor en comparación con la cifra generada a nivel nacional estimada en 0.94 kg/per cápita/día (Semarnat, 2020). Además, se observa que es mayor a los 0.85 kg/per cápita/día recomendado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2019). En el mismo sentido, Paraguassú *et al.* (2002) indican que debería ser entre 0.35 y 0.75 kg /per cápita/día, mientras que la Semarnat (2019) y Sedesol (2012) señalan el 0.825.

Se determinó que la generación per cápita de RSU en el Edomex se ubica arriba de los rangos recomendados por la literatura (ecuaciones 1, 2 y 3). Este indicador está directamente vinculado al crecimiento poblacional y la actividad económica de la región (Turcott Cervantes y Lobo, 2016). La generación per cápita debe interpretarse a la luz de la gran cantidad de personas afectadas y la concentración de la población en áreas urbanas.

Cobertura

De la ecuación 4 se tuvo como resultado que la cobertura del servicio de recolección es del 71 %, lo que significa que se encuentra por debajo del 75 % de lo recomendado (90-95%) por el PNUMA (2019) y de los valores de referencia señalados por la Semarnat (2019) y Sedesol (2012). Además, el porcentaje de recolección estatal es menor al porcentaje de cobertura calculado a nivel nacional, es decir, 12.2 % (Semarnat, 2020), lo que significa que 4 784 t/día no son recolectadas.

Con respecto a la transferencia, derivado de la ecuación 5, resultó que solo el 21 % de los RSU son transportados a vertederos, con base en las recomendaciones del BID (2016) y la OPS (2018), este servicio es incipiente y no logran satisfacer la demanda de los habitantes.

La recolección con relación a la cantidad de habitantes se calculó con la ecuación 6, el resultado fue del 79 %, por lo que se encuentra debajo de lo recomendado por organismos como el BID (2016), ONU-Hábitat (2010) y la OPS (2003); mientras que para autores como Wilson *et al.* (2002), Turkot Cervantes y Lobo (2016) significa un desempeño regular del servicio.

Los resultados de la ecuación 7, referente a la disposición final con relación a la generación, fue de 65 %, de acuerdo con los rangos estipulados por la Semarnat (2019). Este porcentaje se encuentra en el límite inferior aceptado. Esta información posibilita calcular la duración estimada de un vertedero respecto a la generación de residuos de uno o varios municipios.

De la disposición final con relación a la recolección, la ecuación 8 arrojó que se realiza en un 91 %. Este valor se encuentra en la categoría de aceptable de acuerdo con las cifras de referencia que recomienda el BID, ONU-Hábitat y la OPS.

Eficiencia

El servicio de recolección (ecuación 9) obtuvo el 0,06 %, este porcentaje se encuentra por debajo de los estándares recomendados, internacionales y nacionales.

El indicador del servicio de disposición final se calculó con la ecuación 10, resultando en 0.03 %, por lo que está por debajo de los valores de referencia establecidos por la literatura.

Desempeño

Como resultado de la ecuación 11, se identificó que el 67 % del manejo de los RSU en el EDOMEX es adecuado, lo que significa que se encuentra con un desempeño regular según lo señalado por el BID, ONU-Hábitat y la OPS, mientras que para Turkott Cervantes y Lobo (2016) representa un desempeño deficiente.

Conclusiones

Los resultados muestran que la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es inadecuada y deficiente, en algunos casos es escasa, ya que está por debajo de los estándares recomendados por organismos internacionales, presentando un desempeño bajo o regular. A continuación, se explican las principales causas de este fenómeno.

El Estado de México es el más poblado a nivel nacional, lo que convierte la gestión de los RSU en un desafío particularmente grande, debido a su alta densidad poblacional. Esta contribuye significativamente a la generación de residuos y subraya la importancia de una gestión eficiente y sostenible. Resalta la necesidad de ajustar y mejorar los sistemas de gestión de residuos para responder a la creciente demanda.

Adicionalmente, las áreas urbanas tienden a generar más residuos y presentar retos logísticos para la recolección y eliminación adecuada de los mismos. También, es importante destacar la diversidad de componentes presentes en los RSU del Estado de México y la necesidad de un enfoque personalizado para la gestión de residuos en cada municipio.

Por otra parte, la predominancia de residuos orgánicos en la composición general subraya la relevancia de implementar programas de compostaje y biodegradación para evitar que estos residuos terminen en vertederos. Además, la presencia de materiales valorizables (PET, cartón, metal y vidrio) ofrece oportunidades para promover la economía circular y el reciclaje en las distintas municipalidades. Estos materiales pueden ser recuperados y reutilizados, reduciendo así la demanda de recursos naturales y la contaminación.

Los municipios que contribuyen significativamente a la generación de RSU requieren atención especial en términos de planificación y recursos para la gestión de residuos. Esto incluye la implementación de programas de separación en la fuente, reciclaje, educación ambiental y fomento de la valorización de materiales reciclables, según las características de cada localidad.

La cantidad de RSU recolectados en el Estado de México ofrece una visión general de la magnitud del desafío de gestión de residuos; sin embargo, es necesario realizar un análisis regional que permita identificar retos y potencialidades. Además, es crucial contar con un sistema de recolección eficaz, ya que la generación per cápita de este tipo de residuos en la entidad mexiquense (0.97 kg por persona por día) supera tanto la media nacional como las pautas sugeridas por instituciones e investigadores internacionales. Este hallazgo subraya la urgencia de abordar la gestión de residuos, dado que está estrechamente ligado al crecimiento poblacional y a la actividad económica.

La identificación de municipios con menor recolección señala áreas que pueden requerir atención específica, lo que podría incluir mejoras en la infraes-

estructura, concientización comunitaria o la implementación de prácticas más sostenibles.

Es fundamental contar con el compromiso político de la administración pública, sensibilizar a la población a través de campañas educativas sobre el medio ambiente, así como brindar incentivos económicos a la comunidad para fomentar su participación en la construcción de una entidad más sostenible.

En conclusión, se destaca la necesidad de una gestión integral, regulada y coordinada de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México en sus tres niveles de gobierno, con énfasis en la adecuada disposición final, el cumplimiento normativo y la implementación de prácticas más sostenibles para reducir los impactos ambientales negativos.

Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT).

Referencias

- Al-Khatib, I. A., Monou, M., Abu Zahra, A. S. F., Shaheen, H. Q. y Kassinos, D. (2010). Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district–Palestine. *Journal of Environmental Management*. 91(5), 1131-1138.
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2016). *Guía metodológica programa de ciudades emergentes y sostenibles: tercera edición*. BID. <http://dx.doi.org/10.18235/0012702>
- Banco Mundial. (2020). *Solucionar la contaminación por plásticos*. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2022/07/01/unpacking-the-plastics-challenge>
- Berkhout, F. y Hertin, J. (2004). De-materializing and re-materializing: Digital technologies and the environment. *Futures*, 36(8), 903-920. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2004.01.003>
- Bogner, J. y Matthews, E. (2003). Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980-1996. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(2), 1065. <https://doi.org/10.1029/2002GB001913>
- Christensen, T. H., Cossu, R. y Stegmann, R. (Eds.). (2001). *Landfilling of waste: Barriers*. CRC Press.
- Cointreau, S. (2006, junio). Occupational and environmental health issues of solid waste management. *Urban Papers*, (33779). World Bank Group. <https://documents.worldbank.org/pt/publication/documents-reports/documentdetail/679351468143072645/occupational-and-environmental-health-issues-of-solid-waste-management-special-emphasis-on-middle-and-lower-income-countries>
- Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA]. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. Informe Sintético*. Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Consejo Estatal de Población [COESPO]. (2019). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050*. Secretaría General de Gobierno. <http://coespo.edomex.gob.mx/>
- Consejo Estatal de Población [COESPO]. (2020). *¿Cuántos somos? Variables demográficas básicas*. Secretaría General de Gobierno. https://coespo.edomex.gob.mx/cuantos_somos
- Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI]. (2020). *Proyecciones de población de México y las entidades federativas 1990-2030 de CONAPO*. https://sniiv.sedatu.gob.mx/Demanda/Poblacion_proyeccion
- Coordinación General de Protección Civil. (2012). *Programa de protección civil para basureros, 2012*. Gobierno del Estado de México. http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/715/1/images/EDOMEX_Programa_preventivo_basureros%20%202012.pdf

- Coordinación General de Protección Civil. (2015). *Programa de protección civil para basureros, 2015*. Gobierno del Estado de México.
- Coordinación General de Protección Civil. (2017). *Programa de protección civil para basureros, 2017*. Gobierno del Estado de México. <https://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programas%20de%20Prevencion/Programas%20pdf/PCC%20Basureros%202017.pdf>
- Coordinación General de Protección Civil. (2019). *Programa de protección civil para basureros, 2019*. Gobierno del Estado de México. <http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programas%20de%20Prevencion/Programas%20pdf/programas2019/PE%20Basureros%202019.pdf>
- Dorji, N. (2017). *Understanding of Urban Waste Management. A case study on waste management in Thimphu city*. Reserch Gate. https://www.researchgate.net/publication/321145864_Understanding_of_Urban_Waste_Management
- Gaggero, E. y Ordoñez, M. (2010). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos*. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible; DGCyE.
- García, A. y Martínez, L. (2020). *Impactos ambientales de la gestión de residuos urbanos*. Editorial Medio Ambiente.
- Gómez, P. (2021). Economía circular y gestión de residuos: Beneficios y desafíos. *Economía Verde*, 32(1), 45-60.
- Gómez, P. y Díaz, E. (2018). Responsabilidad y transparencia en la gestión de residuos. *Gestión y Política Pública*, 12(3), 134-147.
- Guerrero, L. A., Maas, G. y Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220-232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Henry, R. K., Yongsheng, Z. y Jun, D. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. *Waste Management*, 26(1), 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.03.007>
- Hernández, R. (2018). Salud pública y manejo de residuos: Un enfoque integral. *Salud y Medio Ambiente*, 19(2), 78-90.
- Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012, marzo). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. *Urban development series knowledge papers*, 15. World Bank Group. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/302341468126264791/what-a-waste-a-global-review-of-solid-waste-management>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2018). *Evaluación estratégica del avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/evaluacion-estrategica-del-avance-subnacional-de-la-politica-nacional-de-cambio-climatico>

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INNEC]. (2020). *Información sobre la implementación de la política climática subnacional*. https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/IG/IG_15.html
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INNEC]. (2022). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático*. <https://ieecc.edomex.gob.mx/programa-accion-cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2011). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2011/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2013/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2015a). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2015/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2015b). *Encuesta intercensal 2015*. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2017/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Módulo 6. Residuos sólidos urbanos*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/#tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024) *México en cifras. México*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=15#collapse-Mapas>
- Johannessen, L. M. y Boyer, G. (1999, junio). Observations of solid waste landfills in developing countries: Africa, Asia, and Latin America. *Urban and Local Government working paper series*, (3). World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/393531468741627673/Observations-of-solid-waste-landfills-in-developing-countries-Africa-Asia-and-Latin-America>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A. y Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review.

- Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297-336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, [LGPGIR]. Diario Oficial de la Federación [DOF] 8 de octubre de 2003, (México).
- Lizama Pérez, F., Piñar Álvarez, M. A., Ortega Argueta, A., Mesa Jurado, M. A., Sandoval Caraveo, M. C. y Carrera Hernández, A. P. (2018). Implementation and performance of Agenda 21 for local governments in Mexico. *Regions Cohesion*, 8(3). 15-44. <https://doi.org/10.3167/reco.2018.080303>
- Martínez, R. (2017). Desarrollo sostenible y gestión de residuos. *Sostenibilidad Global*, 7(4), 215-230.
- Mazzanti, M. y Zoboli, R. (2008). Waste generation, waste disposal and policy effectiveness: Evidence on decoupling from the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(10), 1221-1234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.003>
- Minghua, Z., Fan, X., Rovetta, A., Qichang, H., Vicentini, F., Bingkai, L., Giusti, A. y Yi, L. (2009). Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Waste Management*, 29(3), 1227-1233. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.016>
- Moreno, A. (2019, 28 de enero). Cinco municipios concentran 55 % de PIB de Edomex: CCEM. *Milenio*. <https://www.milenio.com/negocios/municipios-concentran-55-pib-edomex-ccem>
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OCDE]. (2016). *Factbook 2015-2016: Economic, Environmental and Social Statistics*. OCDE. <https://doi.org/10.1787/factbook-2015-en>.
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2003). *Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales. Informe Analítico de Chile. Evaluación 2002*. Organización Mundial de la Salud.
- ONU-Habitat. (2010). *Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities 2010*. ONU-Habitat. <https://unhabitat.org/solid-waste-management-in-the-worlds-cities-water-and-sanitation-in-the-worlds-cities-2010-2>
- Paraguassú, F. A. y Rojas, C. R. (2002). *Indicadores para el gerenciamiento del servicio de limpieza pública* (2ª ed.). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2019). *Perspectivas del medio ambiente mundial 6*. UNEP. <https://www.unep.org/es/resources/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-6>
- Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol]. (1999). *Sistema de evaluación y control*. Secretaría de Desarrollo Social.

- Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol]. (2012). *Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales*. <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2004). *NOM-083-SE-MARNAT- 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*. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Semarnat. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. 2018. Semarnat.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Semarnat. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] y Agencia de Cooperación Técnica Alemana [GTZ]. (2006). *Guía para la Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2021/07/Guia_PMPGIRSU_2006.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [SMAGEM] y Centro Mario Molina. (2015). *Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos en el Estado de México*. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.
- Sobrino, J., Garrocho, C., Graizbord, B., Brambila, C. y Aguilar, A. G. (Coords.). (2015). *Ciudades sostenibles en México: una propuesta conceptual y operativa*. UNFPA México.
- Tchobanoglous, G. y Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management*. McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. A. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. (J. I. Tejero, J. L. Gil, y M. Szanto, Trad.; 1ªed., vol. I). McGraw-Hill.
- Torres, J. y Fernández, E. (2017). Educación ambiental y participación comunitaria en la gestión de residuos. *Revista de Ciencias Sociales*, 14(4), 200-215.

- Turcott Cervantes, D. E. y Lobo, A. (2016). *Cuaderno de indicadores para la mejora de servicios de gestión de residuos municipales. Versión preliminar*. Grupo de Ingeniería Ambiental; Universidad de Cantabria.
- Wilson, D. C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J. y Oelz, B. (2015). 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste Management*, 35, 329-342. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.006>
- Wojtarowski Leal, A., Piñar Álvarez, M. A. y Marín Muñiz, J. L. (2019). Actitudes de la ciudadanía hacia la separación de residuos en Coatepec, Veracruz, México. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (43), 159-186. <https://doi.org/10.5944/empiria.43.2019.24303>

Apéndice

Apéndice 1. Indicadores para evaluar la gestión de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México

Indicador	Ecuación	Unidad
General	Generación de residuos sólidos per cápita (Ec. 1) $RPC_{jt} = \frac{RG_{jt}}{PT_{jt}}$	kg/hab/día RPC_{jt}: Toneladas de residuos sólidos generados per cápita, en la unidad espacial j, y el tiempo t correspondiente. RG_{jt}: Total de toneladas generadas de residuos sólidos; en la unidad espacial j, y el tiempo t correspondiente. PT_{jt}: Población total; en la unidad espacial j, y el tiempo t correspondiente
Generación de residuos per cápita con relación a los residuos recolectados	(Ec. 2) $PPC = \frac{C_{tr} \left(\frac{kg}{día} \right)}{P_{ta} \left(\frac{hab}{día} \right)}$	kg/hab/día PPC: Generación de residuos per cápita C_{tr}: Cantidad total de residuos recolectados (kg/día) P_{ta}: Población total atendida (hab/día)
Generación de residuos per cápita con relación a los residuos vertidos	(Ec. 3) $PPC = \frac{C_{trv} \left(\frac{kg}{día} \right)}{P_{ta} \left(\frac{hab}{día} \right)}$	kg/hab/día PPC= Generación de residuos per cápita C_{trv} = Cantidad total de residuos dispuestos en vertederos (kg/día) P_{ta} =Población total atendida (hab/día)
Cobertura	De recolección con relación a los residuos generados (Ec. 4) $Cr = \frac{T_{tr}}{T_{tg}} \times 100$	Porcentaje Cr: Cobertura de recolección (%) T_{tr}: Total de toneladas recolectadas (ton) T_{tg}: Total de toneladas generadas (ton)
De la transferencia con relación a la recolección	(Ec. 5) $Ct = \frac{T_{tt}}{T_{tr}} \times 100$	Porcentaje Ct: Cobertura de la transferencia en relación a la recolección (%) T_{tt}: Total de toneladas de residuos transferidos (ton) T_{tr}: Total de toneladas de residuos recolectados (ton)
De recolección con relación a la cantidad de habitantes atendidos	(Ec. 6) $Cr = \frac{Ha}{Th} \times 100$	Porcentaje Cr: Cobertura de recolección (%) Ha: Habitantes atendidos Th: Total de habitantes

Indicador	Ecuación		Unidad
	De la disposición final con relación a la generación	(Ec. 7) $Cdf = \frac{Ttd}{Ttg} \times 100$	Cdf: Cobertura de la disposicion final (%) Ttd:Total de toneladas dispuestas en el sitio (ton) Ttg:Total de toneladas de residuos generados (ton) Porcentaje
	De la disposición final con relación a la recolección	(Ec. 8) $Cdf = \frac{Ttd}{Ttr} \times 100$	Cdf: Cobertura de la disposición final (%) Ttd:Total de toneladas dispuestas en el sitio (ton) Ttr:Total de toneladas de residuos recolectados (ton) Porcentaje
Eficiencia	Del servicio de recolección	(Ec. 9) $Esr = \frac{Ter}{Ha} \times 100$	Porcentaje
	Del servicio de disposición final	(Ec. 10) $Esd f = \frac{Ted f}{Ha} \times 100$	Esdf = Eficiencia del servicio de disposición final (%) Tedf = Total de empleados en el servicio de disposición final (Emp) Ha= Habitantes atendidos (hab) Porcentaje
Desempeño	Manejo adecuado. Balance de masas	(Ec. 11) $\% de Ma \left[\frac{\sum_i (AR+Ti+DF)_i}{TGR} \right] \times 100$	AR: Total de residuos aprovechados en ton/día Ti: Total de residuos con tratamiento para al menos reducir o eliminar su peligrosidad o su volumen antes de ser dispuestos en ton/día. DF: Total de residuos enviados al destino final (cualquier tipo) ton /día. TGR: Total de residuos generados en ton/día i: Tipo de residuo Porcentaje