



# Mejores prácticas para la reducción de metano en sitios de disposición final en Latinoamérica y el Caribe

Autores: Isabel Garzón, Kait Siegel, Linh Nguyen, Paula García Holley

Junio 2026



CLEAN AIR  
TASK FORCE

# Reconocimientos

Este informe fue redactado por Isabel Garzón, con contribuciones de Kait Siegel, Linh Nguyen y Paula García Holley. Autores de CATF, a menos que se indique lo contrario.

Para obtener más información, comuníquese con:  
Isabel Garzón, [igarzon@cleanairtaskforce.org](mailto:igarzon@cleanairtaskforce.org)

## Clean Air Task Force (CATF)

Clean Air Task Force (CATF) es una organización global sin fines de lucro que trabaja para evitar los peores impactos del cambio climático, impulsando el desarrollo y la implementación acelerada de tecnologías energéticas bajas en carbono y otras soluciones climáticas. Con más de 25 años de experiencia reconocida a nivel internacional en políticas climáticas, CATF es una organización pragmática y no ideológica, comprometida con explorar todas las soluciones viables para enfrentar el cambio climático. CATF cuenta con oficinas en Boston, Washington D. C. y Bruselas, y con un equipo que trabaja de manera remota en todo el mundo. Para más información, visite [www.catf.us](http://www.catf.us).

# Abreviaturas

CATF	Clean Air Task Force
CCAC	Climate and Clean Air Coalition
CH <sub>4</sub>	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de carbono equivalente
EPA	Environmental Protection Agency (Estados Unidos)
GAIA	Global Alliance for Incinerator Alternatives
H:V	Relación horizontal:vertical
hp	Caballos de fuerza
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISWA	International Solid Waste Association
kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos por metro cúbico
kt	Kilotoneladas
LAC	Latinoamérica y el Caribe
LFG	Landfill Gas (gas de vertedero)
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos por hora
MW	Megavatio
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USD	Dólares estadounidenses

# Resumen ejecutivo

El metano es un contaminante climático de vida corta con un potencial de calentamiento global más de 80 veces superior al del dióxido de carbono en un horizonte de 20 años. En el sector de residuos, se genera principalmente por la descomposición anaerobia de la fracción orgánica dispuesta en sitios de disposición final, así como en el tratamiento de aguas residuales.

En Latinoamérica y el Caribe (LAC) se generan aproximadamente 541 kilotoneladas de residuos sólidos por día, de los cuales aproximadamente el 60 % corresponde a residuos orgánicos. En 2023, las emisiones de metano provenientes de la gestión de residuos sólidos y aguas residuales alcanzaron 10.258 kt, lo que representa alrededor del 16 % de las emisiones globales del sector. Estas emisiones se concentran principalmente en países con grandes volúmenes de residuos como Brasil, México y Colombia, aunque los impactos ambientales y sociales de una gestión inadecuada de residuos sólidos también afectan de manera desproporcionada a países pequeños, territorios insulares y zonas rurales.<sup>1</sup>

En la región existen botaderos, rellenos controlados y rellenos sanitarios, con niveles muy distintos de manejo, infraestructura y control operativo. Se estima que alrededor del 45 % de los residuos en la región todavía se destinan a sitios inadecuados de disposición final, donde no se aplican prácticas básicas como la compactación, la cobertura diaria, la gestión de lixiviados o el control del gas. En estos contextos, el metano se libera de manera no controlada, generando impactos climáticos, riesgos de incendios y explosiones, contaminación de suelos y aguas, y otras afectaciones.<sup>2</sup>

Este documento presenta un resumen de las principales prácticas operativas (Tabla 1) que pueden incidir positivamente para reducir las emisiones de metano en sitios de disposición final. El objetivo no es proponer una solución única, sino orientar a municipios, operadores y autoridades nacionales en la selección de medidas técnicas realistas, adaptadas al tipo de sitio y a los recursos disponibles.

## El análisis destaca que:

- Incluso en ausencia de infraestructura avanzada de captura de gas, las prácticas operativas diarias tienen un impacto significativo en las emisiones de metano.
- A medida que los sitios evolucionan hacia rellenos controlados y rellenos sanitarios, la gestión integral de lixiviados, el control de aguas pluviales, la estabilidad de taludes, entre otras actividades, se vuelven elementos clave no solo desde el punto de vista de la ingeniería, sino también para el desempeño óptimo de los sistemas de captura y/o aprovechamiento del gas, ya que una operación bien planificada contribuye a condiciones más estables de degradación anaerobia y a mayores tasas de eficiencia de captura. En condiciones óptimas, los rellenos sanitarios pueden alcanzar eficiencias de captura superiores al 80 % en sistemas que incluyen el uso de biocubiertas, aunque en la región muchas instalaciones operan entre el 20 % y el 60 %, en general debido a limitaciones en el diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones.
- Este documento también presenta una breve visión general de enfoques complementarios para limitar las emisiones de metano en rellenos, incluyendo la desviación de residuos orgánicos y el fortalecimiento de capacidades como eje transversal. El compostaje, la digestión anaeróbica y la recuperación de alimentos permiten reducir metano, al mismo tiempo que generan otros co-beneficios económicos, sociales y ambientales. La experiencia internacional – en particular en la Unión Europea – demuestra que marcos regulatorios claros, metas progresivas de desviación e incentivos económicos pueden reducir drásticamente las emisiones del sector.

A continuación la Tabla 1 proporciona una lista de las principales actividades operativas en sitios de disposición final y su relación con la mitigación del metano.

<sup>1</sup> World Bank (2018); UNEP & CCAC (2021); Clean Air Task Force (2023).

<sup>2</sup> UNEP. (2021). Hoja ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe. <https://wedocs.unep.org/items/24d122dc-a33f-44f5-9a92-b2f050f7d129>

**Tabla 1: Principales actividades operativas en sitios de disposición final y su impacto con la mitigación de metano**

Área Operativa	Mejores prácticas	Contribución a la mitigación de metano
<b>Operaciones</b>		
Gestión del frente de trabajo	Mantener el frente de trabajo lo más pequeño posible, acorde al número de camiones y capacidad operativa	Reduce emisiones fugitivas de residuos frescos y facilita cobertura oportuna
Colocación y compactación	Disponer residuos en capas y realizar compactación de los residuos	Reduce la permeabilidad, limita la migración de gas y mejora la eficiencia de captura
Cobertura diaria	Aplicar $\geq 15$ cm de suelo u otros materiales aprobados al final de cada jornada	Reduce emisiones superficiales, olores, incendios y entrada de oxígeno
Cobertura intermedia	Aplicar $\geq 30$ cm de cobertura en áreas sin operación activa	Disminuye emisiones fugitivas prolongadas y mejora el control del gas
Biocubiertas y biosistemas	Aplicar capas orgánicas (compost, suelos enriquecidos); incluye biocubiertas, biofiltros o bioventanas	Oxidan biológicamente el metano, reduciendo emisiones superficiales
Selección de equipos	Uso de compactadores especializados, bulldozers y equipos adecuados para residuos	Mejora compactación → reduce generación y escape de metano
<b>Taludes y escorrentía</b>		
Gestión de aguas pluviales (escorrentía)	Implementar canales, bermas, zanjas y estanques de retención	Reduce infiltración → disminuye lixiviados y mejora control del gas
Taludes y estabilidad	Diseñar pendientes entre 3H:1V y 10H:1V, con terrazas y protección superficial*	Reduce fisuras y vías de escape de gas
<b>Gestión de emisiones y lixiviados</b>		
Gestión de lixiviados	Sistemas de drenaje, almacenamiento y tratamiento adecuados	Mantiene condiciones anaerobias estables y mejora eficiencia de captura
Venteo	Pozos o chimeneas pasivas para liberar presión	Reduce riesgos de migración y explosión (sin impacto significativo en mitigación)
Captura activa del gas	Sistemas con pozos verticales/horizontales, sopladores, tuberías y antorchas o aprovechamiento energético	Reduce emisiones mediante captura y destrucción o uso del metano
<b>Gestión ambiental y riesgos</b>		
Supervisión ambiental	Seguimiento de gas, lixiviados, aguas subterráneas y condiciones operativas	Permite detectar fallas y optimizar el control de emisiones
Salud y seguridad	Uso de equipo de protección personal, capacitación y protocolos operativos	Reduce riesgos de incendios, explosiones y fallas operativas
<b>Acciones complementarias</b>		
Desviación de residuos	Implementar separación en la fuente, reciclaje y tratamiento de orgánicos (compostaje, biodigestión)	Reduce la cantidad de residuos orgánicos dispuestos → disminuye la generación de metano
Desarrollo de capacidades	Formación continua de operadores, supervisores y autoridades locales en buenas prácticas operativas	Mejora la implementación de todas las medidas → incrementa la eficiencia global de mitigación

\* La relación H:V (horizontal:vertical), expresa cuántas unidades se avanza horizontalmente por cada unidad que se levanta verticalmente para formar la inclinación del talud.

# Tabla de contenido

	<b>Resumen ejecutivo</b> .....	4
1	<b>Introducción</b> .....	8
2	<b>Tipologías de los sitios de disposición en la región</b> .....	10
3	<b>Prácticas básicas para la operación</b> .....	12
	Operaciones .....	12
	Taludes y escorrentía.....	18
	Control de emisiones y lixiviados .....	19
	Gestión ambiental y de riesgos .....	23
4	<b>Acciones complementarias para la mitigación del metano en los sitios de disposición final</b> .....	24
	Desviación de residuos .....	24
	Desarrollo de capacidades .....	26
5	<b>Conclusiones</b> .....	28

# Lista de figuras

Figura 1	<b>Operación del frente de trabajo en un relleno sanitario</b> .....	13
Figura 2	<b>Influencia del espesor de la capa, número de pasadas y tipo de equipo para la compactación de residuos</b> .....	14
Figura 3	<b>Cobertura final de celda previo a las actividades de cierre</b> .....	15
Figura 4	<b>Capas en un sistema de oxidación del metano en un sitio de disposición final</b> .....	15
Figura 5	<b>Uso de equipo para la colocación y compactación de residuos en un relleno sanitario</b> .....	16
Figura 6	<b>Canalización de escorrentía en la cobertura de talud</b> .....	19
Figura 7	<b>Pozo de captación de gas de vertedero con cabezal de control y monitoreo</b> .....	20
Figura 8	<b>Antorcha de quema controlada de gas de vertedero</b> .....	21
Figura 9	<b>Cilindros de biogás comprimido permitiendo su comercialización y uso</b> .....	23
Figura 10	<b>Gestión descentralizada de residuos orgánicos a través de una compostera comunitaria y compostaje domiciliario</b> .....	24
Figura 11	<b>Gestión centralizada de residuos orgánicos – biodigestor municipal</b> .....	25

## SECCIÓN 1

# Introducción

La urbanización en la región avanza a un ritmo acelerado, pasó de una tasa de urbanización del 62 % en 1980 al 81 % en 2011, y se prevé que alcance el 89 % en 2050. Aunque las grandes metrópolis concentran la mayor parte de población, el crecimiento urbano se está desplazando rápidamente hacia ciudades intermedias. Este proceso se ha dado en muchos casos de manera desordenada y sin una planificación adecuada, generando importantes desafíos para el desarrollo urbano sostenible, incluyendo acceso a servicios adecuados de saneamiento y gestión de residuos.<sup>3</sup>

La gestión de los residuos sólidos es uno de los principales desafíos ambientales de la actualidad. Durante las últimas décadas, las ciudades se han densificado, los hábitos de consumo han cambiado y los flujos de residuos han aumentado tanto en volumen como en complejidad. El informe *What a Waste 2.0* del Banco Mundial estima que la humanidad generó 2010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos en 2016, una cifra que se prevé aumente hasta los 3800 millones de toneladas en 2050. La mayor parte de este aumento se producirá en las economías emergentes, incluidos los países de LAC.<sup>4</sup>

En Latinoamérica y el Caribe más del 40 % de los residuos aún se disponen en botaderos a cielo abierto o sitios mal manejados, donde no se aplican prácticas básicas de compactación, cobertura o la gestión adecuada de lixiviados -líquidos contaminados que se generan cuando el agua se filtra a través de los residuos-. Al mismo tiempo, existen proyectos pioneros en algunas ciudades que han demostrado que es posible diseñar, financiar y operar rellenos sanitarios con sistemas de captura de gases de vertedero, que en ocasiones incluyen sistemas completos de aprovechamiento energético del biogás. El principal reto consiste en reducir la brecha entre estos dos extremos.<sup>5</sup>

En la región, el predominio de los botaderos a cielo abierto y los rellenos mal controlados, hace que la mitigación del metano sea una oportunidad fundamental tanto para la acción climática como para las condiciones de calidad ambiental a nivel local. El metano en sí mismo es un peligroso acelerador del cambio climático, en las dos primeras décadas tras su liberación, retiene el calor 80 veces más eficazmente que el dióxido de carbono. Esto hace que el metano de los sitios de disposición final sea tanto una amenaza como una oportunidad: reducirlo produce rápidos beneficios climáticos.<sup>6,7</sup>

---

<sup>3</sup> UNFCCC. Emerging and Sustainable Cities Initiative. <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/lighthouse-activities/emerging-and-sustainable-cities-initiative>

<sup>4</sup> Banco Mundial. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

<sup>5</sup> De acuerdo al documento *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of gestión de residuos sólidos hasta 2050* del Banco Mundial. *Referencia 3*.

<sup>6</sup> Global Methane Initiative. (2023). *Global Methane Emissions and Mitigation Opportunities*. <https://www.globalmethane.org/documents/gmi-mitigation-factsheet.pdf>

<sup>7</sup> Según el IPCC (2013), el metano tiene un potencial de calentamiento global 84 veces mayor que el dióxido de carbono en un período de 20 años; y los vertederos se encuentran entre las mayores fuentes antropogénicas de metano en todo el mundo (PNUMA y CCAC, 2021; EPA de EE. UU., 2023).

En el sector de los residuos, el metano se genera principalmente de la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos en sitios de disposición final, así como del tratamiento de aguas residuales. En LAC, la región genera aproximadamente 541 kt de residuos sólidos diarios, de los cuales cerca del 60 % corresponde a la fracción orgánica. En 2023, las emisiones de metano procedentes de la gestión de residuos (residuos sólidos y aguas residuales) alcanzaron 10.258 kilotoneladas (kt), equivalentes a aproximadamente el 16 % del total mundial. Se prevé que la generación de residuos en la región aumente en más de 100 kt/día para 2050, impulsada por el crecimiento demográfico, la urbanización acelerada, los patrones de consumo y producción, y el predominio de un modelo lineal en el uso de los recursos naturales, lo que incrementará la presión sobre los sistemas de disposición final y en ausencia de mejoras operativas, las emisiones de metano del sector.<sup>8,9</sup>

Las emisiones varían mucho entre los distintos países, dependiendo del volumen de residuos generados, las prácticas de disposición final y la capacidad institucional. Brasil (2.179 kt de metano) y México (1.950 kt de metano) representan la mayor parte de las emisiones regionales por un amplio margen, seguidos de Colombia (601 kt de metano), Venezuela (233 kt de metano) y Perú (225 kt de metano). Por otro lado, los países de Centroamérica tienen emisiones absolutas más bajas, aunque la gestión de sus residuos sólidos puede seguir teniendo importantes repercusiones ambientales y sociales, especialmente en los territorios insulares y las zonas rurales con una cobertura limitada del servicio de recolección. Así por ejemplo, Guatemala emite 218 kt de metano en el sector de los residuos sólidos, en tanto los demás países centroamericanos concentran emisiones menores a 100 kt. Estas diferencias en la región no solo responden al volumen de residuos generados, sino también a la calidad de las prácticas operativas aplicadas en los sitios de disposición final, así como en las iniciativas de prevención en la generación de residuos sólidos, la separación en la fuente y el reciclaje y tratamiento de todas las vertientes de residuos.<sup>10</sup>

Si bien, la prevención y el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos constituyen la mejor estrategia de mitigación en el largo plazo, la implementación de buenas prácticas operativas en los sitios de disposición final representa una vía complementaria para reducir emisiones. El tipo de solución aplicable depende en gran medida de la escala del sistema. En contextos de menor escala, las mejoras de bajo costo -cubierta diaria del suelo, ventilación pasiva, cubiertas biológicas, compostaje- son los puntos de partida más realistas. En paralelo, la regionalización de las instalaciones de disposición final, en las que varios municipios comparten un único sitio, pueden generar economías de escala para municipios pequeños. Por el contrario, las áreas metropolitanas, con mayores volúmenes de residuos, pueden justificar sistemas más avanzados.<sup>11</sup>

En este contexto, este documento destaca la importancia de las prácticas operativas diarias, como la compactación, la aplicación de coberturas, la gestión de lixiviados y la expansión de los sistemas de captura de gases de vertedero para la quema controlada o la recuperación de energía, para reducir las emisiones de metano, enfocándose principalmente en un conjunto de buenas prácticas operativas que pueden lograr reducciones significativas de metano. Asimismo, se incluyen transversalmente secciones dedicadas al fortalecimiento de capacidades y la capacitación de los operadores, reconociendo el papel clave para la correcta implementación y sostenibilidad de estas medidas. El público objetivo incluye al personal de saneamiento municipal, operadores, reguladores nacionales y responsables políticos que trabajan en el sector de los residuos sólidos.

Finalmente, este informe no tiene como objetivo el prescribir una fórmula única, sino proporcionar un marco flexible que pueda adaptarse a distintos contextos. El documento resalta la importancia de combinar prácticas operativas con estrategias de desviación de residuos y tecnologías de captura de gases de vertedero como un medio para que los países, y principalmente los municipios, reduzcan de manera significativa las emisiones.

---

<sup>8</sup> Unión Europea. 2024. EDGAR\_2024\_GHG. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/dataset\\_ghg2024#p1](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/dataset_ghg2024#p1)

<sup>9</sup> PNUMA. 2018. Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26448>

<sup>10</sup> WASTEMAP. 2025. <https://wastemap.earth>

<sup>11</sup> Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). Evaluation of the IDB's Emerging and Sustainable Cities Initiative. <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Evaluation-of-the-IDB-Emerging-and-Sustainable-Cities-Initiative.pdf>

## SECCIÓN 2

# Tipologías de los sitios de disposición en la región

En toda LAC los sitios de disposición final abarcan un amplio espectro. En un extremo se encuentran los botaderos, donde los residuos se colocan sin diseño, cobertura ni gestión. En el otro extremo se encuentran los rellenos sanitarios los cuales están diseñados y equipados con infraestructura como pozos de captura de gas, gestión de lixiviados, entre otras medidas de ingeniería. En medio, se encuentran los *rellenos "controlados"* donde se han introducido mejoras importantes en la operación, aunque sin cumplir con toda la normativa nacional y/o internacional para ser categorizados como rellenos sanitarios.

La Línea Base de la Coalición para el Cierre Progresivo de los Basurales en Latinoamérica y el Caribe reporta 11.460 botaderos, 2.890 rellenos controlados y 1.993 rellenos sanitarios, de un total de 16.343 sitios en 19 países. Sin embargo, más del 50% de los residuos (262.944 toneladas/día) son depositados en rellenos sanitarios, reflejando que estos sitios suelen ser comunes en ciudades de mayor generación.<sup>12</sup>

Es esencial reconocer estas tipologías ya que las medidas de control del metano deben adaptarse a las condiciones de cada sitio. La clasificación refleja tanto el grado de ingeniería como el rigor del control operativo, dos variables que determinan la cantidad de metano que se escapa y la que se puede gestionar.



<sup>12</sup> United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *Roadmap for the Progressive Closure of Dumpsites in Latin America and the Caribbean*. Annex 2. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/34804>

**Tabla 2: Tipologías de sitios de disposición final en LAC y acciones prioritarias**

Tipología	Descripción	Características del Metano
<b>Botaderos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitios no regulados.</li> <li>Sin compactación, sin cobertura, sin sistemas de lixiviados o gases.</li> <li>A menudo asociados con recicladores informales que trabajan en condiciones precarias.</li> </ul>	Se genera y libera metano sin control; dependiendo de las condiciones del sitio, pueden producirse migraciones de gas, incendios y otros impactos asociados. <sup>a</sup>
<b>Rellenos controlados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los requerimientos que tradicionalmente se implementan son: aplicación de cierta compactación, cobertura parcial, revestimientos limitados y/o pequeñas piscinas de lixiviados.</li> <li>El gas puede ventearse o quemarse de forma pasiva.</li> </ul>	Generalmente incluyen pozos de venteo y/o antorchas con quema no controlada o pasiva. Sin embargo, aunque se asume una reducción de emisiones con la quema pasiva del gas, al no ser controladas no se pueden reportar en mecanismos formales de mitigación.
<b>Rellenos sanitarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñados íntegramente con revestimientos, recolección y tratamiento de lixiviados, cubierta diaria, estabilización de taludes y pozos de gas integrados.</li> <li>Operados con protocolos de monitoreo.</li> </ul>	<p>Las emisiones de metano se gestionan mediante sistemas diseñados; la captura, la quema o la recuperación de energía pueden reducir sustancialmente las emisiones incontroladas.</p> <p>La captura y la quema/recuperación para generación de energía pueden reducir las emisiones sobre un 80 %.<sup>b</sup></p>

<sup>a</sup> Aunque la prioridad técnica es el cierre de los botaderos y avanzar a rellenos sanitarios, sí existen casos con características muy específicas donde se han implementado sistemas de captura y aprovechamiento de biogás en botaderos.

<sup>b</sup> En condiciones operativas deficientes, la eficiencia de los sistemas de captura de biogás puede ser significativamente menores, alcanzado valores cercanos a 20 %.

La prioridad regional es clara, cerrar o rehabilitar los botaderos a cielo abierto y, al mismo tiempo, mejorar progresivamente los sitios controlados para convertirlos en rellenos sanitarios que cumplan plenamente con la normativa de calidad ambiental y a su vez promover la implementación de medidas para la captura y quema activa de biogás así como de su aprovechamiento. Para acelerar el proceso, UNEP y sus socios, impulsaron una iniciativa regional para el cierre de botaderos en LAC, que incluía la asistencia técnica, movilización de recursos financieros y el apoyo a las reformas normativas.<sup>13</sup>

El cierre de botaderos se lleva a cabo en varias fases que incluyen, evaluaciones ambientales, diseños de ingeniería, operación para la transición y planificación post-cierre. Las obras de ingeniería por sí solas no son suficientes e incluyen la participación de la comunidad, el respaldo institucional y la planificación financiera. Sin estas condiciones propicias, los sitios recuperados y/o cerrados corren un alto riesgo de ser reocupados de manera informal para la eliminación de residuos, o de ser reemplazados por nuevos botaderos que repitan los mismos fallos operativos.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). Evaluación global del metano: beneficios y costes de la mitigación de las emisiones de metano. [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021\\_Global-Methane\\_Assessment\\_full\\_0.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021_Global-Methane_Assessment_full_0.pdf?utm_source=chatgpt.com)

<sup>14</sup> Davila Cavazos, J. L. (2023). Mitigación de metano en rellenos sanitarios [Presentación en conferencia]. Taller sobre mitigación del metano residual, Grupo de Trabajo sobre Aire Limpio.

## SECCIÓN 3

# Prácticas básicas para la operación

La gestión de un sitio de disposición final no consiste simplemente en encontrar un lugar donde disponer los residuos, sino en controlar simultáneamente los procesos biológicos, químicos y de ingeniería. Incluso en ausencia de sistemas de recuperación de gases de alta tecnología, la forma en que se gestiona un relleno día a día influye de manera positiva en la cantidad de metano que se produce y emite a la atmósfera.

En este contexto, es importante distinguir entre la planificación integral del relleno sanitario y la gestión diaria de las operaciones. La planificación integral abarca decisiones de largo plazo, como la selección y diseños del sitio, la configuración de las celdas y secuencia de llenado, los sistemas de control ambiental, así como los aspectos financieros, administrativos y regulatorios. Por su parte, la gestión diaria se refiere a la implementación operativa de estas decisiones, en general, en el avance de las operaciones en el sitio; incluyendo, las actividades diarias en la disposición de residuos, la cobertura diaria, accesos, control de escorrentías, y otras identificadas en este documento. Las dos dimensiones son complementarias y deben estar alineadas para la operación y cierre de un relleno sanitario.

En esta sección se ofrece una breve descripción general de las prácticas operativas básicas que sustentan la gestión eficaz de los sitios de disposición final y la mitigación del metano. Se centra en medidas que pueden aplicarse de forma gradual, incluidos controles básicos adecuados para estos sitios. Se hace hincapié en las medidas que mejoran el rendimiento ambiental, reducen los riesgos para la seguridad y sientan las bases para mejoras futuras, como los sistemas de captura y quema de gases de vertedero y de generación de energía.

## Operaciones

### Gestión del frente de trabajo

El frente de trabajo se refiere al área activa del relleno sanitario donde los residuos se depositan, distribuyen y compactan durante la operación diaria. Aunque la denominación de frente de trabajo es el más usado, también suele llamarse área de descarga, celda activa, área activa, o frente de disposición.

El frente de trabajo debe mantenerse reducido ya que de otro modo es difícil de controlar, incrementando los costos operativos. La exposición prolongada de los residuos favorece la presencia de vectores, olores y dispersión y volado de residuos más ligeros.

Como referencia operativa el ancho suele definirse en función del número de camiones a descargar residuos al mismo tiempo, teniendo un camión aproximadamente 4 metros de ancho, mientras que el alto normalmente se ubica entre 2 y 5 metros. Los conductores deben esperar instrucciones antes de proceder a la descarga de los residuos, y deben mantenerse una distancia de seguridad de 2 a 3 metros entre cada vehículo. Cada camión deberá detenerse a no menos de 2 a 3 metros del frente de trabajo, con el fin de garantizar condiciones seguras de operación.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> ISWA. (2019). Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed. <https://www.iswa.org/knowledge-base/landfill-operation-guidelines-3rd-edition/?v=3fd6b696867d>

---

## Figura 1: Operación del frente de trabajo en un relleno sanitario

Fuente: Propia



---

Las pruebas de una reciente investigación de *Carbon Mapper* en Estados Unidos, muestran que las emisiones de metano de los rellenos pueden estar relacionadas con áreas operativas específicas dentro de un relleno, en particular el frente de trabajo. Las observaciones aéreas identificaron que, entre los rellenos con emisiones medibles, la superficie de trabajo activa representaba más del 75 % de las emisiones de metano cuantificadas. Estos hallazgos visibilizan al frente de trabajo como una fuente importante de emisiones de metano, lo que subraya el papel fundamental de las prácticas operativas diarias en la mitigación global del metano, más allá de los sistemas de captura de gas.<sup>16</sup>

Adicionalmente, el documento de la EPA *White Paper Series: Municipal Solid Waste Landfills – Advancements in Technology and Operating Practices* destaca que el

frente de trabajo constituye una fuente relevante de emisiones fugitivas de metano por lo que las acciones ejecutadas en esta área son importantes para su mitigación. Se resaltan actividades como la reducción del área de trabajo al mínimo necesario, la compactación y su cobertura oportuna.<sup>17</sup>

### Colocación y compactación de residuos

Los residuos nunca deben verterse de forma aleatoria. En su lugar, deben esparcirse en capas finas (300-500 mm), deberá compactarse con maquinaria pesada al menos cuatro veces (entre 3-5 pasadas). Una compactación adecuada aplica fuerza mecánica a los residuos, reduciendo las bolsas de aire y los espacios vacíos entre los materiales.

---

<sup>16</sup> Carbon Mapper. (2024). Noticias: Las emisiones de la superficie de trabajo de los vertederos representan una importante oportunidad para la mitigación del metano, según un estudio. <https://carbonmapper.org/articles/landfill-work-face-emissions>

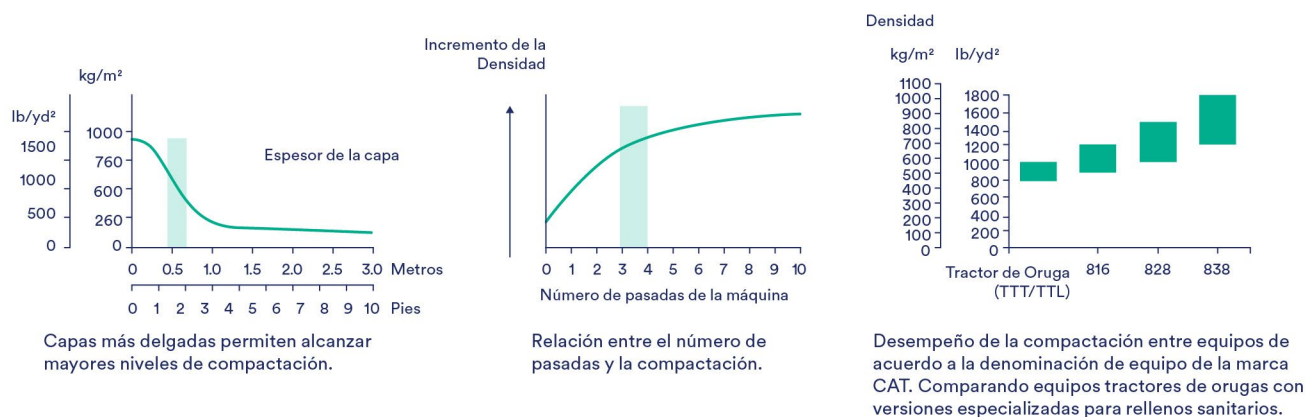
<sup>17</sup> EPA. (2024). White Paper Series: Municipal Solid Waste Landfills – Advancements in Technology and Operating Practices. <https://downloads.regulations.gov/EPA-HQ-OAR-2024-0453-0002/content.pdf>

Este proceso aumenta la densidad de la masa de residuos, inicialmente los rellenos sanitarios bien gestionados alcanzan densidades hasta 500-900 kg/m<sup>3</sup>, lo que refuerza la masa de residuos, mejora la estabilidad de las pendientes, limita la infiltración de oxígeno y la migración de gases. Sin compactación, los sitios de disposición final se asientan de forma desigual, emiten gas sin control y generan un exceso de lixiviados.<sup>18</sup>

Por otro lado, las actividades de compactación también ayudan a dirigir el flujo del gas hacia un pozo o colector específico. Al aplicar mayor compactación en zonas periféricas y mantener compactación moderada alrededor del pozo, se generan gradientes de presión y se favorece la captura activa del gas. Esto deberá aplicarse en coordinación con los operadores del sistema de extracción del gas.

**Figura 2: Influencia del espesor de la capa, número de pasadas y tipo de equipo para la compactación de residuos**

Fuente: Adaptado de Caterpillar Inc. (2022) Caterpillar Performance Handbook, Sección 18



## Aplicación de cobertura

Diariamente las actividades en el relleno deben concluir con la aplicación de material de cobertura. De acuerdo con la EPA, la **cobertura diaria** deberá tener un espesor de al menos 15 cm (6 pulgadas) de tierra u otros materiales aprobados, como materiales de construcción y demolición, cenizas, lodos deshidratados, compost maduro, u otros sintéticos (por ejemplo, lonas o geotextiles). Su objetivo principal es el control de los olores y vectores, reducir las emisiones y la generación de lixiviados, así como la prevención de incendios.<sup>19</sup>

Tradicionalmente se usa el suelo disponible in situ para cubrir las necesidades de **cobertura intermedia**

(mínimo 30 cm), **cobertura final** (mínimo 60 cm) y la construcción de bermas (en el método de celdas). Para fines de planificación, se asume que se requiere al menos 1 m<sup>3</sup> de suelo compactado (para coberturas diaria, intermedia y final) por cada 6 m<sup>3</sup> de residuos dispuestos y compactados.<sup>20</sup>

En la región, aunque es un requisito implementar la cobertura diaria en el frente de trabajo activo, sin embargo, no se establece necesariamente el espesor de la capa, así como el tipo de material aceptado o un mecanismo para establecerlo. De manera general, se usa tierra propia del sitio y se recomienda que no sea muy arcillosa para favorecer las actividades de trabajo y retiro

<sup>18</sup> La información sobre la disposición en capas de 300-500 mm y el número de pasadas fueron tomadas de la referencia de Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed.

<sup>19</sup> EPA. (1993). Criteria for Municipal Solid Waste Landfills. 40 CFR Part 258. <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/pdf/subpartc.pdf>

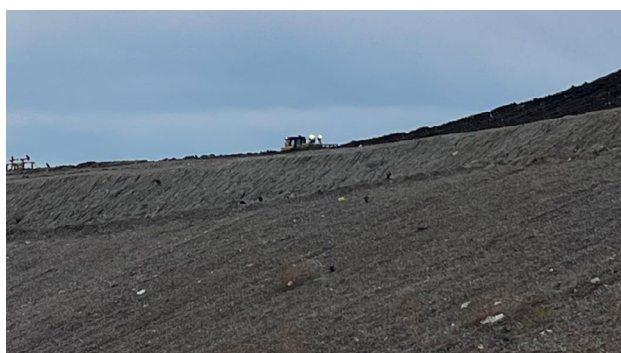
<sup>20</sup> Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

al día siguiente. A pesar de ser una actividad reconocida sigue siendo una práctica operativa que no se aplica en los rellenos de la región.

Desde el punto de vista de la mitigación del metano, de manera general la cobertura reduce el ingreso de oxígeno y la variabilidad térmica en la masa de residuos, influyendo directamente en la generación y liberación del gas.

**Figura 3: Cobertura final de celda previo a las actividades de cierre**

Fuente: Propia



## Uso de biosistemas

Los biosistemas son capas de materiales orgánicos, como compost o suelos ricos en materia orgánica, aplicadas sobre un sitio de disposición final cerrado para promover el crecimiento de bacterias metanotróficas, las cuales oxidan biológicamente el metano que migra desde la masa de residuos hacia la superficie. Al transformar el metano principalmente en dióxido de carbono, estos sistemas permiten reducir las emisiones fugitivas sin requerir otro tipo de infraestructura más compleja.<sup>21</sup>

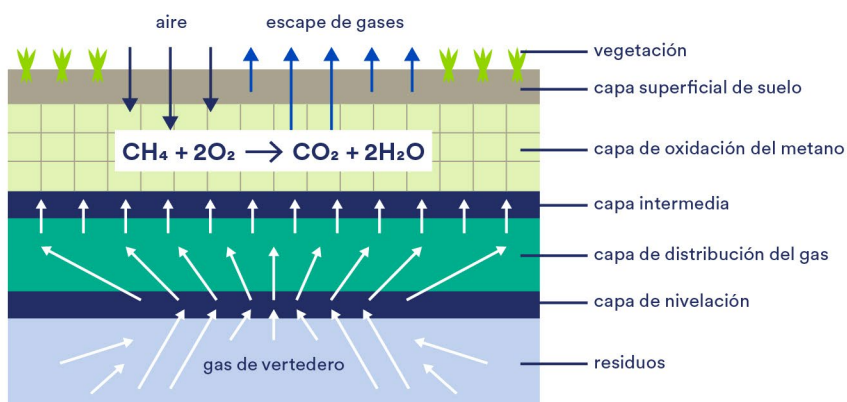
**Existen distintos tipos de biosistemas, cuya aplicación depende de las características del sitio:**

- **Biocubiertas:** capas extensivas de material orgánico oxidante del metano aplicadas sobre una gran superficie.
- **Bioventanas:** biocubiertas de menor escala e instaladas para tratar puntos críticos de emisión.
- **Biofiltros:** sistemas diseñados para dirigir el gas de vertedero a través de una capa oxidante del metano.

La selección de materiales para las biocubiertas y biofiltros deberá abordarse desde la valoración del tipo más óptimo, de la existencia local del material, así como de opciones validadas previamente. De manera específica se recomienda diseñar un sistema para que la carga superficial de metano no supere los 50 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>día.<sup>22</sup>

**Figura 4: Capas en un sistema de oxidación del metano en un sitio de disposición final**

Fuente: Adaptado de *Reducing methane emissions from landfills: The potential of biocover systems*, por la CCAC (2026). Imagen original de Huber-Humer et al. (2008). Traducido al español por el autor.



<sup>21</sup> CCAC & TEAP. (2026). Reducing methane emissions from landfills: the potential of biocover systems. Climate and Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/resources/reducing-methane-emissions-landfills-potential-biocover-systems>

<sup>22</sup> Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

## Selección de equipos clave para las operaciones de sitios de disposición final

La correcta operación de actividades en un relleno incluye la elección de equipo y mantenimiento de estos de forma adecuada. La elección del equipo determina si los residuos se compactan hasta alcanzar densidades seguras, si se aplica correctamente la cubierta diaria y si los accesos

se mantendrán en buenas condiciones en temporada de lluvias. En el entorno de un relleno – que incluye, residuos abrasivos, lixiviados corrosivos, terreno inestable – los equipos tradicionales requieren mayor inversión en mantenimiento e incluso el reemplazo de estos en menor tiempo. En tanto, las máquinas especializadas, diseñadas para la manipulación de residuos, tendrán un mejor rendimiento en este tipo de trabajo.

**Figura 5: Uso de equipo para la colocación y compactación de residuos en un relleno sanitario**

Fuente: Propia



A continuación, se muestra un catálogo de las principales categorías de equipos. Cada uno de ellos cumple una función específica y, en conjunto, constituyen la base de un funcionamiento seguro y eficiente de los rellenos.

**Tabla 3: Equipos clave para las operaciones**

Fuente: Dávila Cavazos, J. L. (2023). *Mitigación del metano en vertederos. Presentación técnica*; Caterpillar (2022), *Cat Performance Handbook, Edición 50*; US EPA, *Manual técnico para vertederos sanitarios*; ISWA (2021), *Hoja de ruta para el cierre de vertederos de residuos*.

Tipo de equipo	Funciones principales	Requisitos técnicos mínimos	Importancia
<b>Compactadora de relleno</b>	Densificar los residuos, estabilizar taludes, triturar objetos voluminosos, minimizar la migración de gases.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso operativo <math>\geq 25</math>-30 t (emplazamientos pequeños/medianos) y <math>\geq 55</math> t (grandes).</li> <li>• Potencia neta del motor <math>\geq 250</math> hp (pequeño/mediano) y <math>\geq 450</math> hp (grande).</li> <li>• Ruedas especiales con puntas trituradoras.</li> <li>• Gran distancia al suelo y protecciones.</li> </ul>	Sin una compactación adecuada, los sitios de disposición final pierden gas, se asientan de forma desigual y pierden una valiosa capacidad.
<b>Bulldozer</b>	Empuja y esparce los residuos, da forma a las celdas, aplica la cubierta diaria y mantiene las carreteras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta fuerza de empuje (<math>\geq 200</math>-300 hp – caballos de fuerza-).</li> <li>• Protección y tren de rodaje sellado.</li> <li>• Cuchillas con control de inclinación/ángulo.</li> <li>• Capaz de trabajar en pendientes de 3H:1V.</li> </ul>	Esencial para dar forma a la geometría diaria del relleno y proteger la integridad de la cubierta.
<b>Camión volquete / de transporte</b>	Transporta residuos o material de cobertura dentro del emplazamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga útil <math>\geq 25</math>-40 t.</li> <li>• Suspensión reforzada y neumáticos para terrenos difíciles.</li> <li>• Sistema de descarga fiable.</li> </ul>	Garantiza que los materiales se transporten de forma rápida y segura por terrenos inestables.
<b>Cargadora de ruedas / esparcidor de tierra</b>	Aplica cubiertas, gestiona las pilas de almacenamiento y mantiene las carreteras internas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuchara <math>\geq 3</math>-5 m<sup>3</sup>.</li> <li>• Peso operativo <math>\geq 18</math>-25 t.</li> <li>• Excelente visibilidad y maniobrabilidad.</li> </ul>	Clave para operaciones flexibles: capaz de cambiar entre la aplicación de cubierta y el mantenimiento de carreteras.

Si bien los equipos que figuran en la Tabla 3 reflejan las mejores prácticas internacionales para las operaciones de rellenos, la disponibilidad y el uso de estos equipos varían mucho en toda la región de América Latina y el Caribe, debido en gran medida a las diferencias en los presupuestos municipales, el acceso a la financiación, la capacidad de adquisición y la formación de los operadores.

**Las excavadoras, los camiones volquete y las palas cargadoras** son las máquinas más comunes en los sitios de disposición final de la región de América Latina y el Caribe, ya que se utilizan ampliamente en la construcción y las obras públicas, y usualmente también se utilizan para las operaciones en los sitios de disposición final. Su disponibilidad permite realizar actividades básicas como la distribución de residuos, la aplicación diaria de cubiertas y el mantenimiento

de carreteras; sin embargo, cuando se utilizan como sustitutos de equipos especializados, a menudo dan lugar a densidades de compactación más bajas y a un control menos eficaz de los gases y los lixiviados.

Por el contrario, **las compactadoras** específicas para el manejo de residuos son mucho menos comunes en la región, especialmente en los municipios pequeños y medianos. Los elevados costes de capital, el acceso limitado a servicios de mantenimiento especializados y la falta de operadores cualificados limitan su implantación. La ausencia de compactadoras es una limitación operativa clave, ya que una compactación inadecuada afecta a la estabilidad de los residuos, aumenta las vías de migración del metano y complica la futura instalación y el rendimiento de los sistemas de recolección de gases de vertedero.

## Taludes y escorrentía

### Estabilidad de taludes y control de la erosión

Generalmente, los rellenos sanitarios tienen pendientes comprendidas entre 10H:1V y 3H:1V (distancia horizontal por una unidad vertical). Esta configuración mejora la estabilidad al reducir la tensión dentro de la masa de residuos y minimizar el riesgo de deslizamientos. Las terrazas ayudan a romper las largas caras de las pendientes, reducen la longitud efectiva de las mismas y controlan la escorrentía superficial, lo que limita la erosión y mejora la estabilidad en general. Es importante señalar que pendientes más suaves permiten que los equipos de compactación operen perpendiculares a la inclinación facilitando mayor control de los residuos sobre todo en tiempos de mayor afluencia.<sup>23</sup>

Las cubiertas vegetales y las mallas de control de la erosión protegen aún más las pendientes al estabilizar los suelos superficiales, ralentizar la velocidad de la escorrentía y reducir la pérdida de sedimentos. En conjunto, estas medidas refuerzan la integridad de las pendientes, evitan deslizamientos catastróficos, protegen las infraestructuras cercanas y ayudan a garantizar la seguridad de los trabajadores.

La estabilidad de los taludes favorece una compactación más uniforme, reducen la infiltración de agua y oxígeno a la masa de residuos, factores que limitan las emisiones fugitivas y mejoran el desempeño de los sistemas de captura de gas.

### Gestión de aguas pluviales

El agua de lluvia constituye uno de los principales factores de riesgo en la operación de un relleno sanitario. La poca o nula gestión del agua pueden comprometer la masa de residuos y generar problemas relacionados con el escurrimiento superficial y la infiltración. En particular, la infiltración promueve la generación de lixiviados, generando costos mayores para su recolección y tratamiento. Por otro lado, el escurrimiento favorece la erosión de las estructuras, la acumulación de agua en caminos internos y accesos al frente de trabajo, dificultando y retrasando las operaciones diarias en el sitio, así como mayores costos de mantenimiento de

la obra civil. La gestión de aguas pluviales deberá ser consideradas desde la etapa de planificación del relleno sanitario y deberá considerarse hasta la etapa de cierre.<sup>24</sup>

### El sistema de drenaje pluvial incluye canales, bermas y zanjas que permiten cumplir con las siguientes funciones:

- Conducir de forma segura el escurrimiento superficial interno y externo hacia los puntos de descarga
- Minimizar la generación de lixiviados, impidiendo en la medida de lo posible que el agua superficial ingrese a la masa de residuos.
- Reducir la pérdida de suelo y la erosión en zonas ya conformadas
- Controlar la descarga de sedimentos y la contaminación del agua superficial y subterránea del sector
- Puede proveer almacenamiento de agua para usos operativos y control de incendios, generalmente mediante estanques de retención y sedimentación

### En la mayoría de los rellenos sanitarios, el sistema de drenaje superficial incluye los siguientes elementos:

- Estanques de retención, sedimentación y/o almacenamiento de aguas pluviales
- Sistemas de drenaje primarios
- Sistemas de drenaje secundarios
- Sistemas de drenaje terciarios o temporales
- Sistemas complementarios, como bombeo y zanjas de desvío
- Drenaje asociado a la cobertura final del relleno

En concordancia con las prácticas operativas descritas previamente, una gestión adecuada de las aguas pluviales reduce la infiltración de agua en la masa de residuos y, en consecuencia, limita principalmente la generación de lixiviados. Esto tiene un impacto directo en el control de los procesos de degradación anaerobia, ya que el exceso de lixiviados puede favorecer la migración de metano disuelto, saturar los sistemas de drenaje y provocar el taponamiento de los pozos de extracción de gas. Estas condiciones afectan negativamente la eficiencia de los sistemas de captura, reduciendo el desempeño de la quema controlada y/o del aprovechamiento energético del gas de relleno sanitario.

<sup>23</sup> Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

<sup>24</sup> Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

---

## Figura 6: Canalización de escorrentía en la cobertura de talud

Fuente: Propia



---

## Control de emisiones y lixiviados

### Gestión de lixiviados

Los lixiviados son líquidos que se filtran a través de los residuos sólidos en los sitios de disposición final, son generados no solo por la infiltración del agua de lluvia, sino también por el contenido intrínseco de humedad de los propios residuos y el agua liberada durante los procesos de descomposición biológica. A medida que este líquido se desplaza a través de la masa de residuos, disuelve y transporta contaminantes orgánicos e inorgánicos, que a menudo incluyen altas concentraciones de materia orgánica disuelta, amoníaco, sales, metales pesados, entre otros; por lo que, si no se recolecta y trata adecuadamente, este puede migrar al suelo, las aguas subterráneas y superficiales, lo que supone un grave riesgo para los recursos hídricos, los ecosistemas y en general la salud pública.

Los lixiviados deben captarse, gestionarse y tratarse de manera eficaz. Los sistemas convencionales de gestión de lixiviados incluyen la recolección a través de sistemas de drenaje y tuberías perforadas, seguida del almacenamiento en estanques o tanques revestidos con geomembranas para un posterior tratamiento por procesos físicos, químicos o biológicos, ya sea *in situ* o externos. Los métodos de tratamiento más avanzados pueden incluir la filtración por membranas (como la ósmosis inversa), la separación por amoníaco y otros. En ciertas ocasiones se utiliza la recirculación controlada de lixiviados en las celdas para reducir los volúmenes de descarga externa y mejorar la estabilización de los residuos, siempre que se garantice la integridad del revestimiento de la celda y la gestión de los gases. Sin embargo, esta práctica puede acelerar la degradación biológica de los residuos y aumentar la generación de biogás (incluido metano), por lo que deberá implementarse únicamente cuando exista un plan adecuado de gestión del gas, así como la correcta impermeabilización y control en el sitio de disposición final.

De manera general, un control adecuado de los lixiviados reduce el riesgo de contaminación del suelo y el agua, minimiza los olores y la generación no controlada de gases, y mejora la estabilidad del relleno. Desde la perspectiva de la mitigación del metano contribuye a mantener condiciones más estables de la masa de residuos y su degradación anaerobia, la migración de metano disuelto y la eficiencia de los sistemas de captura, así como que garantiza el cumplimiento de la normativa ambiental.

### Gestión del gas

Si no se controla, el gas de vertedero puede migrar a través de la masa de residuos y los suelos circundantes, filtrarse en las estructuras cercanas y crear importantes riesgos de explosión y seguridad, generándose un riesgo latente para la ciudadanía más allá del impacto climático de las emisiones a la atmósfera. En teoría todos los sitios de disposición final de tamaño significativo – de manera referencial, aquellos con una capacidad superior a 1 millón de toneladas de residuos – deberían contar con sistemas de recolección y control de gas diseñados y operados para minimizar tanto la migración del gas como sus emisiones a la atmósfera.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> En sitios de menor escala pueden usarse mediante sistemas de ventilación pasiva. Sin embargo, incluso en rellenos pequeños pueden ser necesarias medidas adicionales de control, por lo que cada sitio debe evaluarse de forma individual. Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

Los pozos de recolección de gas deben instalarse una vez que se haya alcanzado una profundidad suficiente de residuos y ampliarse progresivamente a medida que avanza el llenado, asegurando que el control del gas se mantenga al ritmo de la colocación de residuos y minimizando las emisiones fugitivas a lo largo de la vida operativa del relleno sanitario.

La profundidad de los pozos de captación de biogás debe definirse con base en información confiable del sistema de revestimiento inferior y la masa total de residuos dispuestos en el sitio. Sin embargo, EPA sugiere que deberá garantizarse una separación mínima de aproximadamente 4.5 m (15 pies) respecto al revestimiento inferior de impermeabilización, con el fin de evitar daños

al sistema y la intrusión de lixiviados. En ausencia de esta información, el margen de seguridad debe incrementarse. También se indica que las profundidades típicas de perforación varían entre 12 y 43 m (40 a 140 pies), dependiendo de la altura del relleno y las condiciones del sitio, y que podrían ser mayores en configuraciones especiales. Sin embargo, pozos excesivamente profundos pueden reducir la eficiencia del sistema debido a la dispersión del vacío, la menor permeabilidad de residuos altamente compactados o degradados, y el riesgo de colapso o saturación. Por otro lado, también se menciona de manera general que la longitud del pozo será el 75 % de la profundidad de los residuos o a la distancia desde la superficie del sitio hasta la parte superior del nivel freático, lo que sea menor.<sup>26, 27</sup>

**Figura 7: Pozo de captación de gas de vertedero con cabezal de control y monitoreo**

Fuente: Propia



<sup>26</sup> Environmental Protection Agency. (2021). LFG Energy Project Development Handbook. Capítulo 7: Best Practices for Landfill Gas Collection System Design and Construction. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/pdh\\_chapter7.pdf#:~:text=Waste%20Acceptance%20and%20Filling%20Practices%20Landfill%20intake,other%20GCS%20components%20at%20the%20design%20stage](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/pdh_chapter7.pdf#:~:text=Waste%20Acceptance%20and%20Filling%20Practices%20Landfill%20intake,other%20GCS%20components%20at%20the%20design%20stage)

<sup>27</sup> Environmental Protection Agency. (2021). LFG Energy Project Development Handbook. Apéndice E, Tabla E-2. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/lf-appx-e.pdf>

En los botaderos o en sitios en transición, la gestión del gas suele basarse en ventilaciones pasivas, que simplemente proporcionan una vía de escape para el gas y no ofrecen una mitigación significativa del metano. Los rellenos más avanzados instalan sistemas de recolección de gas bien diseñados, que incluyen pozos verticales y horizontales conectados a colectores, sopladores y unidades de quema controlada o infraestructura para la utilización, lo que permite un control activo de la migración y las emisiones de gas a la atmósfera.

La captura “total” de gas se refiere al funcionamiento de un sistema de gas bien diseñado y mantenido que maximiza la recolección de metano con eficiencias mayores al 80 % en condiciones óptimas. Alcanzar este nivel de rendimiento depende de una profundidad

adecuada de los residuos, la instalación y ampliación oportunas de los pozos de extracción, sistemas de cobertura de baja permeabilidad, un funcionamiento y monitoreo continuos y la inclusión de biocubiertas. En la práctica, las eficiencias de captura en muchos rellenos de la región son sustancialmente más bajas, a menudo oscilando entre el 20 % y el 60 %.<sup>28,29</sup>

Los **sistemas de ventilación pasiva** no emplean medios mecánicos activos y el movimiento del gas se produce principalmente por el gradiente de presión generado por la producción de gas dentro del relleno, que dirige el gas hacia pozos y lo conducen a la superficie.

Los **sistemas de control activos** usan sopladores o ventiladores de extracción que al generar un vacío dentro del relleno extraen el gas hacia una red de pozos y tuberías. **Los componentes principales incluyen:**

- Pozos verticales de extracción de gas. Se instalan normalmente una vez que se ha alcanzado una profundidad suficiente de residuos. Los pozos se perforan en la masa de residuos y evitan que las zonas cercanas a la superficie favorezcan la intrusión de aire o se saturen por altos niveles de lixiviados.<sup>30</sup>
- Colectores de gas horizontales. Se utilizan principalmente en zonas de residuos poco profundas o en las primeras fases operativas, cuando la profundidad de los residuos es insuficiente para soportar pozos verticales. Se usan también en áreas activas o recientemente llenadas y son en especial útiles para zonas con altos niveles de lixiviados. También son usados para el transporte del gas hasta otros colectores más grandes como los cabezales de pozo o directamente a la estación de quema.
- Sistemas de manejo de condensados, sopladores o compresores.
- Sistemas de quema abierta o cerradas y/o instalaciones para el aprovechamiento energéticos del gas.

---

### Figura 8: Antorcha de quema controlada de gas de vertedero

Fuente: Propia



---

<sup>28</sup> Un relleno sanitario de Dinamarca alcanzó una eficiencia media de mitigación de aproximadamente 80–90 %; este implementó un sistema de biocubiertas para mejorar la eficiencia y mostró además que el sistema mantuvo sus altos niveles durante los periodos invernales, incluso con temperaturas bajo cero. Tomado del documento Landfill Operation Guidelines: 3rd Ed., de ISWA.

<sup>29</sup> Los porcentajes en la región son más amplios y corresponde a una mezcla de sistemas de aprovechamiento del gas en ciudades con diferentes características desde el punto de generación de residuos, clima y tecnología implementadas en los rellenos sanitarios.

<sup>30</sup> En muchos vertederos de la región, los pozos de extracción de gas se instalan progresivamente a medida que avanzan las celdas de eliminación, utilizando materiales disponibles localmente, como relleno de piedra triturada y mallas simples o tuberías perforadas. Si bien este enfoque reduce los costos iniciales y permite flexibilidad operativa, a menudo da lugar a profundidades y espaciamientos inconsistentes entre los pozos, un sellado limitado, taponamientos recurrentes y una durabilidad reducida, lo que puede limitar el control eficaz del gas, complicar la implementación de proyectos de gas de vertedero y reducir la eficiencia general de los sistemas de utilización o quema de gas, lo que conduce a emisiones fugitivas continuas de metano.

## Referencias de costos

Muchas de las opciones tecnológicas para implementar en los proyectos de biogás están determinadas por consideraciones económicas. Los gastos de capital y los gastos operativos desempeñan un papel determinante a la hora de definir qué proyectos o municipios pueden implementar de forma realista un determinado tipo de tecnología. Los costes varían enormemente en función

de la escala de la tecnología, las condiciones específicas del emplazamiento y las estructuras de financiación.

El objetivo en esta sección es incluir una referencia económica de los costos para los tomadores de decisión. A continuación, se presentan los valores recopilados por la Iniciativa Global del Metano que permiten visibilizar la escala de inversión para este tipo de proyectos.

**Tabla 4: Costo estimado de los proyectos de gas de vertedero**

Fuente: Dávila Cavazos, J. L. (2023). *Mitigación del metano en vertederos. Presentación técnica.*

Basado en: *Iniciativa Global sobre el Metano (2012), Guía internacional de mejores prácticas para proyectos de energía de gas en vertederos.*

Tecnología	Escala	Coste de capital típico (USD)	Coste típico de operación y mantenimiento (USD)	Notas
Uso directo (calderas, hornos, calentadores)	340-1020 m <sup>3</sup> /h	2,6-2,7 millones de dólares + ~1,7 millones de dólares para la conexión de la tubería	58.000-85.000	Barrera de entrada más baja; requiere usuarios industriales cercanos.
Electricidad: motores de combustión interna	1-3 MW	2,0-5,9 millones	185.000-552.000	Adecuado para rellenos medianos/grandes con flujo de gas estable.
Electricidad – turbinas	3-5 MW	6,3-9,5 millones	398.000-664.000	Mayor intensidad de capital; funciona para grandes ciudades con abundante gas.
Inyección en tuberías (mejora del biometano)	1.020-3.400 m <sup>3</sup> /h	5,8-10,5 millones	266.000-886.000	Requiere gas de alta calidad, instalaciones de mejora y gasoductos cercanos.

Más allá de la inversión de capital, los municipios que estén considerando la posibilidad de utilizar tecnologías de gas de vertedero deben desarrollar un modelo de negocio realista capaz de sostener los costes de operación y mantenimiento a largo plazo. Las fuentes de ingresos – como la venta de electricidad, la venta directa de gas a usuarios industriales, las tasas de vertido,

los créditos de carbono o metano, y los acuerdos de colaboración público-privada – son fundamentales para la viabilidad de este tipo de proyectos. En este contexto, es importante reconocer que este tipo de proyectos tienen también co-beneficios asociados al desarrollo sostenible de las ciudades.

**Figura 9: Cilindros de biogás comprimido permitiendo su comercialización y uso**

Fuente: Propia



#### Por lo general, estos incluyen:

- pozos de monitoreo de aguas subterráneas y muestreo periódico,
- datos sobre la cantidad y la calidad de los lixiviados,
- monitorización de gases en el perímetro y en el emplazamiento con fines de seguridad, e
- inspecciones para controlar los olores, los incendios y otros impactos molestos.

Incluso en los casos en que los gobiernos no exigen la presentación de informes formales sobre el metano, los operadores que llevan a cabo proyectos de recolección de gas suelen mantener información operativa detallada para respaldar el rendimiento del sistema y su mejora continua. Los operadores suelen realizar un seguimiento de la composición del gas del vertedero, los caudales, los niveles de presión y vacío, la generación de condensados y el rendimiento de las antorchas o las unidades de energía.

Esta información se utiliza internamente para optimizar la eficiencia de la captura de gas, mejorar la fiabilidad del sistema, planificar el mantenimiento y la ampliación de la red de recolección de gas y mejorar el rendimiento general de los proyectos de quema o recuperación de energía, reduciendo así los riesgos operativos y las emisiones incontroladas de metano.

#### Salud y seguridad de los trabajadores

Los trabajadores de los rellenos deben llevar equipo de protección personal: cascos, botas, guantes, chalecos reflectantes y máscaras. La formación y los protocolos de seguridad son obligatorios. Los trabajadores protegidos y cualificados garantizan el buen funcionamiento de las operaciones y reducen la exposición del personal a los impactos que podría tener en el sitio de disposición final.

## Gestión ambiental y de riesgos

### Supervisión ambiental

Los programas de monitoreo (agua, lixiviados, gases) actúan como un sistema de alerta temprana al realizar un seguimiento sistemático de las condiciones ambientales y el rendimiento de los rellenos a lo largo del tiempo. Si bien los requisitos específicos de monitoreo varían según la legislación y el marco normativo de cada país en materia de calidad ambiental, la mayoría de las regulaciones comparten un conjunto común de elementos básicos de monitoreo que se aplican a todos los tipos de sitios de disposición final.

## SECCIÓN 4

# Acciones complementarias para la mitigación del metano en los sitios de disposición final

La mitigación del metano en los rellenos sanitarios no se limita a una única solución, sino que se complementan con un conjunto de medidas de ingeniería y operativas, así como de los procesos biológicos que se desarrollan en la masa de residuos. Todos los sitios de disposición final sean incluso pequeños rellenos rurales, producen metano.

En este contexto, a continuación, se resalta la importancia de la desviación de los residuos para la reducción del metano en este sector, así como el fortalecimiento de capacidades a diferentes niveles que permite que las acciones sean implementadas a nivel local.

### Desviación de residuos

Los residuos orgánicos son los principales responsables de la formación de metano en los sitios de disposición final. Los restos de comida, residuos de jardín, cartón y papel, son los flujos de materiales que se descomponen en ausencia de oxígeno dentro de un relleno, produciendo los volúmenes de metano en sector residuos. En la región, donde entre el 50% y el 70% de los residuos sólidos urbanos son orgánicos, el reto es mayor, pero también es una oportunidad para implementar iniciativas centralizadas y descentralizadas de tratamiento de la fracción orgánica.

**Figura 10: Gestión descentralizada de residuos orgánicos a través de una compostera comunitaria y compostaje domiciliario**

*Fuente: Propia*



---

## Figura 11: Gestión centralizada de residuos orgánicos – biodigestor municipal

Fuente: Propia



Es importante mencionar que la **prevención de la generación de residuos y la recuperación de alimentos** también son elementos fundamentales de cualquier estrategia de mitigación del metano. Evitar que los residuos orgánicos entren en el flujo de eliminación no solo reduce las emisiones en su origen, sino que también fortalece los sistemas alimentarios locales. En toda la región, las asociaciones entre los municipios y los bancos de alimentos han demostrado su eficacia para desviar los alimentos comestibles de los sitios de disposición final y redistribuirlos a las comunidades necesitadas. El *Global Food Banking* reporta que en 2024 sus miembros previeron alimento y servicios a 38 millones de personas en 46 países, evitando que 512 millones de kilogramos de alimentos terminen en rellenos con una reducción de emisiones de 1,9 millones de kilogramos de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, la Alianza Global para Alternativas a la Incineración (GAIA), promueve

iniciativas de recuperación de alimentos y su integración en los planes municipales de gestión de residuos, lo que puede reducir significativamente la generación de metano, especialmente cuando se cuenta con el apoyo de políticas locales.<sup>31, 32</sup>

El desvío de los residuos orgánicos es, una de las herramientas más poderosas para la mitigación del metano. Al interceptar el material biodegradable antes de que llegue al relleno, los municipios pueden evitar por completo la formación de metano, al tiempo que obtienen valiosos subproductos. Por otro lado, el compostaje se convierte en un acondicionador del suelo para la agricultura y el paisajismo de las propias áreas verdes municipales; y la digestión anaeróbica, puede producir biogás y sustituir a los combustibles fósiles. Ambos prolongan la vida útil de los sitios de disposición final al reducir el volumen de residuos que llegan a ellos.

---

<sup>31</sup> The Global FoodBanking Network. (2024). Our Impact: Spotlight. <https://www.foodbanking.org/our-impact/spotlight/>

<sup>32</sup> GAIA, 2023. Cero residuos y recuperación de alimentos en América Latina. [https://www.no-burn.org/es/latin-america-the-caribbean/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.no-burn.org/es/latin-america-the-caribbean/?utm_source=chatgpt.com)

### Los beneficios se extienden a:

- **Climático:** reducción directa de la generación de metano en los sitios de disposición final.
- **Economía:** el compost y el biogás crean mercados locales, mientras que la reducción de los lixiviados ahorra costes de tratamiento.
- **Sociedad:** nuevos puestos de trabajo en el reciclaje, el compostaje y la gestión de residuos orgánicos.
- **Gobernanza:** disminuye la presión operativa sobre los rellenos sanitarios, por lo que se prolonga la vida útil de estos sitios y se reducen los costos de operación; y en consecuencia se asignan los recursos más eficientemente y se planifica a largo plazo.

Como precedentes internacionales, la Directiva sobre vertederos de la Unión Europea (1999/31/CE) exigía a los Estados miembros reducir la cantidad de residuos municipales biodegradables enviados a los vertederos, hasta alcanzar un máximo del 35 % de los niveles de 1995 en un plazo de 15 años a partir de la fecha límite de transporte establecida en la Directiva (antes de 2016). El cumplimiento exigía objetivos de desviación estrictos, sanciones e inversiones a gran escala en compostaje y digestión. Consecuentemente las emisiones de metano procedentes de los residuos se redujeron drásticamente. Alemania, por ejemplo, ha reducido sus emisiones de metano en más de un 90 % entre 1995 y 2021, con una disminución del 98 % en el vertido de residuos entre 1995 y 2006 como resultado de una ordenanza sobre la eliminación de residuos y la prohibición de los vertederos en 2001 y 2005, respectivamente.<sup>33, 34, 35</sup>

De manera similar, el Reino Unido introdujo el Reglamento sobre vertidos de 2002, que redujo los vertidos en un 88 % entre 2002 y 2021 y contribuyó a reducir en más de un 70 % las emisiones de metano procedentes de los residuos.<sup>36, 37, 38</sup>

Para Latinoamérica y el Caribe, la lección no consiste en replicar de manera literal el enfoque europeo, sino adaptarlo de forma estratégica a los contextos nacionales y locales. La región podría adoptar objetivos progresivos de desviación, incentivar el compostaje y la digestión mediante reformas de las tasas de disposición y aprovechar la financiación climática para aliviar los costos iniciales. Así mismo, el desarrollo de programas de formación para operadores y reguladores garantizarían el cumplimiento de las normas técnicas.

La ecuación es simple pero transformadora: **política + normas operativas + incentivos financieros = reducciones escalables de metano**. Incluso en una región caracterizada por la diversidad de tipologías de sitios de disposición final, el desvío de residuos orgánicos ofrece una estrategia unificadora que reporta beneficios tanto ambientales como económicos.

## Desarrollo de capacidades

La gestión eficaz de los sitios de disposición final depende del desarrollo y fortalecimiento sostenido de capacidades. Incluso el sistema de revestimiento o antorcha más avanzado fracasarán si las personas que lo gestionan carecen de las habilidades, los recursos o la autoridad para gestionarlos adecuadamente.

En toda la región de LAC existen muchos municipios pequeños y medianos que operan con un personal técnico muy pequeño. Adicionalmente, los operadores de rellenos a menudo no tienen formación oficial en ingeniería o gestión medioambiental. Por lo tanto, las decisiones que deberían basarse en la hidrología, la dinámica de los gases o las normas de compactación se toman, en cambio, por intuición. El resultado: fallos prematuros de las instalaciones, emisiones incontroladas y aumento de los costes.

<sup>33</sup> OCDE. (2025). Residuos: residuos municipales: generación y tratamiento: <https://data-explorer.oecd.org/>

<sup>34</sup> CMNUCC. (2021). Datos del inventario de GEI: comparación por gas. [https://di.unfccc.int/comparison\\_by\\_gas](https://di.unfccc.int/comparison_by_gas)

<sup>35</sup> Ministerio de Medio Ambiente, Acción Climática, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear. (2001). Ordenanza sobre eliminación de residuos.

<sup>36</sup> Legislación del Reino Unido. (2002). Normativa sobre vertederos (Inglaterra y Gales) de 2002. <https://www.legislation.gov.uk/ukdsi/2002/0110395905/contents>

<sup>37</sup> OCDE. (2025). Residuos: residuos municipales: generación y tratamiento: <https://data-explorer.oecd.org/>

<sup>38</sup> CMNUCC. (2021). Datos del inventario de GEI: comparación por gas. [https://di.unfccc.int/comparison\\_by\\_gas](https://di.unfccc.int/comparison_by_gas)

El fortalecimiento de la capacidades debe considerarse un proceso multifacético, no un evento único de un simple taller de formación. **Para que sea eficaz, debe coordinarse entre los diferentes niveles institucionales, cada uno con responsabilidades distintas:**

- **A nivel de operadores**, se necesitan habilidades prácticas, como la compactación adecuada de los residuos, la aplicación de cubiertas diarias e intermedias, el manejo de lixiviados y las medidas de control de gases.
- **A nivel de ingenieros municipales**, se requieren habilidades de gestión y operativas, capacidad para diseñar y/o supervisar las actividades de gestión de residuos, garantizando también el cumplimiento de la normativa gubernamental. Este nivel también sirve de puente entre la operación y el nivel de política nacional.
- **A nivel de políticas**, se requiere conocimiento general de la problemática para hacer cumplir las normas e integrar el control del metano en las estrategias climáticas y de residuos. Los servidores públicos no solo necesitan la autoridad formal para hacer cumplir las normas; también deben tener un conocimiento básico de la complejidad técnica de los sitios de disposición final y las opciones de mitigación del metano. Este conocimiento es esencial para desarrollar normativas realistas, alinear las estrategias de gestión de residuos y climáticas, asignar los recursos de manera eficaz y crear marcos normativo y des política pública propicios que traduzcan los compromisos en acciones viables.

El desarrollo de capacidades puede abordarse por fases. A **corto plazo**, los esfuerzos pueden centrarse en la elaboración de manuales nacionales de funcionamiento de los rellenos, la puesta en marcha de programas de certificación de operadores y la aplicación de modelos de formación de formadores para ampliar los conocimientos especializados. A **medio plazo**, las prioridades podrían incluir el establecimiento de centros de formación regionales o nacionales, la integración de la gestión de rellenos sanitarios en los planes de estudios de ingeniería de las universidades y la introducción de licencias obligatorias para los operadores. A **largo plazo**, el desarrollo de capacidades puede evolucionar hacia sistemas de acreditación regionales, el desarrollo profesional continuo y una mayor integración de la mitigación del metano en los marcos de políticas públicas y de residuos.

## SECCIÓN 5

# Conclusiones

La mitigación del metano procedente de los rellenos representa una oportunidad climática rentable y disponible a corto y largo plazo, no solo a través de infraestructuras avanzadas, sino también mediante la mejora de las prácticas operativas diarias adaptadas a las condiciones locales.

Un enfoque por fases, alineado con el tamaño de la población y la tipología del emplazamiento, permite a los gobiernos y municipios comenzar con controles operativos básicos, reforzar progresivamente el rendimiento medioambiental e institucionalizar sistemas más avanzados cuando el volumen de residuos y los recursos lo justifiquen. Medidas como la compactación adecuada, la aplicación de cubiertas, el control de lixiviados y la gestión básica de gases sientan las bases para sistemas más sofisticados de captura de gases de vertedero, quema o recuperación de energía a lo largo del tiempo.

Los municipios más pequeños pueden centrarse en normas mínimas e intervenciones de bajo costo para reducir las emisiones no controladas y planes de cierre acorde a sus circunstancias; mientras que las ciudades más grandes pueden aprovechar las economías de escala para apoyar la captura total de gases, la recuperación de energía a largo plazo tras el cierre. En todos los contextos, la formación continua, las normas operativas claras y la supervisión constante son esenciales para traducir el potencial técnico en reducciones duraderas de metano.

En conjunto, estas recomendaciones proporcionan una vía práctica para que el sector de los residuos de América Latina y el Caribe pase de las mejoras incrementales a la mitigación sistemática del metano, alineando las operaciones de los rellenos sanitarios con objetivos ambientales y climáticos más amplios, sin perder de vista la realidad operativa.