

# Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Estructura de costos del servicio y estimación de los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Autores:

Magda Carolina Correal

Carlos Faleiro

Carolina Piamonte

Juan Alfredo Rihm

Marcela Zambrano

División de Agua y  
Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN 2663

Marzo 2023

# Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Estructura de costos del servicio y estimación de los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Autores:

Magda Carolina Correal

Carlos Faleiro

Carolina Piamonte

Juan Alfredo Rihm

Marcela Zambrano

## Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe: estructura de costos del servicio y estimación de los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible / Magda Correal, Carlos Faleiro, Carolina Piamonte, Alfredo Rihm, Marcela Zambrano; editores, Claudia M. Pasqueti, Alejandra Abrodos.  
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2663)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Refuse and refuse disposal-Economic aspects-Latin America. 2. Refuse an refuse disposal-Economic aspects-Caribbean Area. 3. Recycling (Waste, etc.)-Economic aspects-Latin America. 4. Rycling (Waste, etc.)-Economic aspects-Caribbean Area. 5. Circular economy-Latin America. 6. Circular economy-Caribbean Area. 7. Sustainable development-Latin America. 8. Sustainable development-Caribbean Area. I. Correal, Magda. II. Faleiro, Carlos. III. Piamonte, Carolina. IV. Rihm, Alfredo. V. Zambrano, Marcela. VI. Pasquetti, C. M. (Claudia María), editora. VII. Abrodos, Alejandra, editora. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. IX. Serie.

IDB-TN-2663

Palabras clave: valorización, residuos sólidos, América Latina y el Caribe, manejo de residuos sólidos, tratamiento, reciclaje, residuos plásticos, estudios de costos, sostenibilidad financiera, metas de cumplimiento, Objetivos de Desarrollo Sostenible, políticas públicas, economía circular.

JEL code: Q53

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Estructura de costos del servicio y estimación de los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible



**El Sector de Instituciones para el Desarrollo fue responsable de la producción de la publicación.**

**Colaboradores externos:**

Revisión editorial: Alejandra Abrodos y Claudia M. Pasquetti

Diagramación: Erik Wegner (erik@erko.com.uy)

**Texto para referenciar nota técnica:**

Para citar este documento: Correal, M. Faleiro, C. Piamonte, C. Rihm, A. Zambrano, M (2023).

Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y El Caribe.

Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0004797>



## Prólogo

La gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe ha venido evolucionando positivamente en las últimas décadas. No obstante, aún queda un largo camino por recorrer para cerrar la brecha de cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos, incrementar la circularidad y la valorización de los recursos, y minimizar y asegurar la disposición adecuada de los residuos que no puedan ser valorizados. La región requiere con urgencia transformar la gestión de los residuos sólidos y avanzar hacia una economía circular que gestione de manera integrada los residuos sólidos.

Una inadecuada gestión de residuos sólidos genera externalidades negativas que representan entre tres y cinco veces el costo de una correcta gestión (Global Waste Management Outlook). Esta inadecuada gestión genera problemas de salud pública, contaminación ambiental, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación de los océanos con plásticos, bloqueo de los drenajes e inundaciones y múltiples pérdidas económicas derivadas, las cuales afectan de manera desproporcional a las poblaciones más vulnerables. Es mucho más económico para la sociedad hacer una gestión adecuada de residuos que continuar con el vertimiento descontrolado de los mismos.

Esta nota técnica presenta la estimación de los recursos requeridos en inversión, operación, mantenimiento y fortalecimiento institucional para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales en la región y avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Asimismo, propone metas, estima costos de referencia de actividades del sector, y calcula los recursos requeridos para alcanzar dichas metas. Esto permitirá a los gobiernos y agentes interesados explorar opciones de financiación que aseguren recursos a lo largo de los años de ejecución y operación de los proyectos, logrando así materializar los beneficios de estos.

Igualmente, el estudio resalta lo fundamental de fortalecer las capacidades institucionales y la gestión administrativa, operativa y financiera mediante la participación de los distintos actores de la cadena de gestión y el compromiso de los generadores y los usuarios en el reconocimiento económico de los servicios. Por ende, es importante implementar programas que incentiven el cambio de comportamiento en relación con los residuos sólidos, incluyendo hábitos de consumo, disminución en la generación, acciones de separación e incremento de la valorización. De igual forma, es imperativo avanzar en la adopción de nuevas tecnologías, herramientas digitales y estrategias de innovación para una gestión de los residuos sólidos eficiente y eficaz, adaptada a los contextos de la región. Esta adopción de nuevas estrategias en digitalización y tecnología permitirá acelerar los cambios de comportamiento y la participación de los usuarios en los esquemas de gestión de residuos necesarios para la sostenibilidad de los servicios.

El Banco Interamericano de Desarrollo, a través de la División de Agua y Saneamiento, continuará apoyando a los países en definir, construir, fortalecer y obtener recursos para transformar la gestión de residuos sólidos y avanzar hacia la economía circular en nuestra región.

**Sergio Campos G.**

Jefe de la División de Agua y Saneamiento  
Banco Interamericano de Desarrollo

# CONTENIDO

<b>SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA REGIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2. PROPUESTA DE METAS DE MEJORA DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>13</b>
<b>3. COSTOS DE REFERENCIA DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO</b> .....	<b>18</b>
3.1. Recolección, transporte y transferencia	18
3.2. Recuperación y valorización	19
3.3. Disposición final en relleno sanitario	22
3.4. Cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados y clausura de rellenos sanitarios	23
<b>4. ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS NECESARIOS PARA MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>25</b>
4.1 Resultados de recursos necesarios en América Latina y el Caribe	25
4.2 Análisis de sensibilidad de los datos	29
4.3 Beneficios derivados de la mejora en la gestión de residuos sólidos municipales	29
4.4 Caso de estudio: cálculo de recursos necesarios para Brasil en 2025	31
<b>5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS CON VISTAS AL FUTURO</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>37</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>39</b>
Anexo 1. Glosario	39
Anexo 2. Metodología	41
Línea base	41
Generación de residuos	43
Cobertura del servicio de recolección	44
Definición de metas	44
Estimación de costos unitarios	47
Recolección, transporte y transferencia	47
Relleno sanitario	49
Valorización	51
Estimación de los recursos requeridos para el cumplimiento de las metas propuestas	55
Anexo 3. Costos de inversión por actividad según la capacidad	57
Anexo 4. Fórmulas para el cálculo de los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	58
Indicador 11.6.1: Proporción de residuos sólidos municipales recogidos y administrados en instalaciones controladas con respecto al total de residuos municipales generados, desglosada por ciudad	58
Indicador 12.5.1: Tasa nacional de reciclado, en toneladas de material reciclado	58
Anexo 5.	59
1. Proceso de cálculo para la estimación de costos	59
2. Resumen de pasos y guía para los cuadros 14 al 18	63
Anexo 6. Resultados por país	66

# LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Promedio anual de necesidades de recursos para mejorar la gestión de residuos en América Latina y el Caribe, 2021-30	7
Cuadro 2.	Indicador 11.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Niveles de prestación del servicio	14
Cuadro 3.	Relación entre los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los indicadores de este estudio	15
Cuadro 4.	Metas anuales de mejora	16
Cuadro 5.	Línea de base en 2018 y proyección para 2030 de indicadores según las metas de cumplimiento	17
Cuadro 6.	Costos de recolección y transferencia en zonas rurales y urbanas	19
Cuadro 7.	Costos de transporte hasta el sitio de disposición final	19
Cuadro 8.	Coeficientes para el cálculo del costo por unidad en plantas de tratamiento físico y biológico	20
Cuadro 9.	Coeficientes para el cálculo del costo por unidad en plantas de valorización energética	22
Cuadro 10.	Coeficientes para el cálculo del costo por unidad para sitios de disposición final	23
Cuadro 11.	Costos operativos de cierre de botaderos a cielo abierto y clausura de rellenos sanitarios (en toneladas anuales ingresadas)	24
Cuadro 12.	Costos regionales, 2021-30 (promedio anual)	25
Cuadro 13.	Resumen de costos de gestión de residuos sólidos municipales para América Latina y el Caribe	25
Cuadro 14.	Brasil: Indicadores y datos de país	31
Cuadro 15.	Brasil: Estimación de costos de recolección y transporte de residuos para 2025	32
Cuadro 16.	Brasil: Estimación de costos de disposición final para 2025	33
Cuadro 17.	Brasil: Estimación de costos de valorización para 2025	34
Cuadro 18.	Brasil: Estimación de costos totales para 2025	34
Cuadro 19.	Estado de la gestión integral de residuos sólidos en línea base, 2018	42
Cuadro 20.	Término independiente para el cálculo de la generación de residuos sólidos municipales en la región	43
Cuadro 21.	Metas de incremento anual de la cobertura del servicio de recolección	44
Cuadro 22.	Metas de reducción anual para los botaderos a cielo abierto	46
Cuadro 23.	Metas de reducción anual para los vertederos controlados	47
Cuadro 24.	Datos para la estimación de los gastos de capital y de operación en recolección, transporte y transferencia	48
Cuadro 25.	Datos de proceso para la estimación de los gastos de capital y de operación para la valorización	53
Cuadro 26.	Datos de proceso para la estimación de los gastos de capital y de operación para la valorización energética	54
Cuadro 27.	Costos de inversión por actividad	57
Cuadro 28.	Variables utilizadas para la estimación de costos	59
Cuadro 29.	Siglas correspondientes a los costos unitarios por actividad	59
Cuadro 30.	Necesidades de inversión por país	66



# LISTA DEL GRAFICOS

Gráfico 1.	Destinos de los residuos recolectados	11
Gráfico 2.	Costos de inversión y operación de plantas de tratamiento físico y biológico	20
Gráfico 3.	Costos de inversión y operación de plantas de valorización energética	21
Gráfico 4.	Costos de inversión y operación del relleno sanitario	22
Gráfico 5.	Necesidades de inversión para mejorar la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe , 2018-30	26
Gráfico 6.	Costo total de la gestión de residuos sólidos en la región, 2018-30 (en dólares por tonelada)	27
Gráfico 7.	Costo total de la gestión de residuos sólidos en la región, 2018-30 (como porcentaje del PIB)	27
Gráfico 8.	Costo total de la gestión de residuos sólidos por habitante atendido por año, 2018-30	28

# SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ALC	América Latina y el Caribe
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAPEX	gastos de capital
COVID-19	enfermedad por coronavirus de 2019
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
FMI	Fondo Monetario Internacional
GEI	gases de efecto invernadero
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OPEX	gastos de operación
PPC	producción per cápita
RSM	residuos sólidos municipales

# RESUMEN EJECUTIVO

La gestión de residuos en América Latina y el Caribe ha mejorado considerablemente en las últimas décadas. No obstante, aún persisten retos importantes en el sector: existe una brecha en la cobertura de recolección y transporte, en especial en las áreas rurales y en las zonas urbanas de difícil acceso; se dispone en sitios inadecuados una proporción sustancial de los residuos y las tasas de valorización son bajas.

Además, la generación de residuos sólidos municipales en los 26 países miembros prestatarios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)<sup>1</sup> muestra una tendencia al aumento, lo cual implica la necesidad de infraestructura adecuada y gestión apropiada para su manejo. En ese sentido, en 2018 la generación anual de residuos alcanzó 224 millones de toneladas, y se espera que esta cifra ascienda a 259 millones de toneladas en 2030. Al mismo tiempo, los desafíos actuales vinculados con, por ejemplo, el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por Naciones Unidas en 2015, la mitigación del cambio climático, la reducción de la contaminación por plásticos y la transición hacia una economía circular impulsan una gestión de residuos más sostenible y eficiente.

Sin embargo, la falta de información y de datos actualizados dificulta la definición de planes, estrategias y presupuestos para el sector. En consecuencia, no se cuenta con metas ni estimaciones de los recursos requeridos para universalizar la recolección de residuos, asegurar la disposición final adecuada e incrementar la valorización. Así, la carencia de datos le impone al sector una barrera para avanzar hacia una mejor gestión de los residuos.

Con base en esta necesidad, este estudio presenta una primera estimación de los recursos requeridos en inversión, operación y mantenimiento y fortalecimiento institucional para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales en los países miembros prestatarios del Banco en la región.

La metodología empleada determinó indicadores y metas clave de mejora para el sector, así como su proyección a 2030. Las metas propuestas se basan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible asociados a la gestión integral de residuos sólidos: Meta 6 del Objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”; Metas 3 y 5 del Objetivo 12 “Producción y consumo responsables” y Meta 1 del Objetivo 14 “Vida submarina”.

Luego, se establecieron costos de referencia de las actividades correspondientes a la gestión de residuos sólidos municipales y se calcularon los recursos de inversión, operación y mantenimiento necesarios para el logro de las metas trazadas para cada país. Sobre esa base fue posible estimar la brecha (o *gap*) financiera entre los recursos que actualmente se destinan al sector y los recursos que el sector requiere para cumplir las metas.

Vale señalar que este ejercicio no incluye las actividades de barrido y lavado, corte de césped o poda de árboles en vías y áreas públicas y no tiene en cuenta variaciones entre países en costos como salarios, combustibles e impuestos, entre otros. Asimismo, el análisis abarca solo los residuos sólidos municipales y no comprende residuos de manejo especial, de construcción y demolición, residuos eléctricos y electrónicos, industriales o peligrosos.

1 Los países miembros prestatarios del BID son: Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Los análisis y los datos presentados en esta publicación corresponden a este conjunto de países, por lo cual al hacer referencia a la región se alude a los miembros prestatarios aquí detallados.

Los resultados indican que **se necesitan, en promedio, US\$13.400 millones por año para alcanzar las metas propuestas para 2030** (véase el cuadro 1). Del valor anterior, US\$2.800 millones corresponden a inversiones, US\$10.000 millones están destinados a operación y mantenimiento y los US\$600 millones restantes conciernen a fortalecimiento institucional. De modo que la región deberá disponer de una cifra estimada en US\$34.000 millones en los próximos ocho años para cumplir las metas aquí trazadas.

Cuadro 1. Promedio anual de necesidades de recursos para mejorar la gestión de residuos en América Latina y el Caribe, 2021-30

Total de países	Costos totales (US\$/t)	Costos totales (US\$/hab.-año)	CAPEX (millones US\$/año)	OPEX (millones US\$/año)	Costos institucionales (millones US\$/año)	Costos totales (millones US\$/año)	Brecha financiera total (millones US\$)
Promedio anual 2021-30	56	20	2.800	10.000	600	13.400	34.000

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El total de países abarca los 26 miembros prestatarios del BID.

Con estos recursos se incrementaría la tasa de valorización de residuos del 4% al 30%, se reduciría la cantidad de residuos dispuestos en botaderos a cielo abierto y sitios no autorizados del 39% al 5%, se aumentaría la tasa de cobertura de recolección del 95% al 99% en el área urbana y del 75% al 88% en el área rural. De esta forma la disposición final en relleno sanitario pasaría del 57% al 46% de los residuos generados.<sup>2</sup>

Considerando lo anterior, la estructura de costos de inversión y de operación es, en promedio, del 20% y del 80%, respectivamente. En el caso de instalaciones de valorización energética, la proporción cambia de modo considerable, ya que domina la inversión, con un 70%, frente a una operación del 30%. En general, la distribución de los costos pone de manifiesto la necesidad de asegurar la regularidad en la asignación de los recursos durante la etapa operativa en el sector de residuos sólidos. De lo contrario, las inversiones realizadas no logran cumplir su función y las mejoras esperadas no se producen.

Los costos de gestión de los residuos sólidos (recolección, transporte, valorización y disposición final) tendrán que subir de manera progresiva de US\$45 por tonelada en 2018 a US\$68 por tonelada en 2030. De acuerdo con la producción per cápita de residuos, este valor equivale a US\$1,3/hab.-mes en 2018 y US\$2,1/hab.-mes en 2030. De igual forma, con base en una familia conformada por cuatro personas, se estima que el valor mensual del servicio a 2030 debe acercarse a US\$8,3/hogar-mes.

En promedio, estos resultados constituyen el 0,23% del producto interno bruto (PIB) anual de los países, con un rango de entre el 0,1% y el 0,9%. Según estimaciones que recoge la literatura especializada, lo ideal es que los países inviertan hasta el 1% de su PIB anual en la gestión de residuos sólidos municipales (UNEP e ISWA, 2015). Por lo cual, los cálculos de este ejercicio se encuentran en el rango esperado para asignación de recursos en inversión y operación. Sin embargo, cuanto mayor sea el rezago en la gestión actual de los residuos sólidos municipales de cada país, mayores serán las necesidades de recursos con relación al PIB.

Aunque este ejercicio es una estimación preliminar, y no sustituye los estudios de factibilidad, inversión o análisis a nivel detallado, proporciona un punto de partida sobre las metas, y los costos asociados a su cumplimiento, para la gestión sostenible de los residuos sólidos municipales.

<sup>2</sup> Los residuos de rechazo de la actividad de tratamiento que requieran disposición final deberán ser llevados a rellenos sanitarios. Para mayor detalle, revítese el cuadro 5.

A futuro, es preciso validar estos resultados por medio de estudios que permitan determinar el presupuesto que cada país está destinando hoy a la gestión de residuos sólidos, así como la eficiencia y la efectividad de los recursos invertidos, a fin de establecer la brecha financiera del sector y definir las necesidades de mejora ajustadas a cada contexto.

En ese sentido, es fundamental fortalecer las capacidades institucionales y la gestión administrativa, operativa y financiera mediante la adopción de nuevas fuentes de financiamiento, la participación de los distintos actores de la cadena de gestión y el compromiso de los generadores y los usuarios en el reconocimiento económico de los servicios.

Asimismo, es esencial profundizar la valoración de los beneficios sociales, económicos y ambientales y el efecto multiplicador que genera una adecuada gestión de residuos, con el fin de buscar mecanismos que permitan obtener recursos a partir de la monetización de estos cobeneficios (por ejemplo, con ingresos derivados de certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero) y, de esta forma, incrementar las fuentes de ingreso para asegurar la sostenibilidad de las soluciones.

No obstante, para lograr este objetivo los países necesitan contar con información actualizada y certera del estado de la gestión de los residuos sólidos municipales, para lo cual resultan fundamentales el levantamiento de datos, la publicación de información y la cooperación entre países de la región a través de la socialización de experiencias, en especial si se tiene en cuenta que los países más rezagados de la región tendrán los mayores retos.

# INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe (ALC) enfrenta grandes desafíos en la gestión de los residuos sólidos municipales (RSM). Existen deficiencias de cobertura del servicio de recolección, aún se disponen los residuos en botaderos a cielo abierto y algunos rellenos sanitarios presentan fallas en la operación o su vida útil es escasa. Al mismo tiempo, las tasas de reciclaje son bajas, en tanto que el aprovechamiento de residuos orgánicos y la valorización energética son prácticamente inexistentes. De igual forma, la generación de residuos continúa creciendo en la región, en especial de plásticos, que suman 28 millones de toneladas al año (Cocker et al., 2020).

Por otro lado, la información disponible sobre la gestión de residuos en los países es limitada (en algunos casos no se recolecta información y en otros no se encuentra actualizada), lo cual obliga a considerar los datos del sector con reserva, y no hay unidad de criterio en los términos y las definiciones empleados en la región al obtener indicadores y cifras.

Si bien la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible que adoptó Naciones Unidas en 2015 establece objetivos relacionados con la mejora de la gestión de los residuos sólidos, hasta el momento solo algunos de los países de la región elaboraron metas cuantitativas puntuales, como Colombia (DNP, 2018). Este escenario dificulta la estimación de los costos que implica cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la determinación de avances y debilidades.

Ante esta situación, el presente estudio tiene por objeto estimar las necesidades de recursos para alcanzar las mejoras en la gestión de los RSM, en el marco de los ODS, en los 26 países miembros prestatarios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)<sup>3</sup> así como incorporar de manera progresiva la economía circular, que propende a la reducción de la generación de residuos, la optimización del uso de los recursos y la valorización de los residuos generados, entre otros factores. Los objetivos específicos de este estudio son:

- Proponer escenarios con metas de gestión adecuada de RSM a 2030, como la ampliación del servicio de recolección, el incremento de la tasa de valorización de residuos, el cierre de los botaderos a cielo abierto y demás sitios inadecuados de disposición final existentes y la disposición final de los residuos que no puedan ser valorizados en rellenos sanitarios.
- Estimar los recursos de inversión, operación, mantenimiento y fortalecimiento institucional necesarios para lograr estas metas en ALC.

Cabe resaltar que los recursos institucionales son fundamentales para lograr una gestión adecuada de los residuos en la región, puesto que los resultados esperados se producen a partir de los esfuerzos continuos en gobernanza, la participación de los diferentes actores (población, gobiernos, operadores del servicio y sus empleados, recicladores de oficio, industria, etc.) y la innovación de los programas e inversiones implementados.

Asimismo, se debe destacar la relevancia de los programas para generar cambios de comportamiento en la ciudadanía. Por un lado, para promover la prevención y la reducción en la generación de residuos y, por otro lado, para concienciar acerca del pago por los servicios recibidos, lo cual permitirá el fortalecimiento de los esquemas de prestación y la introducción de nuevas tecnologías. En ese sentido, la planificación institucional de las fuentes de financiamiento, el cobro, el monitoreo, la generación de información y los programas de in-

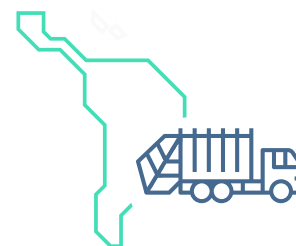
3 Los países incluidos en el estudio son: Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Los análisis y los datos presentados en esta publicación corresponden a este conjunto de países, por lo cual al hacer referencia a la región se alude a los miembros prestatarios aquí detallados.

volucramiento de las personas serán esenciales para lograr resultados óptimos en la región.

Los autores agradecen los importantes aportes recibidos de los revisores del documento: María Julia Bocco, economista principal de la División de Agua y Saneamiento del BID; Keisuke Sasaki, especialista senior de la División de Agua y Saneamiento del BID; Atilio Savino, presidente del Capítulo Regional de ISWA para América Latina y el Caribe, y Sirly Castro, experta sectorial.

# 1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA REGIÓN

Se estima que la generación anual promedio de residuos sólidos municipales (RSM) en América Latina y el Caribe para 2018 fue de 224 millones de toneladas (cifra que equivale a 1,02 kg/hab. al día).<sup>4</sup> En 2020 la pandemia de COVID-19 provocó una reducción estimada del 6% en la generación de RSM (211 millones de toneladas), vinculada con la caída del producto interno bruto (PIB) per cápita.



Para 2030 se calcula que la generación de RSM llegará a 259 millones de toneladas, lo cual traerá asociado un incremento en la demanda de servicios, infraestructura y capacidad empresarial e institucional. Cerca del 74% del total de la generación de residuos sólidos en la región corresponde a Argentina, Brasil, Colombia y México.

Es de esperar que a lo largo del tiempo se produzca un aumento en la generación de RSM como consecuencia del crecimiento y la distribución de la población, la producción per cápita (PPC) de residuos en áreas urbanas y rurales y el desarrollo económico de cada uno de los países (Kaza et al., 2018), aspectos que fueron considerados para la proyección de la generación de residuos en el presente estudio.

La cobertura de recolección de RSM en la región para 2018 fue del 95%<sup>5</sup> en zonas urbanas y del 75% en zonas rurales. En términos de cobertura urbana, las tasas más bajas de recolección se encuentran en dos países de la región con valores del 24% y el 67%, mientras que los demás países muestran porcentajes superiores al 70%. En cuanto a la cobertura rural, 12 de los 26 países presentan porcentajes inferiores al 70%, lo cual en los países con coberturas más bajas implica tasas del 1%, 6%, 12% y 15%.

A los efectos del presente estudio, se asume que el porcentaje total de residuos recolectados se destina a algún tipo de instalación, ya sea de valorización o de disposición final (véase el gráfico 1).

Gráfico 1. Destinos de los residuos recolectados



Fuente: Elaboración propia.

<sup>4</sup> La estimación de la generación de residuos se realizó a partir de Kaza et al. (2018), las bases de datos del Fondo Monetario Internacional (FMI, 2020) y del Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2018).

<sup>5</sup> Los porcentajes incluidos hacen referencia a la razón con respecto a la masa

Del total de RSM generados en 2018 en la región, el 4%, en promedio, fue sometido a proceso de valorización, el 57% fue depositado en rellenos sanitarios y el 39% fue llevado a sitios inadecuados de disposición.<sup>6</sup> Los indicadores de línea base de generación, cobertura y gestión de los residuos para cada uno de los países evaluados se detallan en el anexo 2.

<sup>6</sup> El 12,5% de los sitios inadecuados de disposición corresponde a vertederos controlados y el 26,5% a botaderos a cielo abierto.



## 2. PROPUESTA DE METAS DE MEJORA DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

En 2015, los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En relación con la gestión de residuos sólidos, la Agenda 2030 presenta las siguientes metas (Naciones Unidas, 2020):



- 11.6. A 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la **gestión de los desechos municipales** y de otro tipo.
- 12.3. A 2030, **reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial** en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y **reducir las pérdidas de alimentos** en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha.
- 12.5. A 2030, **reducir considerablemente la generación de desechos** mediante actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización.
- 12.a. Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer la capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.
- 14.1. A 2025, **prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo**, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la contaminación por nutrientes.

Para la medición de las metas se dispone de los siguientes indicadores:

- 11.6.1. Proporción de residuos sólidos municipales recogidos y administrados en instalaciones controladas con respecto al total de residuos municipales generados, desglosada por ciudad.<sup>7</sup>
- 12.5.1. Tasa nacional de reciclado, en toneladas de material reciclado.<sup>8</sup>

Estos indicadores incluyen la metodología de cuantificación respectiva (Naciones Unidas, 2021a) para que los países puedan hacer el reporte correspondiente en la Base de Datos Mundial de Indicadores de los ODS (Naciones Unidas, 2022).



Fuente: Imagen generada con materiales de comunicación de la ONU

7 Para más información, véase el enlace <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-06-01.pdf>.

8 Para más información, véase el enlace <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-12-05-01.pdf>.

El **indicador 11.6.1** de los ODS tiene como objetivo la medición del desempeño de la gestión de los residuos sólidos municipales (RSM) de las ciudades. Para ello considera las siguientes variables: el total de toneladas de RSM generadas, el total de toneladas de RSM recolectadas, población con acceso al servicio básico de recolección de RSM, el total de RSM que son dispuestos en instalaciones controladas y la composición de los RSM (Naciones Unidas, 2021a). En lo que respecta a la prestación del servicio de recolección de RSM, la metodología del indicador define distintos niveles, los cuales se pueden encontrar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Indicador 11.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Niveles de prestación del servicio

Nivel	Descripción
Completo	Contempla la prestación del servicio de recolección semanal puerta a puerta, o en un punto designado de recolección a no más de 200 metros del origen, y con separación de los RSM en al menos tres corrientes de residuos.
Mejorado	Contempla la prestación del servicio de recolección semanal puerta a puerta y con separación de los RSM en al menos dos corrientes de residuos. Debe haber un punto de recolección a no más de 200 metros del origen para dos corrientes separadas de residuos.
Básico	Hace referencia a la recolección semanal puerta a puerta, o en un punto designado de recolección a no más de 200 metros del origen, que no cuenta con recolección diferenciada de RSM.
Limitado	Contempla la prestación del servicio de recolección de manera irregular, a intervalos indeterminados (no respeta una frecuencia semanal), puerta a puerta o en un punto designado de recolección que puede estar a más de 200 metros del origen y sin recolección diferenciada.
Sin servicio	No existe la prestación del servicio de recolección para los hogares.

Fuente: Elaboración propia con base en Naciones Unidas (2021b).

La metodología también describe diferentes niveles de **calidad del servicio** (*control completo, control mejorado, control básico, control limitado y sin control*) con base en el control operativo más que en la ingeniería o el diseño de la instalación (Naciones Unidas, 2021b). La metodología divide las **instalaciones de manejo/tratamiento** en tres categorías: rellenos sanitarios, incineración con recuperación de energía y otro tipo de instalaciones. Dentro de esta última categoría pueden estar las plantas de clasificación y separación de materiales reciclables, las plantas de compostaje o las plantas de digestión anaerobia (Naciones Unidas, 2021b).

Por su parte, el **indicador 12.5.1** de los ODS mide la tasa nacional de reciclado, para hacer la relación entre el total de materiales reciclados y el total de residuos generados por el país. Para este indicador, los ODS incluyen el compostaje y la digestión anaerobia como parte del reciclaje, pero excluyen los procesos de valorización energética, ya que los considera una alternativa controlada de manejo (Naciones Unidas, 2021a).

En la actualidad, el nivel de reporte de los indicadores es muy bajo. Por ejemplo, en el caso del indicador 11.6.1, solo 12 países (el 46%) de los 26 miembros prestatarios del BID realizan el reporte; en tanto que para el indicador 12.5.1, apenas 12 países de la región informan datos (Alarcón, 2020). Aunque en los últimos años se ha trabajado en la mejora de la disponibilidad de datos comparables, todavía existen vacíos en cuanto a la cobertura geográfica, la periodicidad y el nivel de desglose de los datos, así como en la compilación y difusión de metadatos que documenten la calidad de los datos e indicadores de los ODS (Naciones Unidas, 2021a).

Las metas y los indicadores mencionados sirvieron como referencia para la definición en este estudio de metas específicas para cada uno de los 26 países miembros prestatarios del BID. Por lo cual, los indicadores de resultado incluyen la cobertura del servicio de recolección tanto en zonas rurales como urbanas, la tasa de valorización de RSM y la disposición final de residuos en sitios adecuados. El cuadro 3 presenta la relación entre los indicadores ODS y los de este estudio.

Cuadro 3. Relación entre los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los indicadores de este estudio

Indicadores		Indicadores propios asociados	Consideraciones
11.6.1. Proporción de residuos sólidos municipales recogidos y administrados en instalaciones controladas con respecto al total de residuos municipales generados, desglosada por ciudad.	11.6.1a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de cobertura del servicio de recolección en zonas rurales.</li> <li>• Porcentaje de cobertura del servicio de recolección en zonas urbanas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se asume que el servicio de recolección para América Latina y el Caribe corresponde a los niveles que van entre control limitado y control completo, según la metodología del indicador ODS 11.6.1.</li> </ul>
	11.6.1b	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de residuos sólidos que van a relleno sanitario.</li> <li>• Porcentaje de residuos sólidos que van a vertedero controlado.</li> <li>• Porcentaje de residuos sólidos que van a botadero a cielo abierto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el caso de rellenos sanitarios se asume que abarcan los niveles control básico, control mejorado y control completo de la metodología del indicador ODS 11.6.1.</li> <li>• Para el caso de vertederos controlados se asume que corresponden al nivel control limitado de la metodología del indicador ODS 11.6.1.</li> <li>• Para el caso de botaderos a cielo abierto se asume que corresponden al nivel sin control de la metodología del indicador ODS 11.6.1.</li> </ul>
12.5.1. Tasa nacional de reciclado, en toneladas de material reciclado		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa de reciclado.</li> <li>• Tasa de compostaje.</li> <li>• Tasa de valorización energética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se asume que la tasa de reciclado se calcula en función de la recolección de RSM y no con base en la generación de residuos totales.</li> <li>• En América Latina y el Caribe no hay información suficiente para especificar el tipo de instalación de aprovechamiento de residuos orgánicos.</li> <li>• En el caso de la valorización energética, la región tampoco cuenta con información suficiente para precisar el tipo de valorización energética que realizan los países.</li> <li>• Para el presente estudio se define una tasa de valorización que, además del reciclaje de materiales, incluye el aprovechamiento de residuos orgánicos, así como la valorización energética de residuos no reciclables.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Para definir los progresos o los avances de cada indicador se consideró la situación actual de la gestión de RSM de los países, de acuerdo con información provista por fuentes internacionales (Kaza et al., 2018; PNUMA, 2018) y fuentes nacionales (para Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador y Uruguay), y se tuvo en cuenta su situación económica y social, con base en los datos del PIB per cápita (FMI, 2020) y las proyecciones propias de este estudio. El cuadro 4 contiene las metas de cambio anuales de mejora definidas por país para las actividades de recolección (urbana y rural), valorización y disposición final.

Cuadro 4. Metas anuales de mejora

País	Recolección rural	Recolección urbana	Botaderos a cielo abierto	Vertedero controlado	Tasa de valorización
	Incremento anual (en porcentaje)	Incremento anual (en porcentaje)	Reducción anual (en porcentaje)	Reducción anual (en porcentaje)	Incremento anual (en porcentaje)
Argentina	3,0	0,25	2,5	1,0	2,3
Bahamas	0,5	0,25	4,0	1,5	2,3
Barbados	0,5	0,25	1,5	0,0	2,3
Belize	0,5	1,0	7,5	0,0	2,3
Bolivia	3,0	1,0	7,5	0,04	2,3
Brasil	0,5	0,25	2,5	3,0	2,3
Chile	0,5	0,25	2,5	0,0	2,3
Colombia	3,0	0,25	1,5	0,0	2,3
Costa Rica	0,5	0,25	1,5	0,0	2,3
Ecuador	1,5	0,25	2,5	2,0	2,3
El Salvador	0,5	1,5	2,5	0,0	2,3
Guatemala	0,5	0,25	7,5	1,0	2,3
Guyana	0,5	0,25	1,5	4,5	2,3
Haití	3,0	3,0	7,5	1,5	2,3
Honduras	2,0	1,5	4,0	4,5	2,3
Jamaica	3,0	1,5	4,0	3,0	2,3
México	0,5	0,25	2,5	0,0	2,3
Nicaragua	0,5	0,25	7,5	0,0	2,3
Panamá	1,5	0,25	7,5	2,0	2,3
Paraguay	3,0	1,5	2,5	3,0	2,3
Perú	3,0	0,25	7,5	2,0	2,3
República Dominicana	3,0	1,0	7,5	0,0	2,3
Suriname	3,0	1,5	7,5	0,0	2,3
Trinidad y Tobago	0,5	0,25	7,5	2,0	2,3
Uruguay	0,5	0,25	2,5	2,0	2,3
Venezuela	0,5	0,25	4,0	2,0	2,3

Fuente: Elaboración propia.

Al considerar la mejora anual para cada uno de los indicadores exhibidos en el cuadro 5 se evidencian las metas proyectadas a 2030 para cada uno de los países miembros prestatarios del BID. Los incrementos anuales diferenciados entre países se definieron según el estado actual de la gestión de RSM y el estado de desarrollo económico de los países en términos de PIB per cápita. En el anexo 2 se describen los criterios empleados para la asignación de las metas de cada país.

Cuadro 5. Línea de base en 2018 y proyección para 2030 de indicadores según las metas de cumplimiento

País	Indicador																
	PIB per cápita (US\$/hab.-año)		Generación de RSM (millones de t/año)		Cobertura rural (en %)		Cobertura urbana (en %)		Tasa de valorización (en %)		Tasa de pérdidas en compostaje (en %)	Relleno sanitario (en %)		Vertedero controlado (en %)		Botaderos a cielo abierto (en %)	
	2018	2030	2018	2030	2018	2030	2018	2030	2018	2030	2030	2018	2030	2018	2030	2018	2030
Argentina	11.625	10.564	18,0	19,4	34,4	74,4	94,8	97,8	6,0	34,4	14,9	62,5	47,2	8,9	0,9	22,6	2,6
Bahamas	34.584	42.676	0,3	0,3	99,0	100	99,0	100,0	4,5	22,9	14,4	52,5	60,2	14,5	2,5	28,5	0,0
Barbados	17.758	25.919	0,2	0,2	85,9	85,9	99,0	100,0	9,0	27,4	6,6	90,0	66,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Belice	4.701	4.939	0,1	0,1	80,0	86,0	90,0	100,0	0,0	18,4	13,3	34,0	62,3	0,0	0,0	66,0	6,0
Bolivia	3.565	6.104	2,5	3,6	5,9	41,9	85,4	97,4	12,5	30,9	24,2	31,9	44,9	0,0	0,0	55,5	0,0
Brasil	9.043	11.620	82,3	93,7	91,7	97,7	98,1	100,0	1,6	30,0	18,8	53,3	48,0	21,9	0,0	23,2	3,2
Chile	15.903	23.036	7,9	9,2	73,4	79,4	99,0	100,0	2,8	31,2	20,2	83,4	48,6	0,0	0,0	13,8	0,0
Colombia	6.692	8.444	12,5	14,7	24,1	60,1	97,4	100,0	11,3	39,7	22,8	85,2	36,0	1,5	1,5	2,0	0,0
Costa Rica	12.124	17.927	1,6	1,9	81,3	87,3	96,1	99,1	4,2	32,6	19,5	88,6	47,9	0,0	0,0	7,2	0,0
Ecuador	6.318	6.678	5,6	6,6	63,4	81,4	99,3	100,0	10,2	28,6	22,0	40,3	34,2	31,2	15,2	18,3	0,0
El Salvador	4.068	5.343	1,9	2,2	81,8	87,8	80,0	98,0	0,0	18,4	22,4	78,2	57,4	0,0	0,0	21,8	1,8
Guatemala	4.236	6.408	3,1	4,7	73,7	79,7	92,0	95,0	0,0	18,4	13,5	15,4	51,5	9,6	1,6	75,0	15,0
Guyana	6.121	20.360	0,2	0,3	85,4	91,4	99,0	100,0	0,5	18,9	17,5	44,5	44,6	55,0	19,0	0,0	0,0
Haití	868	864	2,6	2,9	0,4	36,4	23,8	59,8	0,0	18,4	25,0	0,0	26,6	9,9	0,0	90,1	30,1
Honduras	2.479	3.962	2,4	3,3	46,1	70,1	78,9	96,9	0,0	18,4	18,6	11,3	39,1	59,9	23,9	28,8	0,0
Jamaica	5.731	8.611	1,1	1,2	28,0	64,0	67,0	85,0	0,0	18,4	20,4	0,0	17,2	64,0	40,0	36,0	4,0
México	9.687	11.439	55,2	64,8	92,6	98,6	95,4	98,4	5,0	33,4	18,2	74,0	47,4	0,0	0,0	21,0	1,0
Nicaragua	2.022	2.106	1,9	2,1	86,8	92,8	97,7	100,0	0,0	28,4	18,3	0,0	13,3	0,0	0,0	100,0	40,0
Panamá	15.660	22.135	1,6	2,1	53,6	71,6	99,7	100,0	0,0	28,4	13,2	41,7	58,4	16,0	0,0	42,3	0,0
Paraguay	5.726	8.038	2,1	2,6	12,0	48,0	77,0	95,0	0,0	18,4	18,3	36,4	43,7	40,2	16,2	23,4	3,4
Perú	7.004	9.313	8,3	10,7	38,2	74,2	95,3	98,3	4,0	22,4	21,4	24,0	56,2	15,6	0,0	56,4	0,0
República Dominicana	8.341	13.776	4,4	5,5	39,5	75,5	87,1	99,1	8,2	26,6	17,3	0,1	24,4	0,0	0,0	91,7	31,7
Suriname	5.871	7.191	0,1	0,1	15,0	51,0	70,0	88,0	0,0	18,4	26,8	0,0	14,8	0,0	0,0	100,0	40,0
Trinidad y Tobago	17.130	20.699	0,8	0,8	89,0	95,0	99,0	100,0	0,8	19,2	9,7	0,0	43,9	12,0	0,0	87,2	27,2
Uruguay <sup>a</sup>	17.065	24.122	1,3	1,5	77,6	83,6	99,0	100,0	0,4	18,8	16,6	58,6	59,6	19,0	3,0	22,0	2,0
Venezuela <sup>b</sup>	3.404	1.544	6,5	4,4	99,0	100	99,0	100,0	4,5	32,9	18,3	52,5	48,8	14,5	0,0	28,5	0,0
<b>Total de países<sup>c</sup></b>	<b>8.879</b>	<b>12.068</b>	<b>224,3</b>	<b>259,1</b>	<b>75,0</b>	<b>87,9</b>	<b>95,0</b>	<b>98,6</b>	<b>3,9</b>	<b>30,5</b>	<b>18,8</b>	<b>57,1</b>	<b>46,0</b>	<b>12,5</b>	<b>1,3</b>	<b>26,5</b>	<b>3,4</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de FMI (2020), Kaza et al. (2018) y PNUMA (2018).

<sup>a</sup> Para Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador y Uruguay se utilizaron las siguientes fuentes provistas directamente por los países: MMA (2021), DANE (2021), Ministerio de Salud de Costa Rica (2021), INEC (2020) y MVOTMA (2018)

<sup>b</sup> La reducción de la generación de RSM se basa en la proyección del PIB hecha por el Fondo Monetario Internacional, así como en los valores atípicos que presenta la cobertura rural.

<sup>c</sup> La tasa de pérdida de compostaje corresponde a las pérdidas en lixiviados, gases y rechazos que se generan en este proceso de tratamiento. En caso de que se requiera, los residuos de rechazo deberán ser dispuestos adecuadamente en relleno sanitario.

# 3. COSTOS DE REFERENCIA DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO

En esta sección se presentan los costos de referencia correspondientes al servicio de recolección, transporte y transferencia, el tratamiento físico y biológico, la incineración con generación de energía y la disposición final, los cuales se muestran desagregados entre costos de inversión (CAPEX), que incluyen los costos de capital y de financiamiento de las inversiones, y costos de operación y mantenimiento (OPEX), ambos expresados en dólares de EE.UU. por tonelada (US\$/t).<sup>9</sup> El CAPEX se calcula en función del valor de amortización de las inversiones considerando una vida útil de la infraestructura, la maquinaria y los equipos, y una tasa de descuento estimada.



Los costos de referencia aluden a los costos que deben asumir los prestadores del servicio, sin importar si estos son de carácter público o privado, con base en promedios para la región en términos de combustible, predios y mano de obra. Los precios unitarios fueron obtenidos a partir de precios de referencia de estudios y proyectos de consultoría en América Latina y el Caribe, en los cuales han trabajado los autores de esta publicación. Debido a la escasa disponibilidad, no fue posible utilizar datos de fuentes bibliográficas.

En este análisis se asume que los costos institucionales por año representan el 5% de los costos directos totales de la gestión de RSM. Estos recursos deben ser destinados al fortalecimiento de la estructura institucional, así como a la consolidación de las capacidades de planificación, reglamentación, supervisión, financiamiento, de mejora de los esquemas operativos o modelos de prestación, de mejora de la información y de educación y participación de los actores, todas necesarias para la implementación exitosa de las estrategias de mejora en la gestión de residuos. El anexo 2 y el anexo 3 ofrecen más detalles de la metodología empleada.

## 3.1. Recolección, transporte y transferencia

El estudio tuvo en cuenta los costos de recolección de RSM para áreas rurales y urbanas, los costos de transferencia y los costos de transporte hasta la estación de transferencia o el sitio de disposición final.

El CAPEX abarca los costos de adquisición y amortización de vehículos compactadores tipo y los costos de infraestructura o primera instalación (incluso los de obra civil, equipos y adquisición de terrenos para la constitución de estaciones de transferencia en zonas rurales y urbanas). En cuanto al OPEX, comprende los costos de operación y mantenimiento de los vehículos compactadores y de las estaciones de transferencia tipo (incluso los del movimiento de los contenedores en el patio y los del personal requerido para su operación). Las necesidades financieras para el desarrollo de las actividades de recolección, transporte y transferencia se exhiben en el cuadro 6.

<sup>9</sup> El estudio no consideró la inflación para la proyección de necesidades de inversión y operación, por lo cual los números presentados se expresan en dólares de EE.UU. de 2021. De igual forma, los costos unitarios no incluyen impuestos, gastos administrativos o gastos particulares de cada país.

Cuadro 6. Costos de recolección y transferencia en zonas rurales y urbanas

	Zona rural		Zona urbana	
	CAPEX (US\$/t)	OPEX (US\$/t)	CAPEX (US\$/t)	OPEX (US\$/t)
Recolección y transporte hasta la estación de transferencia	2,8	26,8	3,4	24,7
Estación de transferencia	5,2	1,7	2,8	0,9

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 6, los costos de OPEX de recolección y transferencia en el medio rural son superiores a los del medio urbano, lo cual se entiende por la baja cobertura del servicio (debido a la escasa densidad poblacional y las dificultades de acceso) y las deseconomías de escala que presenta la actividad.

El costo del transporte desde las estaciones de transferencia hasta los sitios de disposición final fue calculado a partir de diferentes rangos de distancia, como indica el cuadro 7.

Cuadro 7. Costos de transporte hasta el sitio de disposición final

Distancia entre la estación de transferencia y el sitio de disposición final	CAPEX (US\$/t)	OPEX (US\$/t)
Menor de 10 km	0,1	0,7
Entre 10 km y 15 km	0,2	0,9
Entre 15 km y 20 km	0,2	1,2

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2. Recuperación y valorización

### 3.2.1. Tratamientos físicos y biológicos

De forma general, las técnicas para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos municipales (RSM) se agrupan en tratamientos físicos y biológicos y, de manera preferente, se realizan en instalaciones en las que se dan varios procesos que pueden ser complementarios y aptos para recibir RSM separados en la fuente o mezclados.

El primer objetivo de estas instalaciones es la recuperación de materiales que se pueden valorizar a través de la separación física, para su posterior alistamiento y envío a plantas industriales donde se realiza la transformación en materia prima secundaria. El segundo objetivo es la producción de material estabilizado, procedente de la fermentación y maduración de la fracción orgánica de los RSM, sometida a estos procesos durante un período que depende del material que se va a tratar, de las condiciones ambientales o de las condiciones creadas en ambientes cerrados.

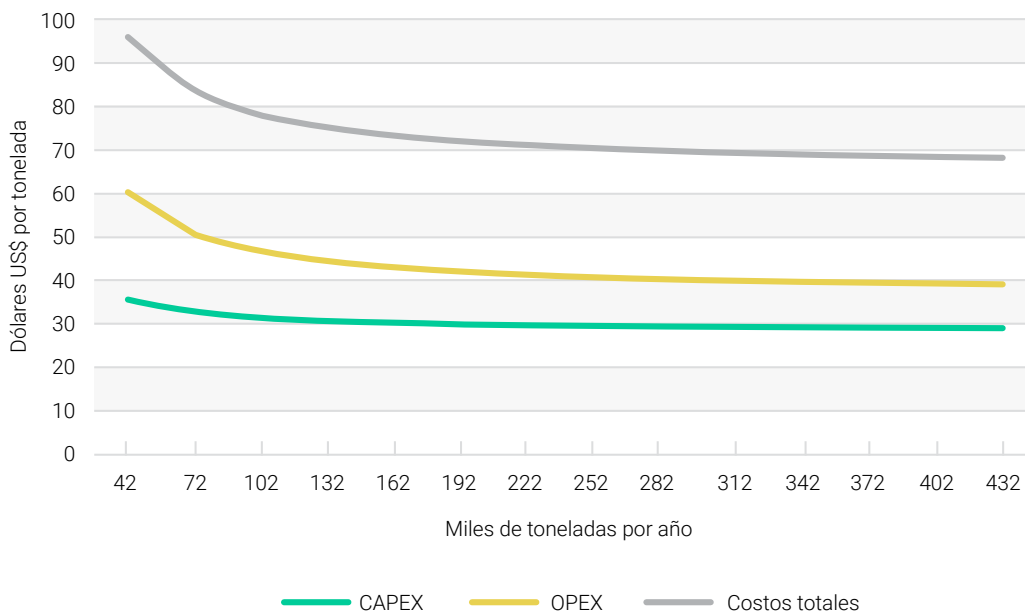
El material que se obtiene del tratamiento biológico debe ser liberado del contenido de impropios en equipos específicos de tamizado, que garantizan una adecuada calidad. De modo complementario, puede existir una línea de preparación de compost de la fracción orgánica separada en origen. Estos productos deberán cumplir con las especificaciones de calidad locales exigidas en la legislación vigente para su comercialización y uso. Por lo anterior, los procesos de tratamiento generan pérdidas en gases, lixiviados y material de rechazo que debe ser dispuesto.

En función de establecer el CAPEX, en el análisis se consideraron los costos de preinversión (estudios, diseños, permisos) y los de infraestructura, que incluyen el predio, la obra civil y los equipos. En cuanto al OPEX, se contemplaron los costos de la operación de los equipos, que incluyen el monitoreo del medio ambiente y el sobre costo de manejo de rechazos enviados a disposición final o valorización, así como los costos de mantenimiento de la obra civil y de los equipos.

Por su parte, no se tuvieron en cuenta los ingresos derivados de la venta de productos reciclados ni los correspondientes a la comercialización de los productos estabilizados procedentes del tratamiento biológico de la fracción orgánica de los RSM. Tampoco fue considerado el valor de los materiales reciclados y de los subproductos en las actividades de reciclaje y valorización.

Asimismo, se ha asumido que no hay diferencia en los costos por tonelada (CAPEX y OPEX) entre los tratamientos físicos y biológicos (los costos por tonelada desviada de disposición final se presentan en el gráfico 2). Al igual que en el caso de los costos de la disposición final en relleno sanitario, las plantas de tratamiento físico y biológico presentan economías de escala, por lo cual los costos de inversión y de operación y mantenimiento disminuyen en la medida en que aumenta la capacidad instalada.

Gráfico 2. Costos de inversión y operación de plantas de tratamiento físico y biológico



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la función obtenida se pudo estimar la ecuación para calcular los costos de la actividad. Así, el costo será el valor mínimo entre el precio techo y la relación de los coeficientes a, b (véase el cuadro 8) y el tamaño de la instalación, como indica la ecuación 14, en el anexo 5. Este anexo contiene, también, el proceso de cálculo.

Cuadro 8. Coeficientes para el cálculo del costo por unidad en plantas de tratamiento físico y biológico

Costo por unidad	Precio techo	Coficiente a	Coficiente b
CAPEX (US\$/t)	105	28,35	25.438
OPEX (US\$/t)	234	36,83	82.042

Fuente: Elaboración propia.



### 3.2.2. Valorización energética

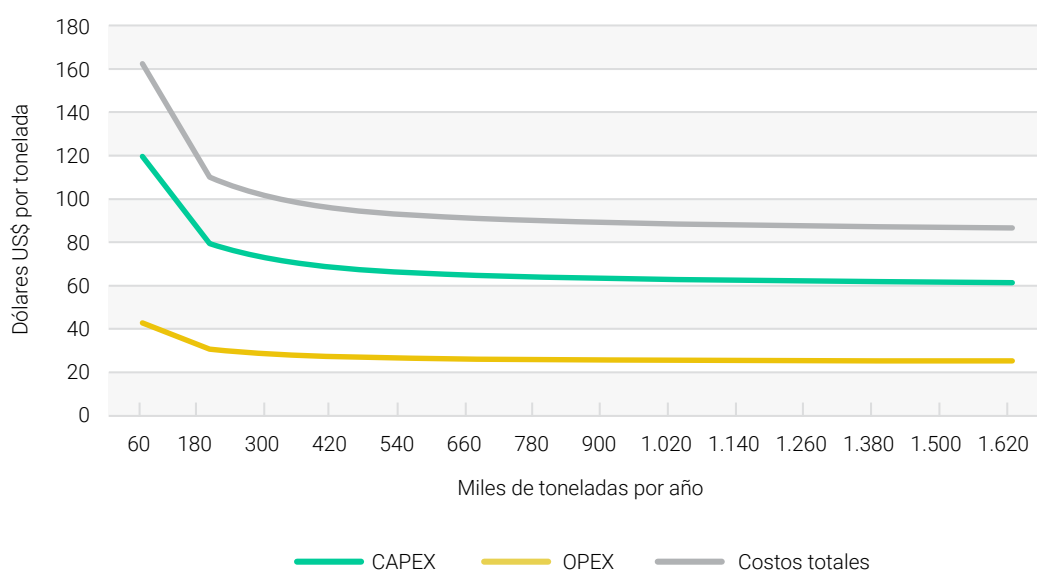
La estimación de costos se realizó con base en la técnica de incineración con valorización energética de los RSM. Mediante esta técnica se reduce hasta en un 80%-85% el volumen de residuos que deben ser llevados a disposición final en los rellenos sanitarios, lo cual permite alargar la vida útil de los rellenos y producir energía. Además, este proceso genera una fracción de residuos que no combustionan, denominados, por lo general, cenizas o residuos de fondo, y cenizas volantes, que deben ser gestionados de manera adecuada por ser consideradas usualmente residuos peligrosos. En paralelo, se producen gases de combustión, cuya emisión debe estar en consonancia con las regulaciones ambientales de cada país, razón por lo cual su tratamiento es fundamental (GIZ, 2017).

Respecto de la gestión de los RSM, el desarrollo de estas instalaciones se basa en la aplicación del principio de jerarquía, ampliamente recogido en los preámbulos de legislaciones nacionales, en especial en países de la Comunidad Económica Europea, que hace referencia a la valorización de los residuos y su aprovechamiento energético como un método de gestión de RSM previo a la disposición final (Parlamento Europeo, 2008).

Para la estimación del CAPEX se consideraron los costos de preinversión (estudios, diseños, permisos) y los costos de infraestructura, que incluyen el predio, la obra civil y los equipos, que serán la partida que conforme el CAPEX. En el caso de la estimación del OPEX, se tuvieron en cuenta los costos de la operación de los equipos, que incluyen el tratamiento de residuos generados, los consumos de químicos y el monitoreo del medio ambiente, y los costos de mantenimiento de la obra civil y de los equipos.

Por su parte, no se contemplaron los ingresos provenientes de la venta de energía y de la puesta en el mercado de subproductos, por lo común, los que no han combustionado, que en general se denominan cenizas de fondo y que tienen un componente importante de metales ferrosos y no ferrosos. Los costos de estos tratamientos se presentan en el gráfico 3. Como en los casos anteriores, la valorización energética presenta un comportamiento de economía de escala, donde a medida que aumenta el volumen de residuos tratados se reducen los costos de inversión y operación de las plantas.

Gráfico 3. Costos de inversión y operación de plantas de valorización energética



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que en la valorización por tratamiento físico y biológico, la función que representa los costos dependerá del tamaño de la instalación y de los coeficientes a y b (véanse el cuadro 9 y la ecuación 14, en el anexo 5). El proceso de cálculo detallado se encuentra en el anexo 5.

Cuadro 9. Coeficientes para el cálculo del costo por unidad en plantas de valorización energética

Costo por unidad	Precio techo	Coeficiente a	Coeficiente b
CAPEX (US\$/t)	112,7	59,25	301.769
OPEX (US\$/t)	52,2	24,54	91.281

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Disposición final en relleno sanitario

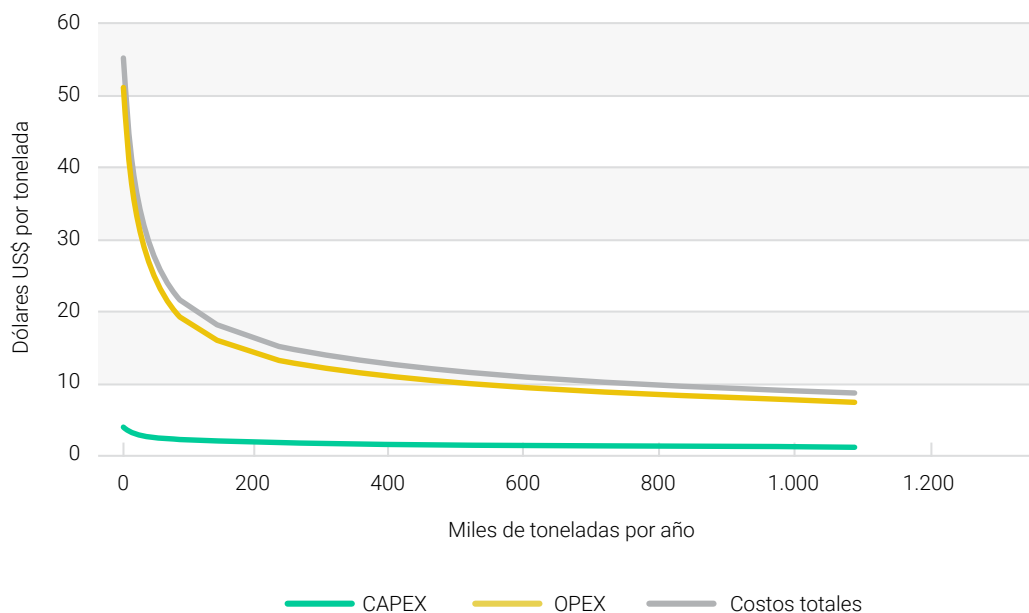
El análisis de costos de la disposición final se realizó con base en la estimación de costos para la construcción de nuevos rellenos sanitarios, asumiendo que los rellenos existentes tienen costos inferiores pero proporcionales, tanto a efectos de OPEX como de CAPEX.

Junto con la promoción de la valorización de los residuos y la disminución de la disposición inadecuada, el objetivo fundamental de los nuevos rellenos sanitarios a los cuales se dirigirán los RSM será evitar la contaminación ambiental y proteger la salud de la población atendida. Para la estimación del CAPEX se consideraron los costos de estudios, diseños, infraestructura, que incluyen la adquisición de terrenos e instalaciones para el manejo de lixiviados y biogás así como de equipamiento.

En tanto, para la estimación del OPEX se contemplaron los costos de equipos, pesados y auxiliares, adecuados a la capacidad de los frentes de trabajo; los costos de personal técnico y de operación, que incluyen sus implementos de trabajo; los costos de materiales y servicios especializados, cuya partida más importante corresponde a la cobertura diaria del frente de vertido; y los costos de clausura del relleno, que se dividen de modo proporcional durante todo el período de operación.

En el gráfico 4 puede apreciarse que a medida que aumenta el volumen de residuos dispuestos en el relleno sanitario, los costos de inversión y de operación tienden a ser menores, lo cual sugiere que presentan un comportamiento de economía de escala. En ese sentido, es conveniente emplear estrategias de regionalización (como mancomunidades) para la instalación y operación de los rellenos sanitarios.

Gráfico 4. Costos de inversión y operación del relleno sanitario



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la función obtenida se pudo estimar la ecuación que permite calcular los costos de la actividad (véanse los coeficientes en el cuadro 10). La ecuación depende de los costos de clausura, el coeficiente b, el tamaño de la instalación y el coeficiente a, como se evidencia en la ecuación 10 (véase el anexo 5). Asimismo, como los costos fueron calculados para un relleno sanitario nuevo, deben ser corregidos para los otros tipos de instalación. El proceso de cálculo se encuentra en el anexo 5.

Cuadro 10. Coeficientes para el cálculo del costo por unidad para sitios de disposición final

Costo por unidad	Coeficiente a	Coeficiente b
CAPEX (US\$/t): infraestructura	-0,22	28,59
OPEX (US\$/t): equipos	-0,39	1.570
Coeficiente divisor respecto de rellenos de nueva planta para relleno sanitario	1,5	
Coeficiente divisor respecto de rellenos de nueva planta para vertedero controlado	2,25	
Coeficiente divisor respecto de rellenos de nueva planta para botaderos a cielo abierto	3	
Impacto de la clausura en los costos de OPEX	14%	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados y clausura de rellenos sanitarios

Para el presente ejercicio fue importante el cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados, puesto que son mecanismos inadecuados de disposición de RSM. En tal sentido, se asume que los países de la región deben, de manera progresiva, normalizar los rellenos sanitarios como los sitios de disposición final de residuos. Por ello, esta sección se divide en dos áreas: el cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados y la clausura de rellenos sanitarios.

El cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados debe hacerse por cuestiones de salubridad y protección del medio ambiente, ya que la disposición de RSM en este tipo de sitios favorece la propagación de vectores y la contaminación de fuentes hídricas; además, son sitios propensos a incendios espontáneos y derrumbes (Kaza et al., 2018).

En la medida de lo posible, las actividades de clausura de rellenos sanitarios, la morfología del cierre y el uso del sitio de disposición final deberían ser actividades programadas e incluidas en el plan de operación. En los rellenos sanitarios de gran tamaño que son gestionados de forma adecuada es frecuente que el cierre de ciertas áreas se solape con las actividades de disposición final e, incluso, de construcción de nuevos vasos de vertido, por lo cual las acciones del cierre de rellenos sanitarios se consideran parte del OPEX de esta actividad.

A efectos de establecer los costos, se han analizado los siguientes componentes:

- Costo de cierre de botaderos, por tonelada depositada al año (US\$/t). Se asume la presencia de cierta cantidad de RSM o superficie impactada, de acuerdo con análisis realizados.
- Seguimiento ambiental de botaderos, en la misma unidad.
- Seguimiento ambiental de rellenos, en la misma unidad (US\$/t).

Todos estos costos se consideran OPEX. En esta actividad no se requiere ninguna formación de capital, por lo cual no existe CAPEX.

A fin de realizar el cálculo, se supone que la aplicación de costos del cierre de botaderos a cielo abierto y de la clausura de rellenos sanitarios se realiza de forma programada. Asimismo, se reconoce que los seguimientos ambientales se extenderán por un período que, por lo general, define la normativa local y en la mayoría de los casos será más extenso que el período de análisis de este estudio, cuya finalización se ha fijado en 2030.

Para implementar las condiciones de clausura, se consideran una cobertura de 0,25 m de espesor, 0,75 m de cubierta para soporte de vegetación e impermeabilización, capa drenante de 20 cm, capa de impermeabilización de 25 cm y capa de regularización de 0,5 m.

Cuadro 11. Costos operativos de cierre de botaderos a cielo abierto y clausura de rellenos sanitarios (en toneladas anuales ingresadas)

Actividad	Cierre de botaderos a cielo abierto OPEX (US\$/t)	Clausura de rellenos OPEX (US\$/t)
Cierre o clausura	41,7	11,2
Seguimiento ambiental	0,4	0,1

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 11 se observa cómo el costo de cierre de botaderos a cielo abierto es casi cuatro veces mayor que el de clausura de rellenos sanitarios. Lo mismo ocurre con el seguimiento ambiental requerido, que en el cierre de botaderos a cielo abierto es tres veces más costoso que en la clausura de rellenos. Estas diferencias se deben a que todas las obras de infraestructura que garantizan la adecuada disposición en los rellenos sanitarios se realizan durante su instalación y su construcción, lo cual facilita, a futuro, las actividades de monitoreo ambiental en las fases posteriores al cierre.

Por su parte, una vez que los botaderos a cielo abierto cumplen su vida útil y se resuelve el cierre, es preciso ejecutar una serie de obras de infraestructura e intervenciones nuevas con el fin de minimizar los impactos que el sitio podría tener en adelante.

# 4. ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS NECESARIOS PARA MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

## 4.1 Resultados de recursos necesarios en América Latina y el Caribe

En esta sección se presentan los resultados de la estimación de los recursos necesarios para mejorar la gestión integral de residuos sólidos en ALC, considerando las actividades de recolección, transporte, transferencia, valorización, disposición final, cierre de botaderos a cielo abierto y clausura de rellenos sanitarios.



Cuadro 12. Costos regionales, 2021-30 (promedio anual)

Total de países	Generación de RSM (millones de t/año)	Costos institucionales (millones US\$/año)	CAPEX (millones US\$/año)	OPEX (millones US\$/año)	Costos totales (millones US\$/año)	Brecha financiera total (millones de US\$)
Promedio anual 2021-30	238,1	638,2	2.832,3	9.931,9	13.402,5	34.000

Fuente: Elaboración propia.

Según el cuadro 12, se espera que durante la próxima década la región invierta, en promedio, un poco más de US\$13.000 millones al año para garantizar la gestión adecuada de más de 238 millones de toneladas de RSM al año. Por su parte, en el cuadro 13 se detallan los costos totales de CAPEX, OPEX, costos institucionales y costos totales para cada año, así como la generación de residuos, los costos por habitante al año, el porcentaje del PIB regional y los costos por tonelada.

Cuadro 13. Resumen de costos de gestión de residuos sólidos municipales para América Latina y el Caribe

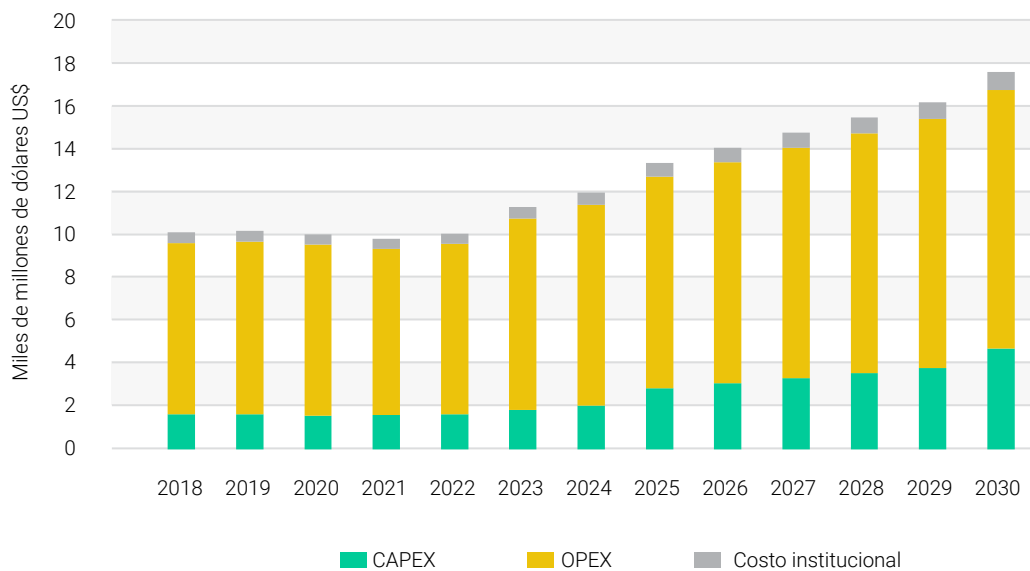
Variable de costo	Costos totales CAPEX	Costos totales OPEX	Subtotal de costos directos	Costos institucionales	Costos totales	Brecha de recursos (base 2022)	Generación de RSM	Costos totales /hab.	Costo total	Costo total /t.
Año	(Miles de millones US\$/año)						(Millones de t/año)	(US\$/habitante *año)	(Porcentaje del PIB)	(US\$/t)
2021	1,6	7,7	9,3	0,5	9,8		216,27	14,96	0,22	45,15
2022	1,6	7,9	9,5	0,5	10,0		221,69	15,20	0,21	45,17
2023	1,8	8,9	10,7	0,5	11,3	1,2	226,58	16,94	0,22	49,68
2024	2,0	9,3	11,3	0,6	11,9	1,9	231,41	17,78	0,22	51,49
2025	2,8	9,8	12,7	0,6	13,3	3,3	235,91	19,69	0,24	56,40
2026	3,1	10,3	13,3	0,7	14,0	4,0	240,57	20,55	0,24	58,18
2027	3,3	10,7	14,0	0,7	14,7	4,7	245,22	21,43	0,24	59,98
2028	3,5	11,1	14,7	0,7	15,4	5,4	249,85	22,30	0,24	61,71
2029	3,8	11,6	15,4	0,8	16,1	6,1	254,46	23,17	0,24	63,40
2030	4,7	12,0	16,7	0,8	17,5	7,5	259,06	24,99	0,24	67,60
Promedio anual	2,8	9,9	12,8	0,6	13,4	4,3	238,10	19,70	0,23	55,88

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el ejercicio realizado, los recursos que los países de la región destinan a la gestión de RSM cubren las actividades que desarrollan en la actualidad. De esta forma, a partir de la base de recursos dispuestos para 2022 y los costos para alcanzar las metas planteadas se obtiene la brecha de recursos necesarios para el manejo con mejoras de RSM en la región. La brecha para suplir los recursos que se orientan al sector actualmente en la región es de US\$34.000 millones en los próximos ocho años. Con la ejecución de nuevos ejercicios se podrán estimar los recursos efectivamente asignados y la brecha frente a la mejora planteada por país.

Los sistemas propuestos requieren una proporción de costo del 20% de CAPEX y del 80% de OPEX. En cuanto a los costos institucionales, se estima que representan el 5% de los gastos totales. En el caso de instalaciones de valorización energética, la proporción de costos cambia de modo considerable al 70% de CAPEX y el 30% de OPEX. El gráfico 5 muestra las necesidades de recursos para inversión, operación y fortalecimiento institucional por año.

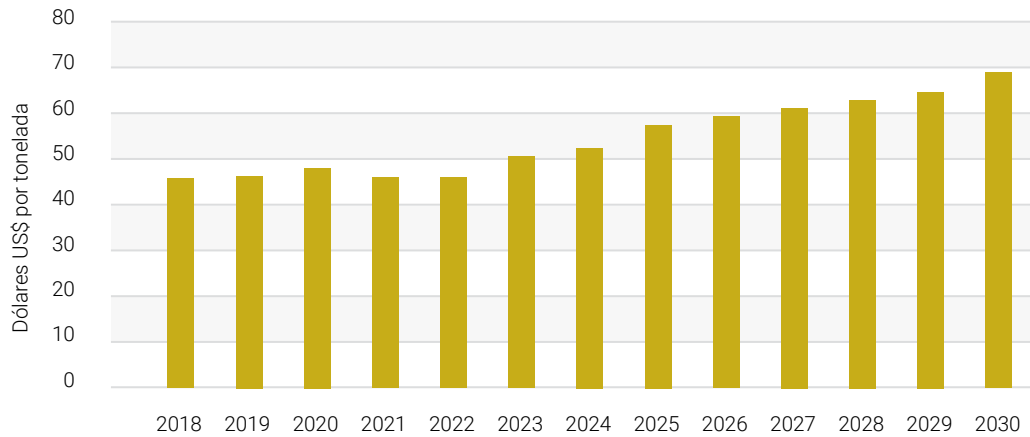
Gráfico 5. Necesidades de inversión para mejorar la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, 2018-30



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el costo promedio anual por tonelada gestionada en la región se estima en US\$55,8. Es preciso resaltar que se trata de una primera aproximación, por lo tanto, puede servir como referente para que los países hagan sus propias estimaciones. En tal sentido, estos datos se pueden usar para realizar una aproximación rápida sobre las inversiones y los costos reales versus los valores idóneos y/o teóricos. El gráfico 6 presenta el costo por tonelada por año para la región.

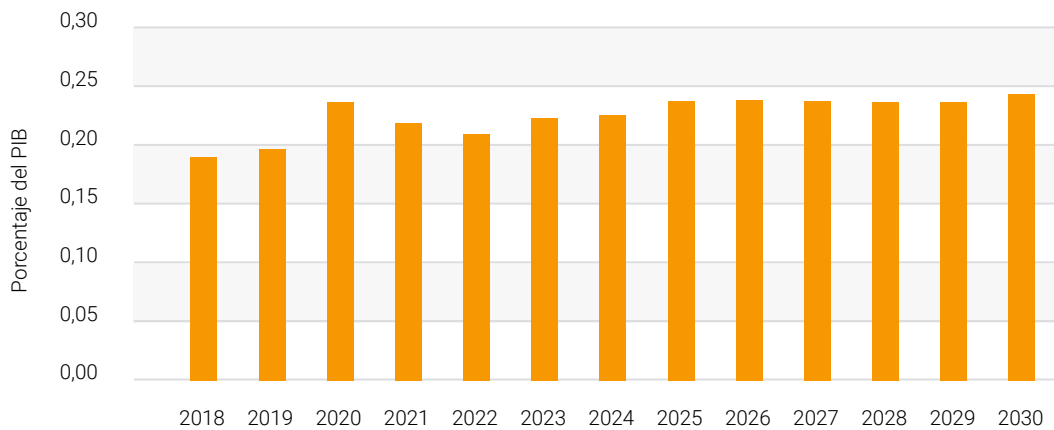
Gráfico 6. Costo total de la gestión de residuos sólidos en la región, 2018-30 (en dólares por tonelada)



Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a los costos totales de gestión de RSM, para el conjunto de países el porcentaje promedio en términos del PIB es menor del 0,25%. Esta aproximación teórica indicaría que los países podrían asignar los recursos requeridos para una adecuada gestión de RSM con mejoras a futuro (véase el gráfico 7).

Gráfico 7. Costo total de la gestión de residuos sólidos en la región, 2018-30 (como porcentaje del PIB)



Fuente: Elaboración propia.

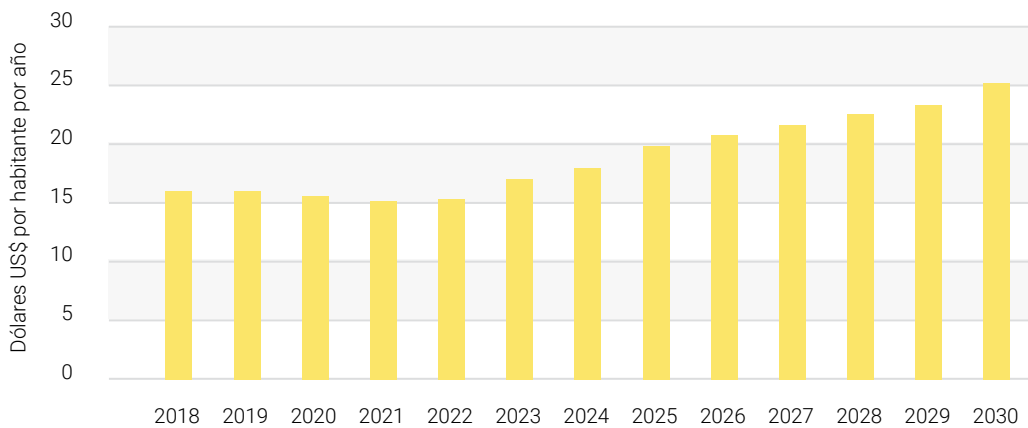
De esta forma, la región requerirá un esfuerzo de entre el 0,1% y el 0,9%, como porcentaje del PIB, según el país. De acuerdo con estimaciones que recoge la literatura especializada (UNEP e ISWA, 2015), lo ideal es que los países inviertan hasta el 1% de su PIB anual en la gestión de RSM, por lo cual las valoraciones presentadas aquí podrían considerarse razonables en términos de inversión y de operación y mantenimiento. En ese sentido, países como Uruguay, Panamá, Costa Rica, Chile y Bahamas necesitarán destinar la menor proporción de su PIB a las mejoras en la gestión de RSM, con rangos que van del 0,1% al 0,13%, puesto que cuentan con sistemas económicos y de gestión de residuos fortalecidos tanto en cobertura de recolección como en disposición adecuada y valorización. Por

el contrario, países como Haití, Venezuela, Nicaragua y Honduras, que tienen sistemas de gestión de residuos más débiles y rezagados, deberán destinar una mayor cantidad de recursos en términos del PIB.

Para conseguir los recursos y hacer operativos los servicios de gestión de residuos, los países deberán evaluar fuentes de financiamiento como las tarifas y las tasas, el presupuesto público, la venta de materiales o de energía, la responsabilidad extendida del productor, el financiamiento climático, los bonos temáticos, entre otras. Esto tiene que ir acompañado de estrategias orientadas al cambio de comportamiento de los ciudadanos respecto de la generación y la separación de residuos, y el fortalecimiento de esquemas de cobranza (Correal y Piamonte, 2022). En cuanto a la aplicación de tarifas a los usuarios, se pueden explorar los cobros por residuos generados “el que contamina paga” o “pague lo generado” (*pay as you throw* [PAYT]).

El gráfico 8 refleja los costos estimados, expresados en términos de dólares por habitante atendido (incluyendo todos los habitantes del país), por año, y pone en evidencia el nivel de incremento desde 2023 hasta 2030, con un valor de entre US\$15/hab.-año y US\$25/hab.-año.

Gráfico 8. Costo total de la gestión de residuos sólidos por habitante atendido por año, 2018-30



Fuente: Elaboración propia.



## 4.2 Análisis de sensibilidad de los datos

A partir de la información recopilada, se realizó un análisis de sensibilidad de los datos con el fin de estimar, a nivel regional, el valor anual de potenciales incrementos en la meta 2030 de valorización.

Con base en los resultados obtenidos, se calcula que la región deberá acrecentar su presupuesto en, al menos, US\$24 millones al año por cada punto porcentual que quiera aumentar en su tasa de valorización de RSM. Teniendo en cuenta que ese valor contempla los costos totales de gestión, es decir, los costos de inversión inicial, los de operación y mantenimiento, los institucionales y los de gobernanza, se estima un aumento promedio de US\$0,04 por año por habitante por cada punto porcentual que se incremente el porcentaje de residuos valorizados en la región.

## 4.3 Beneficios derivados de la mejora en la gestión de residuos sólidos municipales

Los resultados presentados aquí evidencian que es posible obtener resultados de alto impacto y mejoras considerables en la gestión de RSM con inversiones razonables. Además, esto tiene efectos multiplicativos positivos sobre el nivel de desarrollo económico, la generación de empleos verdes (directos e indirectos), la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), la mejora de las condiciones de salud de la población, la sustitución de materia prima virgen, entre otros beneficios (Soos, Wilson y Simonett, 2015). Para la sociedad, en tanto, invertir en sistemas integrales de gestión de residuos sólidos genera un retorno económico cuatro veces mayor que no hacerlo (Soos, Wilson y Simonett, 2015).

Asimismo, los costos de las externalidades negativas de los vertederos en términos de contaminación del ambiente y de la sociedad representan entre tres y cinco veces (US\$45-US\$125 per cápita al año) el costo de una correcta gestión de residuos (US\$15-US\$25 per cápita al año), por lo cual para la sociedad es mucho más económico gestionar los residuos de forma adecuada y respetuosa del ambiente que usar sitios de disposición final inadecuados. Estos costos están asociados, a enfermedades provocadas por contacto directo e indirecto con los residuos (US\$16-US\$36 per cápita al año), a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, y sus efectos en la población y el ambiente (US\$4-US\$20 per cápita al año), y a las pérdidas en turismo por contaminación de playas (US\$26-US\$50 per cápita al año) entre otros impactos (UNEP e ISWA, 2015).

Una adecuada gestión de los RSM contribuye a mantener limpios los espacios urbanos y rurales, lo cual genera entornos de vida agradables y saludables que resultan atractivos para distintos actores, como residentes, empresarios, turistas e inversionistas. Por su parte, la prevención en la generación de residuos no solo evita costos de gestión al final de la cadena, sino que también ahorra costos en términos de materias primas, energía y mano de obra (UNEP e ISWA, 2015).

De acuerdo con UNEP e ISWA (2015), la prestación de servicios para una adecuada gestión de residuos es una importante fuente de empleo, tanto del sector formal como del informal. Por lo común, el barrido de calles y la recolección de residuos son intensivos en mano de obra en países de bajos recursos. A la fecha, la región cuenta con casi 2 millones de recicladores de base, los cuales recuperan cerca del 50% de los materiales que se reciclan (Fundación Avina, 2021). Es así como la transformación de la gestión de residuos en gestión de recursos promete ser una gran fuente de empleos verdes: según estimaciones internacionales, se pueden llegar a crear, en promedio, 4,2 trabajos (formales e informales) por tonelada reciclada al día (UNEP e ISWA, 2015).

El tercer beneficio significativo derivado de la mejora en la gestión de RSM es la reducción de emisiones (directas e indirectas) de gases de efecto invernadero asociada a los sistemas de captación de metano de los rellenos sanitarios, los cuales permiten su adecuada eliminación mediante combustión o eventual aprovechamiento energético (GIZ, 2017). De igual forma, los sistemas de captación y eliminación de gases permiten mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en el cierre de vertederos, sobre todo metano, y prevenir la formación de carbón negro por los procesos de quema.

Al mismo tiempo, se produce una disminución de emisiones debido a las toneladas de residuos que se reciclan, lo cual evita las emisiones que se generan por la extracción, el transporte y el procesamiento de materiales vírgenes y la sustitución de combustibles fósiles. A futuro, se pueden calcular las emisiones factibles de reducir como resultado de proyectos asociados al cumplimiento de las metas planteadas en este trabajo.<sup>10</sup> Por otra parte, este ejercicio se puede complementar con la estimación del valor monetario que tienen estos beneficios derivados de la mejora en la gestión de RSM, con el fin de determinar nuevas fuentes de financiamiento que garanticen la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de gestión de residuos en la región.

10. Las herramientas para realizar este cálculo incluyen la Calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), disponible en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos-y>.

## 4.4 Caso de estudio: cálculo de recursos necesarios para Brasil en 2025

Con el fin de ilustrar y ejemplificar la obtención de los costos de CAPEX y OPEX para un país en un año determinado, en esta sección se detallan los resultados para 2025 en Brasil. En primer lugar, se calcula la información a partir de los datos básicos del país (véase el cuadro 14). Sin embargo, estos datos pueden variar en función del nivel de actualización y de especificidad de la información con la que cuenta el país. Las metas para realizar los cálculos fueron las establecidas en este ejercicio (véase la sección Definición de metas en el anexo 2), pero si el país plantea metas distintas los resultados deberán ser ajustados.

Cuadro 14. Brasil: Indicadores y datos de país

Indicadores básicos	Línea base 2018	Datos de país	Línea base 2018	Proyección 2025
Cobertura de recolección rural (en porcentaje)	91,7	Población urbana	182.546.459	194.451.506
Cobertura de recolección urbana (en porcentaje)	98,1	Población rural	28.321.495	25.919.046
Metas de incremento en la cobertura rural anual (en porcentaje)	0,5	Población total	210.867.954	220.370.552
Metas de incremento en la cobertura urbana anual (en porcentaje)	0,3	Población urbana (en %)	87%	88%
Vertederos controlados (en porcentaje)	21,9	PIB per cápita (US\$/hab.)	9.043,2	8.690,0
Rellenos sanitarios (en porcentaje)	53,3	RSM a nivel país (t/año)	82.261.395,9	85.079.829,7
Botaderos a cielo abierto y otros (en porcentaje)	23,2	RSM (kg/hab.-día)	1,07	1,06
Reciclaje (en porcentaje)	1,4	RSM en área rural (kg/hab.-día)	0,9	0,9
Compostaje (en porcentaje)	0,2	RSM en área rural (t/año)	9.073.414	8.189.675
Incineración (en porcentaje)	0,0	RSM en área urbana (kg/hab.-día)	1,10	1,08
Año de análisis del ejercicio	2025	RSM en área urbana (t/año)	73.187.982	76.890.155

Fuente: Elaboración propia.

Los números que figuran a la izquierda de cada ítem en los cuadros 15, 16 y 17 indican el orden del paso a paso. El detalle correspondiente al proceso realizado se encuentra en el anexo 5, al igual que el paso a paso vinculado con las ecuaciones.

Cuadro 15. Brasil: Estimación de costos de recolección y transporte de residuos para 2025

Ítem y porcentaje/capacidad	Valor en 2025
Actividad de recolección	
(1) Cobertura de recolección urbana (en porcentaje). Valor esperado según la meta a 2025 (el 0,3% anual hasta el 0,99%)	99%
(2) RSM urbanos recolectados (t/año)	76.121.254
(3) RSM recolectados (t/año)	83.913.729
Recolección en medio urbano	
(4) Transporte directo a disposición final (t/año) Se asume que el 40% de los residuos recolectados se transporta de manera directa en compactadores a los sitios de valorización o disposición final.	30.448.501
(5) Transporte a estación de transferencia (t/año) Se asume que el 60% de los residuos recolectados se transporta a estaciones de transferencia.	45.672.752
Transporte a estación de transferencia – Estación de transferencia a sitio de disposición	
(6) Distancia de transferencia 10 km (t/año) Se asume que el 25% de los residuos va a instalaciones ubicadas a 10 km del municipio donde se recolecta.	11.418.188
Distancia de transferencia 15 km (t/año) Se asume que el 40% de los residuos va a instalaciones ubicadas a 15 km del municipio donde se recolecta.	18.269.101
Distancia de transferencia 20 km (t/año) Se asume que el 35% de los residuos va a instalaciones ubicadas a 20 km o más del municipio donde se recolecta.	15.985.463
Costos en medio urbano	
(7) CAPEX (US\$/año)	
Transporte directo a disposición final (US\$/año)	105.598.008
(8) Transporte a estación de transferencia (US\$/año)	288.212.896
Transporte de estación de transferencia a sitio de disposición	
Distancia de transferencia 10 km (US\$/año)	1.728.749
Distancia de transferencia 15 km (US\$/año)	3.745.114
Distancia de transferencia 20 km (US\$/año)	4.133.700
(9) Total CAPEX (US\$/año) – urbano	403.418.467
(10) OPEX (US\$/año)	
Transporte directo a disposición final (t/año)	751.596.794
Transporte con transferencia (t/año)	1.167.409.319
Transporte desde estación de transferencia	
Distancia de transferencia 10 km (US\$/año)	7.866.498
Distancia de transferencia 15 km (US\$/año)	17.041.759
Distancia de transferencia 20 km (US\$/año)	18.809.981
(11) Total OPEX (US\$/año) – urbano	1.962.724.352
Total CAPEX (US\$/año) – rural	55.758.381
Total OPEX (US\$/año) – rural	226.452.492
(12) Total CAPEX (US\$/año) urbano y rural	<b>459.176.848</b>
TOTAL OPEX (US\$/año) urbano y rural	<b>2.189.176.844</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16. Brasil: Estimación de costos de disposición final para 2025

Ítem y porcentaje/capacidad	Valor en 2025
Actividad de disposición	
(13) Relleno sanitario (en porcentaje) Los porcentajes por actividad reflejan lo que el país destina por corriente a 2025, con las metas establecidas.	44
Vertederos controlados (en porcentaje)	13
Botaderos a cielo abierto y otros (en porcentaje)	16
Desvío como reciclaje (en porcentaje)	5
Desvío como compostaje (en porcentaje)	3
Desvío como pérdidas en el compostaje (en porcentaje)	7
Desvío como incineración (en porcentaje)	5
Relleno sanitario de nueva planta (en porcentaje)	6
(14) Toneladas a relleno sanitario (t/año)	37.695.018
Toneladas a vertedero controlado (t/año)	10.962.715
Toneladas a botadero a cielo abierto y otros (t/año)	13.365.463
Toneladas a reciclaje (t/año)	4.646.721
Toneladas a compostaje (t/año)	2.585.065
Toneladas a incineración (t/año)	4.253.991
Toneladas a relleno sanitario de nueva planta (t/año)	5.304.034
(15) Costo de la disposición en relleno sanitario	
CAPEX (US\$/año)	
Costo para disponer residuos en relleno de 40.000 t/año (US\$/año) Se asume que el 13% de los residuos destinados a disposición final se traslada a sitios pequeños con capacidad para recibir 40.000 t/año.	9.025.055
Costo para disponer residuos en relleno de 150.000 t/año (US\$/año) Se asume que el 48% de los residuos destinados a disposición final se traslada a sitios medianos con capacidad para recibir 150.000 t/año.	25.182.444
Costo para disponer residuos en relleno de 365.000 t/año (US\$/año) Se asume que el 39% de los residuos destinados a disposición final se traslada a sitios grandes con capacidad para recibir 365.000 t/año.	16.667.648
<b>TOTAL COSTO CAPEX US\$/año</b>	<b>50.875.147</b>
OPEX (US\$/año)	
Costo para disponer residuos en relleno de 40.000 t/año – 13% (US\$/año)	98.172.577
Costo para disponer residuos en relleno de 150.000 t/año – 48% (US\$/año)	220.253.629
Costo para disponer residuos en relleno de 365.000 t/año – 39% (US\$/año)	125.885.659
<b>TOTAL COSTO OPEX US\$/año</b>	<b>444.311.865</b>
Costos totales y por sitio de disposición	
Vertederos controlados CAPEX (US\$/año)	9.863.898
Vertederos controlados OPEX (US\$/año)	86.145.145
Botaderos a cielo abierto y otros CAPEX (US\$/año)	9.699.475
Botaderos a cielo abierto y otros OPEX (US\$/año)	90.689.785
Relleno sanitario de nueva planta CAPEX (US\$/año)	10.737.897
Relleno sanitario de nueva planta OPEX (US\$/año)	93.778.109
<b>COSTOS TOTALES CAPEX (US\$/año)</b>	<b>81.176.417</b>
<b>COSTOS TOTALES OPEX (US\$/año)</b>	<b>714.924.903</b>
(16) Costos de cierre y clausura	
Cierre de botaderos (t/año)	1.834.894
Cierre de botaderos (US\$/año)	76.568.800
Seguimiento ambiental de botaderos (US\$/año)	2.121.122
Costo total de clausura de botaderos (US\$/año)	78.689.922

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17. Brasil: Estimación de costos de valorización para 2025

Ítem y porcentaje/capacidad	Valor en 2025
Costos de valorización – Tratamientos físicos y biológicos	
Toneladas a reciclaje (t/año)	4.646.721
Toneladas a compostaje (t/año)	2.585.065
(17) Flujo desviado en instalaciones de reciclaje y compostaje (t/año)	7.231.786
CAPEX (US\$/año)	
Residuos para valorizar en instalación de 160.000 t/año Se asume que el 25% de los residuos destinados a valorización se traslada a instalaciones de valorización pequeñas con capacidad para recibir 160.000 t/año.	54.701.483
(18) Residuos para valorizar en instalación de 220.000 t/año Se asume que el 25% de los residuos destinados a valorización se traslada a instalaciones de valorización medianas con capacidad para recibir 220.000 t/año	53.760.765
Residuos para valorizar en instalación de 280.000 t/año Se asume que el 50% de los residuos destinados a valorización se traslada a instalaciones de valorización grandes con capacidad para recibir 280.000 t/año	106.446.424
<b>TOTAL CAPEX (US\$/año)</b>	<b>214.908.672</b>
OPEX (US\$/año)	
Residuos para valorizar en instalación de 160.000 t/año	77.718.776
Residuos para valorizar en instalación de 220.000 t/año	74.684.787
Residuos para valorizar en instalación de 280.000 t/año	145.902.157
<b>TOTAL OPEX (US\$/año)</b>	<b>298.305.719</b>
(19) Costos de valorización energética	
Residuos para valorizar en instalación de 660.000 t/año CAPEX 100%	275.403.103
Residuos para valorizar en instalación de 660.000 t/año OPEX 100%	111.456.836

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18. Brasil: Estimación de costos totales para 2025

Ítem y porcentaje/capacidad	Valor en 2025
(20) Costos totales	
Costos totales CAPEX (US\$/año)	1.030.665.040
Costos totales OPEX (US\$/año)	3.513.281.958
Costos directos totales (US\$/año)	4.543.946.998
Costos institucionales 5% (US\$/año)	227.197.350
<b>Costos totales (US\$/año)</b>	<b>4.771.144.348</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS CON VISTAS AL FUTURO

El objetivo de este estudio es proporcionar una primera aproximación a los recursos necesarios para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales en los países miembros prestatarios del Banco Interamericano de Desarrollo en América Latina y el Caribe, tomando como referencia los Objetivos de Desarrollo Sostenible a 2030.



En ese sentido, los resultados de este ejercicio evidencian la relevancia de garantizar la sostenibilidad financiera durante la fase de implementación u operación de los proyectos vinculados con la mejora en la gestión de los residuos. Esto se refleja en una estructura de costos, en promedio, del servicio de manejo de residuos sólidos donde el CAPEX es del 20% y el OPEX es del 80%. Sin embargo, en el caso de instalaciones de valorización energética la proporción de costos cambia de modo considerable al 70% de CAPEX y el 30% de OPEX. Asimismo, es fundamental orientar esfuerzos al fortalecimiento de las instituciones, considerando un 5% de los gastos totales, de modo que estas acompañen y permitan el avance de los proyectos de mejora de la gestión de residuos.

Las fuentes de recursos para operativizar los proyectos relacionados con la mejora en la gestión de los residuos, que incluyen, entre otras, tarifas y tasas, el presupuesto público, la venta de materiales o energía, la responsabilidad extendida del productor, el financiamiento climático y los bonos temáticos, deberán ser evaluadas y analizadas por cada país según su contexto específico.

En cuanto a la estimación preliminar de los recursos requeridos en la región para la gestión adecuada de los residuos sólidos municipales (RSM), estos deberán ascender de manera progresiva de US\$45/t a US\$68/t para 2030. De la misma forma, los sistemas de gestión de RSM deberán pasar de un flujo de recursos calculado en US\$1,3/hab.-mes a US\$2,1/hab.-mes en 2030, por lo cual, asumiendo que una familia está conformada por cuatro personas, el valor mensual del servicio en 2030 será del orden de US\$8,3 por vivienda.

En promedio, las necesidades de recursos para los 26 países miembros prestatarios del BID corresponden al 0,23% del PIB anual, lo cual resulta coherente con estimaciones previas que establecían la asignación en el 1% y caracteriza como razonables los resultados obtenidos en este ejercicio. Sin embargo, los esfuerzos no son iguales para todos los países, puesto que los que presentan mayor brecha en la gestión adecuada de residuos deberán destinar más recursos, de modo que el rango de necesidades de recursos en términos del PIB varía entre el 0,1% y el 0,9%. Asimismo, este ejercicio dio cuenta de que América Latina y el Caribe necesita asignar, en promedio, US\$13.400 millones al año a los servicios de RSM, lo cual implica que la región precisa un incremento de US\$34.000 millones los próximos ocho años para cerrar la brecha financiera.

A fin de complementar este ejercicio, a futuro podría estimarse el potencial de abatimiento de emisiones de gases de efecto invernadero del cierre de vertederos, del control de biogás en rellenos sanitarios y de la prevención en la generación de residuos y la valorización de residuos orgánicos. Esto permitirá ampliar las posibilidades de financiamiento del sector y reforzar su importancia en la lucha contra el cambio climático. De igual forma, se podrían estimar los otros beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la mejora en la gestión de los RSM.

Por otra parte, este análisis puede ser la base de nuevos estudios que validen las inversiones actuales, los gastos, las metas y los costos en cada país, según sus contextos y la información disponible. De ese modo será posible corroborar estos resultados y avanzar en el planteamiento de hojas de ruta del sector en cada país, a partir de la determinación de necesidades financieras y fuentes de recursos.

Por último, el ejercicio de identificación de recursos debe ir acompañado de esfuerzos de recopilación de información e indicadores a nivel país y a nivel de operadores del servicio de aseo. Esto es fundamental para establecer las necesidades del sector y las políticas adecuadas para acelerar su transformación. En tanto, los sistemas de información actualizados y la socialización de buenas prácticas les permitirán a los países de la región cooperar para alcanzar las metas y acompañar a los países más rezagados en el proceso.



# REFERENCIAS

- Alarcón, P. 2020. Consultoría para la elaboración de una propuesta y estrategia de evaluación tipo herramienta benchmarking que permita comparar el desempeño de la gestión de los residuos en los países de América Latina y el Caribe. Washington, D.C.: BID. Documento inédito.
- Cocker, J., G. Sturzenegger, M. Vizeu y D. Metiri. 2020. Gestión sostenible del plástico: diez razones para adoptar una estrategia regional. *Volvamos a la fuente*, 13 de agosto. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/gestion-sostenible-del-plastico-diez-razones-para-adoptar-una-estrategia-regional/>.
- Correal, M. y C. Piamonte. 2022. Quien contamina paga: la deuda pendiente en la financiación de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. *Volvamos a la fuente*, 23 de junio. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/quien-contamina-paga-la-deuda-pendiente-en-la-financiacion-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe/>.
- CPLC (Carbon Pricing Leadership Coalition). 2017. *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices>.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2021. Cuenta Satélite Ambiental (CSA). Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales-residuos sólidos (CAEFM-RS): Boletín técnico: 2018-2019 (provisional). Bogotá: DANE. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas\\_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2019p.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2019p.pdf).
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). 2018. Documento CONPES 3918 Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS) en Colombia. Bogotá: DNP.
- Faleiro, C. 2020. Consultoría para realizar una estimación básica de las necesidades de inversión y financiación en el sector de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, en desarrollo del marco sectorial de residuos sólidos de la División de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.: BID. Documento inédito.
- FMI (Fondo Monetario Internacional). 2020. World Economic Outlook Database. Washington, D.C.: FMI. Disponible en: <https://www.imf.org/en/Publications/SPROLLS/world-economic-outlook-databases>.
- Fundación Avina. 2021. Presentación institucional de Latitud R. Washington, D.C.: Fundación Avina. Disponible en: <https://latitudr.org/quienes-somos/>.
- GIZ (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional). 2017. Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los responsables de la toma de decisiones en países en vías de desarrollo y emergentes. Bonn: GIZ. Disponible en: <https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf>.
- Google y AFARA. 2022. Closing the Plastics Circularity Gap. Informe de Google. Disponible en: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/closing-plastics-gap-full-report.pdf>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2020. Estadísticas de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales: Gestión Integral de Residuos Sólidos. 2018. Quito: INEC. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/interfaz-gad-municipales-residuos-solidos-2018/>.
- Kaza S., L. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden. 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- Ministerio de Salud de Costa Rica. 2021. MS-DPRSA-0222-2021 Residuos ordinarios del 2016 al 2019 reportados por Costa Rica a OCDE, ONU/ODS y rellenos sanitarios y vertederos (sitios controlados) privados y municipales. San José de Costa Rica: Ministerio de Salud. Documento inédito.

- MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2021. Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040. Santiago de Chile: MMA. Disponible en: <https://economiecircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta/>.
- MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente). 2018. Estrategia Nacional y Municipal para la Gestión Integral de Residuos en Uruguay. Centro Coordinador Convenio Basilea-Centro Regional de Estocolmo para América Latina y el Caribe. Montevideo: MVOTMA. Disponible en: <http://ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2019/04/linea-de-base-RESIDUOS-documento-REVISI%C3%93N-18.04.20.pdf>.
- Naciones Unidas. 2018. World Urbanization Prospects 2018. Departamento de Economía y Asuntos Sociales, Dinámica de Poblaciones. Nueva York, NY: Naciones Unidas. Disponible en: <https://population.un.org/wup/>.
- . 2020. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- . 2021a. Indicadores ODS. Repositorio de metadatos. División de Estadística de Naciones Unidas. Nueva York, NY: Naciones Unidas. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-12-05-01.pdf>.
- . 2021b. Indicador 11.6.1: Proporción de residuos sólidos municipales recolectados y gestionados en instalaciones controladas sobre el total de residuos municipales generados, por ciudades. División de Estadística de Naciones Unidas. Metadatos de los indicadores de ODS. Nueva York, NY: Naciones Unidas. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-06-01.pdf>.
- . 2022. Base de datos mundial de indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Nueva York, NY: Naciones Unidas. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/dataportal>.
- Parlamento Europeo. 2008. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Texto pertinente a efectos del EEE). Bruselas: Parlamento Europeo. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32008L0098>.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2018. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá: PNUMA.
- Rondón Toro, E., M. Szantó Narea, J. F. Pacheco, E. Contreras y A. Gálvez. 2016. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Serie Manuales de la CEPAL No. 2. Santiago de Chile: CEPAL. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>.
- Soos, R., D. C. Wilson y O. Simonett. 2015. Waste Management Financing. En *Global Waste Management Outlook*, capítulo 3 (pp. 203-250). Ginebra: UNEP.
- UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) e ISWA (Asociación Internacional de Residuos Sólidos). 2015. *Global Waste Management Outlook*. Ginebra: UNEP.

# ANEXOS

## ANEXO 1. GLOSARIO

- **Botadero a cielo abierto:** Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto, de forma no controlada, sin recibir ningún tipo de tratamiento sanitario. Sinónimo de vertedero, vaciadero, tiradero, basurero, etc.
- **Brecha:** Diferencia entre las inversiones proyectadas, las que se realizan en la actualidad y las inversiones necesarias para mejorar la gestión de residuos sólidos municipales.
- **Disposición final:** Acción de depositar o confinar residuos de manera permanente en diversos tipos de sitios e instalaciones.
- **Economía circular:** Economía que tiene por objetivo mantener los productos, los componentes y los materiales en su mayor utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos. En el caso de los residuos sólidos, hace referencia a la visión de los residuos como recursos para ser utilizados en otros procesos productivos.
- **Estación de transferencia:** Una estación de transferencia de residuos sólidos define el conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el traspaso de los residuos y, en ocasiones, su compactación, desde vehículos recolectores o de carga hasta vehículos transportadores de gran tonelaje, a fin de movilizarlos hacia los sitios de disposición final.
- **Incineración:** Cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden controlarse, a fin de alcanzar eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales establecidos de manera previa.
- **Inversión:** Recursos económicos financieros requeridos para la instalación, la ampliación y/o el mejoramiento de la infraestructura de los servicios de aseo urbano, que incluyen los recursos orientados a la capacitación, la educación ambiental, el desarrollo del personal y el fortalecimiento de las instituciones de manejo de los residuos sólidos.
- **Materiales reciclables:** Materiales que tienen propiedades físicas por las cuales, después de servir para su propósito original, pueden ser reutilizados o transformados en nuevos productos.
- **Procesamiento térmico:** Cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso a través de calor. En esta definición se incluye la incineración, la pirolisis, la gasificación y el plasma.
- **Reciclaje:** Actividad que permite separar, recoger, clasificar y procesar determinados residuos sólidos provenientes de los servicios de aseo urbano para reincorporarlos a un ciclo doméstico, comercial o industrial.
- **Reciclaje formal:** Proceso de reciclaje realizado directamente por el organismo encargado del servicio municipal de aseo urbano y/o por una empresa o institución

autorizada por las autoridades responsables para el manejo de residuos.

- **Reciclaje informal:** Proceso de reciclaje realizado por segregadores, pepenadores o trabajadores informales de la gestión de residuos en áreas públicas o lugares de disposición final.
- **Relleno sanitario:** Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, el acomodo y la compactación de los residuos sobre un lecho impermeable y la cobertura de estos con tierra u otro material al menos una vez por día (para controlar la proliferación de vectores y realizar un manejo adecuado de gases y lixiviados), con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población. El relleno sanitario contempla un proyecto de ingeniería, el control de ingreso en la puerta y el pesaje, y excluye a los segregadores.
- **Residuos sólidos municipales:** Residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyen los residuos originados en domicilios, comercios, servicios, instituciones, mercados, hospitales (comunes o no peligrosos), oficinas de las industrias, el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.
- **Residuos valorizados:** Desechos que se destinan a actividades de tratamiento físico, biológico o térmico, como reciclaje, compostaje, digestión anaerobia y generación de energía a partir de residuos, que permiten recuperar los recursos materiales y energéticos contenidos en los residuos.
- **Tasa de valorización:** Relación porcentual entre los residuos efectivamente valorizados y el total de los residuos recolectados.
- **Valorización:** Conjunto de actividades que permiten desviar algunos residuos sólidos del relleno sanitario, lo cual favorece la extensión de su vida útil. Incluye reciclaje de materiales, compostaje y/o degradación anaerobia de la fracción orgánica y procesos de valorización energética como incineración y coprocesamiento.
- **Valorización energética:** Descomposición química controlada de los residuos a altas temperaturas, en instalaciones adaptadas, bajo condiciones reguladas de temperatura, oxígeno y tiempo, con el propósito de reducir su volumen y masa, para transformarlos en materiales inertes y recuperar su energía. El proceso también genera algunos subproductos que requieren tratamiento adicional. El proceso más común es la combustión (oxidación térmica), cuyos productos finales incluyen gases calientes de combustión ( $N_2$ ,  $CO_2$  y vapor de agua), cenizas volantes (*fly ashes*), escorias o cenizas de fondo (*bottom ashes*) y la generación de energía eléctrica o calórica. Las cenizas volantes y los residuos obtenidos durante el tratamiento de gases emitidos en el transcurso de la operación son considerados residuos peligrosos, por lo cual deben ser gestionados como tales, lo que supone un costo importante de operación y mantenimiento.
- **Vertedero controlado:** Lugar para la disposición final de los residuos sólidos, que no cuenta con la infraestructura propia de un relleno sanitario, pero sí con algunas medidas de control.

## ANEXO 2. METODOLOGÍA

En este anexo se describe la metodología empleada para obtener los datos que integran este informe. Los momentos principales son la línea base, la definición de metas, los costos unitarios y la estimación de los recursos requeridos.

### Línea base

La línea base de este estudio se estableció a partir de los datos provistos por las mejores fuentes disponibles con información sobre la gestión de residuos sólidos municipales en cada uno de los países miembros prestatarios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y las estimaciones más recientes recogidas por *What a Waste 2.0* (Kaza et al., 2018), el informe impulsado por el Banco Mundial. También se tuvieron en cuenta las proyecciones de población de Naciones Unidas (2018) y de producto interno bruto (PIB) del Fondo Monetario Internacional (FMI, 2020).

El análisis, que se basó en la gestión de residuos sólidos municipales (RSM), no contempla los residuos peligrosos, los hospitalarios, los que implican un manejo especial u otros similares. La línea base fue fijada en 2018 y los datos se proyectan hasta 2030.

La publicación de Kaza et al. (2018) provee indicadores de la gestión de los RSM para 217 países y territorios relacionados con: datos generales de población, PIB, producción de RSM, composición de los RSM por país (lo cual proporciona una idea preliminar sobre el potencial de reciclaje y las cantidades de productos estabilizados procedentes de la fracción orgánica de los RSM [compost]), residuos de manejo especial (como los agrícolas, los industriales, los peligrosos, los de origen sanitario, los electrónicos, los de construcción y demolición), la cobertura del servicio de recolección a nivel nacional y en los medios urbano y rural, y el destino final de los RSM (incluyendo reciclaje y valorización).

En algunos casos los datos contenían “errores” de ajuste subsanables y en otros no había información disponible para determinado país, por lo cual se recurrió, con preferencia, a datos existentes en notas técnicas del BID y, en general, se evitó usar fuentes nacionales, debido a la dificultad que plantea la homologación de los datos. En cuanto a la evolución del PIB per cápita, expresada en dólares de EE.UU., esta se descargó de la base de datos del FMI.<sup>11</sup> En tanto, los datos de población se tomaron de las bases de datos de Naciones Unidas, donde la información se encuentra segregada por países y distingue entre población urbana y rural (véase el cuadro 19).

<sup>11</sup> Base de datos Gross Domestic Product per capita, Current Prices, disponible en: <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPDPC@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOORLD>.

Cuadro 19. Estado de la gestión integral de residuos sólidos en línea base, 2018

País indicador								
	Producción per cápita (kg/hab.-día)	Generación de RSM (millones de t/año)	Cobertura rural (en %)	Cobertura urbana (en %)	Tasa de valorización (en %)	Relleno sanitario (en %)	Vertedero controlado (en %)	Botadero a cielo abierto (en %)
Argentina	1,11	18,0	34,4	94,8	6,0	62,5	8,9	22,6
Bahamas	1,89	0,3	99,0	99,0	4,5	52,5	14,5	28,5
Barbados	1,73	0,2	85,9	99,0	9,0	90,0	0,0	1,0
Belice	0,77	0,1	80,0	90,0	0,0	34,0	0,0	66,0
Bolivia	0,61	2,5	5,9	85,4	12,5	31,9	0,0	55,5
Brasil	1,07	82,3	91,7	98,1	1,6	53,3	21,9	23,2
Chile	1,18	7,9	73,4	99,0	2,8	83,4	0,0	13,8
Colombia*	0,69	12,5	24,1	97,4	11,3	85,2	1,5	2,0
Costa Rica*	0,88	1,6	81,3	96,1	4,2	88,6	0,0	7,2
Ecuador*	0,91	5,6	63,4	99,3	10,2	40,3	31,2	18,3
El Salvador	0,82	1,9	81,8	80,0	0,0	78,2	0,0	21,8
Guatemala	0,49	3,1	73,7	92,0	0,0	15,4	9,6	75,0
Guyana	0,79	0,2	85,4	99,0	0,5	44,5	55,0	0,0
Haití	0,63	2,6	0,4	23,8	0,0	0,0	9,9	90,1
Honduras	0,69	2,4	46,1	78,9	0,0	11,3	59,9	28,8
Jamaica	1,03	1,1	28,0	67,0	0,0	0,0	64,0	36,0
México	1,16	55,2	92,6	95,4	5,0	74,0	0,0	21,0
Nicaragua	0,81	1,9	86,8	97,7	0,0	0,0	0,0	100,0
Panamá	1,06	1,6	53,6	99,7	0,0	41,7	16,0	42,3
Paraguay	0,82	2,1	12,0	77,0	0,0	36,4	40,2	23,4
Perú	0,70	8,3	38,2	95,3	4,0	24,0	15,6	56,4
República Dominicana	1,10	4,4	39,5	87,1	8,2	0,1	0,0	91,7
Suriname	0,32	0,1	15,0	70,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Trinidad y Tobago	1,50	0,8	89,0	99,0	0,8	0,0	12,0	87,2
Uruguay*	1,04	1,3	77,6	99,0	0,4	58,6	19,0	22,0
Venezuela	0,55	6,5	99,0	99,0	4,5	52,5	14,5	28,5
Promedio de países	1,02	224,3**	75,0	95,0	3,9	57,1	12,5	26,5

Fuente: Faleiro (2020) a partir de Kaza et al. (2018) y PNUMA (2018).

Nota: De acuerdo con INEC (2020), para el cálculo de la tasa de reciclaje se multiplicó el porcentaje de recolección diferenciada por la fracción inorgánica de la recolección diferenciada

\* En el caso de Colombia, Costa Rica, Ecuador y Uruguay se utilizaron las siguientes fuentes provistas directamente por los países: DANE (2021), Ministerio de Salud de Costa Rica (2021), INEC (2020) y MVOTMA (2018).

\*\* Corresponde a la suma de los datos de generación de los países miembros prestatarios del BID.

## Generación de residuos

Con el fin de extrapolar la generación de RSM, en Kaza et al. (2018) se propone, a nivel global, una fórmula de segundo grado sobre el logaritmo natural del PIB per cápita:

$$PPC = 1647,41 - 419,41 * \ln(PIB_{PC}) + 29,43 * \ln(PIB_{PC})^2$$

Donde  $PPC$  corresponde a la producción de RSM per cápita en unidades de  $kg/hab.-día$ .

$PIB_{PC}$  hace referencia al producto interno bruto (PIB) per cápita para el año específico en el que se quiere estimar la producción.

De acuerdo con la información sobre generación de RSM de Kaza et al. (2018) y la proyección de la población de la base de datos de Naciones Unidas se realizó una correlación para los 26 países miembros prestatarios del BID, analizando uno a uno, y se obtuvo la siguiente fórmula para la región, que se utilizó para este informe:

$$PPC_{RSM} \left( \frac{kg}{hab.* día} \right) = 0,2773 * \ln(PIB_{PC}) + TI$$

En este caso,  $TI$  corresponde al término independiente de cada país. A fin de calcular la generación de RSM para 2030, la fórmula debe ajustarse para cada país usando el término independiente, según el cuadro 20.

Cuadro 20. Término independiente para el cálculo de la generación de residuos sólidos municipales en la región

País	Término independiente	País	Término independiente
Argentina	-1,49	Haití	-1,25
Bahamas	-1,01	Honduras	-1,48
Barbados	-0,99	Jamaica	-1,37
Belice	-1,57	México	-1,39
Bolivia	-1,66	Nicaragua	-1,30
Brasil	-1,46	Panamá	-1,62
Chile	-1,50	Paraguay	-1,63
Colombia	-1,75	Perú	-1,70
Costa Rica	-1,73	República Dominicana	-1,40
Ecuador	-1,52	Suriname	-2,09
El Salvador	-1,49	Trinidad y Tobago	-1,20
Guatemala	-1,82	Uruguay	-1,67
Guyana	-1,63	Venezuela	-1,71

Fuente: Faleiro (2020).

La aplicación de las fórmulas indicadas permite estimar la generación de RSM, expresada en  $kg/hab.-día$ , para cada año analizado hasta 2030.

Respecto de la proyección del PIB per cápita, se adoptó la actualización de la base de datos del FMI, correspondiente a octubre de 2020, que incluye la previsión del efecto de la pandemia de COVID-19. Como esta base presenta datos hasta 2025, para el período 2026-30 se consideró, para todos los países, un crecimiento igual a la media de la proyección del FMI para los ejercicios 2024 y 2025. En el caso particular de Venezuela, donde el FMI solo aporta previsiones hasta 2022, para este ejercicio el PIB per cápita se mantuvo con valor constante hasta 2030.

## Cobertura del servicio de recolección

La información de Kaza et al. (2018) es completa en cuanto a la cobertura del servicio de recolección de RSM a nivel nacional. Sin embargo, tiene muchos vacíos respecto de la cobertura en el área rural o urbana. Para este estudio se determinó la cobertura rural y urbana de acuerdo con la población total, rural y urbana según la siguiente ecuación:

$$\%C_{total} = \frac{Pob_{urbana} * \%C_{urbana} + Pob_{rural} * \%C_{rural}}{Pob_{total}}$$

Donde:

$\%C_{total}$  es el porcentaje de cobertura del servicio de recolección a nivel nacional.

$Pob_{total}$  es la población total del país.

$\%C_{urbana}$  es el porcentaje de cobertura del servicio de recolección en el área urbana.

$Pob_{urbana}$  es la población urbana del país.

$\%C_{rural}$  es el porcentaje de cobertura del servicio de recolección en el área rural.

$Pob_{rural}$  es la población rural del país.

## Definición de metas

**Cobertura del servicio de recolección:** Según el criterio técnico y objetivo de los autores, para este documento se definieron cuatro valores diferentes de meta anual de incremento de cobertura de recolección de residuos en función de la tasa actual de cobertura. Los valores, desagregados para el ámbito urbano y rural, se muestran en el cuadro 21.

Cuadro 21. Metas de incremento anual de la cobertura del servicio de recolección

Ámbito rural		Ámbito urbano	
Porcentaje de cobertura	Incremento anual <sup>12</sup> (en porcentaje)	Porcentaje de cobertura	Incremento anual <sup>13</sup> (en porcentaje)
Inferior al 40%	3	Inferior al 60%	3
Entre el 40% y el 50%	2	Entre el 60% y el 80%	1,5
Entre el 50% y el 70%	1,5	Entre el 80% y el 90%	1
Superior al 70%	0,5	Superior al 90%	0,25

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de estas metas hasta 2030 implicaría que alrededor del 87,9% de la población rural de los países miembros prestatarios del BID tendría cobertura. Por otro lado, estos países presentan una alta tasa general de urbanización, para la cual se espera alcanzar el 98% de cobertura hacia 2030, con la inclusión en el servicio de las zonas marginales. La menor tasa de recolección rural obedece a los condicionamientos que imponen la orografía, la climatología local, las distancias, la dispersión de la generación y las capacidades institucionales (Rondón Toro et al., 2016).

<sup>12</sup> Para estimar el incremento se debe sumar la meta al porcentaje de cobertura del año anterior así:  $CR_2 = CR_1 + IA$ . Por ejemplo, si el porcentaje de cobertura en el área rural (CR) en el año 1 es del 10% y el incremento anual (IA) es del 3%, entonces la cobertura para el año 2 será del 13%.

<sup>13</sup> Se aplica el mismo método de cálculo que para la cobertura rural.



**Valorización:** La tasa de valorización agregada se entiende como la suma de las metas puntuales para reciclaje, aprovechamiento biológico y valorización energética. Es preciso aclarar que cada uno de los países deberá definir la combinación de tecnologías disponibles que mejor se adapte a su territorio, de acuerdo con sus políticas, sus regulaciones y las características propias de sus residuos.

El incremento anual planteado conllevaría un aumento de más de 20 puntos porcentuales en la tasa de valorización de la región entre 2021 y 2030, es decir que la región pasaría de una tasa de valorización del 3,9% en 2018 a una del 30,5% en 2030.

**Reciclaje y tratamiento mecánico biológico:** En función de lo que establece la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, se espera que durante los próximos años se inicien o se potencien en la región las actividades de reciclaje y tratamiento mecánico biológico, la introducción de programas de responsabilidad extendida del productor, bonos verdes u otros instrumentos económicos (Correal y Piemonte, 2022), así como la implementación de programas de inclusión y formalización de recicladores de base como actores fundamentales en la cadena de reciclaje de residuos.

No obstante, como los precios de los productos reciclados en el mercado se ven influidos por los precios internacionales de la materia prima, se requieren incentivos fiscales y legales para promover estos productos, de forma de garantizar una sostenibilidad de estos mercados y permitir la inversión desde el sector privado.

Teniendo en cuenta que en América Latina y el Caribe los residuos orgánicos representan cerca del 50% de la composición total de los RSM y que la línea base para el reciclaje es de alrededor del 3,9%, en este estudio se estableció una meta de crecimiento anual de reciclaje y compostaje del 2,3% para todos los países. Para estimar el incremento, se debe sumar la meta al porcentaje de valorización del año anterior mediante la siguiente fórmula:

$$V_n = V_i + \%reciclables * IA$$

Es preciso aclarar que el incremento se da respecto del contenido de materiales reciclables y compostables y no sobre el total de residuos recolectados, por lo cual, debido a la proximidad del año horizonte, se asumió que la composición de los residuos en los países no cambia en el período de estudio. Asimismo, es importante señalar que los procesos de compostaje generan pérdidas asociadas a lixiviados, gases y rechazo de material. Este rechazo, que no es apto para el producto final, deberá ser dispuesto de manera adecuada.

De igual forma, en la modelación se contemplaron las dificultades presupuestarias causadas por la pandemia de COVID-19 en la región, por lo cual el incremento inicia en 2023 y continúa sin interrupción hasta 2030.

Además, es necesario aunar esfuerzos para mejorar la recolección y la trazabilidad de la información a fin de que permita visibilizar la realidad de estos mercados, ya que varios países no difunden datos sobre sus residuos reciclados. Esto puede deberse a la falta de recopilación de información o a que estas actividades se realizan en la informalidad, por lo cual no son contabilizadas como corresponde.

**Valorización energética:** Las instalaciones de valorización energética de RSM son usuales en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), pero aún no se han establecido en los países miembros prestatarios del BID. No obstante, se asume que los países de la región con elevada capacidad económica e institucional implementarán, durante el período de análisis, una primera planta de valorización energética en sus grandes ciudades, con una capacidad de tratamiento estimada igual al 5% de los RSM generados a nivel nacional, y una segunda instalación, con la misma capacidad, en 2030. Estas metas de incremento son quinquenales y los países en los que se propuso la inclusión de valorización energética, de acuerdo con su capacidad, son: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Nicaragua, Panamá y Venezuela.

**Cierre de botaderos a cielo abierto y vertederos controlados:** Debido a los riesgos sociales y ambientales asociados a los sistemas inadecuados de disposición, como los botaderos a cielo abierto y los vertederos controlados, su cierre y eliminación debe ser prioridad para la región. Entre los posibles riesgos sociales de estos sitios se encuentra el asentamiento de familias de recicladores informales en la periferia de los botaderos, e incluso en su interior, con el objetivo de extraer materiales reciclables para venderlos. Por las condiciones insalubres en las que viven y trabajan, estas poblaciones tienen un alto riesgo de contraer enfermedades virales y bacterianas (Kaza et al., 2018).

En cuanto a los riesgos ambientales que implica el manejo incorrecto de los RSM, algunos de ellos son los posibles derrumbes e incendios espontáneos, la infiltración de lixiviados en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de contaminantes orgánicos persistentes y la contaminación de cuerpos de agua por plásticos (Kaza et al., 2018).

Al igual que en el caso del servicio de recolección, de acuerdo con el criterio de los autores se definieron cuatro metas anuales de reducción en función de la tasa actual de disposición en botaderos a cielo abierto, que se presenta en el cuadro 22. Por su parte, en el cuadro 23 se muestran las metas de reducción anual para vertederos controlados en gran parte de los países de ALC miembros del BID.

Cuadro 22. Metas de reducción anual para los botaderos a cielo abierto

Porcentaje de disposición en botaderos a cielo abierto (2018)	Reducción anual (en porcentaje)
Superior al 40%	7,5
Entre el 40% y el 25%	4
Entre el 25% y el 10%	2,5
Inferior al 10%	1,5

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para estimar la reducción se debe restar la meta al porcentaje de disposición en botadero del año anterior de la siguiente forma:  $BCA_n = BCA_i - RA$ .

Cuadro 23. Metas de reducción anual para los vertederos controlados

País	Reducción anual (en porcentaje)
Argentina	1,0
Bahamas	1,5
Brasil	3,0
Ecuador	2,0
Guatemala	1,0
Guyana	4,5
Haití	1,5
Honduras	4,5
Jamaica	3,0
Panamá	2,0
Paraguay	3,0
Perú	2,0
Trinidad y Tobago	2,0
Uruguay	5,0
Venezuela	2,0

Nota: Solo se incluyen metas para los países que en su línea base presentaron una tasa de disposición final de residuos en vertederos controlados.

En este aspecto la modelación también tuvo en cuenta las dificultades presupuestarias causadas por la pandemia de COVID-19 en la región, por lo cual el incremento inicia en 2023 y continúa sin interrupción hasta 2030.

**Rellenos sanitarios:** Los residuos que ya no ingresan a sitios inadecuados de gestión y no son valorizados se envían a rellenos sanitarios, como medida adecuada, desde el punto de vista técnico, para su disposición. De esta manera, el porcentaje estimado de residuos que se disponen en rellenos sanitarios permite asegurar la capacidad instalada necesaria para soportar la demanda. En esta modelación también se contemplaron las dificultades presupuestarias causadas por la pandemia de COVID-19 en la región, por lo cual el incremento inicia en 2023 y continúa sin interrupción hasta 2030.

## Estimación de costos unitarios

### Recolección, transporte y transferencia

A fin de obtener los costos de los servicios de recolección, transporte y transferencia en el medio rural y el urbano se aplicaron las siguientes hipótesis:

- La recolección se realiza puerta a puerta con camiones compactadores de RSM de 19 m<sup>3</sup> (o 25 yd<sup>3</sup>) y 10 toneladas de capacidad y de 4,5 m<sup>3</sup> (o 6 yd<sup>3</sup>) y 2,5 toneladas de capacidad, ya que se considera que otros medios de recolección, como camiones abiertos o vehículos no convencionales tipo carretas, triciclos o carretillas, que podrían estar justificados en ciertos contextos, son ineficaces e inapropiados para un ejercicio como el presente.
- En el medio urbano, la mayoría de los accesos son adecuados y aptos para los camiones más grandes, por lo cual en este ámbito la flota está compuesta, en particular, por vehículos compactadores de 10 toneladas de capacidad.
- Por el contrario, en el medio rural la flota está conformada, sobre todo, por vehículos compactadores de 2,5 toneladas de capacidad.

- Para el servicio de recolección en el área urbana se consideró que los vehículos con capacidad de 10 y de 2,5 toneladas realizan de tres a cinco viajes en dos turnos de 8 horas, mientras que para el área rural se estableció que los camiones concretan entre tres y seis viajes, también en dos turnos de 8 horas.
- El traslado al sitio de disposición final se realiza mediante transporte directo de los camiones compactadores o transferencia, en estaciones de 220 t/día en medio rural y 1.300 t/día en medio urbano. Para cada estación de transferencia, la distancia de equilibrio (aquella en la que el transporte directo tiene el mismo costo que el valor mediante transferencia) es función de la composición de la flota y, a efectos de estimar los costos, se asume que la distancia que aplica al transporte directo a disposición final es igual a la distancia de equilibrio.

El cuadro 24 presenta los datos considerados para el cálculo del CAPEX y del OPEX.

Cuadro 24. Datos para la estimación de los gastos de capital y de operación en recolección, transporte y transferencia

Resumen			
Vehículos de recolección			
Plazo de amortización/2 turnos al día (años)	5		
Tasa de descuento (en porcentaje)	5		
Camión compactador	19m <sup>3</sup> o 25 yd <sup>3</sup>	4,5 m <sup>3</sup> o 6 yd <sup>3</sup>	
Carga útil (toneladas)	10	2,5	
Sistema de transporte y transferencia			
Camión de transferencia (capacidad en toneladas)	24		
Plazo de amortización/2 turnos al día (años)	5		
Tasa de descuento (en porcentaje)	5		
Estaciones de transferencia	Adquisición de terrenos	Construcción	Equipos
Plazo de amortización (años)	30	20	7
Tasa de descuento (en porcentaje)	3	10	10
Estación de transferencia	Rural	Urbana	
Capacidad (en toneladas al día)	220	1.300	
Tolvas de descarga	1	5	
Compactador estacionario	1	5	
Contenedores	10	53	
Camión patio	1	3	
Tipología de flota de recolección	Rural	Urbana	
Fácil acceso (camión compactador de 25 yardas cúbicas)	20	70	
Difícil acceso (camión compactador de 6 yardas cúbicas)	80	30	

Fuente: Faleiro (2020).

## Relleno sanitario

### Operación

El cálculo de los costos de la disposición final en rellenos sanitario se efectuó con base en información correspondiente a rellenos con capacidad de 20 t/día a 1.000 t/día, en dos turnos de 8 horas de trabajo, considerando que a partir de 1.000 t/día es necesario aumentar el número de frentes de trabajo.

Para las estimaciones económicas se analizaron los costos de un vaso de vertido con una geometría que permite una capacidad sobre el nivel de terreno de tres años, densidad de residuos compactada de 0,70 t/m<sup>3</sup>, necesidades de cobertura en la constitución de las celdas de vertido del 25% del volumen respecto de los residuos compactados, una profundidad de excavación de 4 m y una relación ancho/largo del vaso de vertido adecuada para el avance y la operación de un frente de trabajo.

Con esta definición, y según la capacidad de cada frente de vertido, se obtuvieron los siguientes costos:

- Costos de primera instalación, que incluyen preinversión (estudios, diseños y permisos), adquisición de terrenos.
- Costos de infraestructura fija: accesos, vigilancia, cerca perimetral, pesaje y control, báscula camionera, oficinas, baños, vestidores y servicio de personal, caminos interiores y perimetrales, cobertizo de mantenimiento y repostaje.
- Costos de infraestructura del vaso de vertido: excavación, impermeabilización y evacuación de lixiviados, infraestructura de manejo y control de lixiviados y biogás.
- En cuanto a la amortización, se consideró que en el frente de trabajo existen tres categorías de equipos, con diferentes cargas de trabajo y distintos períodos de amortización, con tasas de interés del 5% anual:
  - Equipos pesados para distribución, conformación y compactación de los RSM en el frente de trabajo, con período de amortización de cuatro años, en dos turnos de trabajo.
  - Equipos pesados auxiliares para carga, transporte, acondicionamiento y preparación de los materiales de cobertura, con período de amortización de siete años, en dos turnos de trabajo.
  - Equipos auxiliares y de utilización puntual y ante imprevistos, con período de amortización de 10 años, en dos turnos de trabajo.
- Equipos claves: i) tractores de cadenas, que en el caso de los frentes indicados se seleccionan con potencia de entre 80 CV y 337 CV, que acondiciona y compacta los residuos en un número limitado de pasadas, ii) un rodillo manual complementario de 7,5 toneladas y 10 toneladas de peso a partir de capacidades de 400 t/día de RSM y iii) equipos complementarios de carga, transporte y acondicionamiento del material de cobertura.
- En los frentes de trabajo se considera la existencia de equipos de apoyo como camionetas, compactadores ligeros, planta de energía, motobomba, hidrolavadora, equipo hidroneumático y herramientas.
- Costos de personal, entre los que se distinguen:
  - Personal calificado: personal técnico, administrativo y de adquisiciones, técnicos residentes, auxiliares técnicos, coordinador ambiental y de seguridad.
  - Personal de frente y ligado a la operación: basculista, bodeguero, vigilantes, encargado de frente, acomodador, auxiliares de bombeo y limpieza, mecánico de frente.

- Asimismo, se incluyen partidas para implementos, vestuarios, elementos de seguridad de trabajo y pequeñas herramientas.
- Costo de materiales para la constitución de la celda de vertido: material para cobertura de la propia excavación, material para cobertura de cantera, filtros, revestimientos, tuberías, entre otros.
- Costo de servicios especializados, sin presencia permanente, como el control topográfico, el análisis de laboratorio, los equipos de control ambiental, las revisiones mecánicas especializadas.

En función de lo descrito, los costos de preinversión y de infraestructura ligados al CAPEX serán relativamente pequeños y ejecutados en cortos períodos, al formar parte del capital mientras la infraestructura sigue activa y convertirse en un costo hundido una vez que esta se cierra. Sobre los costos de terrenos, se asume que estos entran al sistema a medida que se requieren, según planificaciones urbanas, y no existen costos financieros por una adquisición temprana. Hay ejemplos en los que estos terrenos se transforman en activos municipales para distintos usos una vez que su vida operativa ha finalizado, pero esta hipótesis no se tiene en cuenta en el análisis.

El OPEX, en tanto, que cubre los costos operativos, corresponde a los equipos del frente de trabajo, el personal en sus distintas categorías, los materiales y los servicios, por lo cual contempla gastos más elevados que el CAPEX.

## Clausura

La vida útil del relleno sanitario culmina con el proceso de clausura, que forma parte del plan de operaciones y se realiza, de manera total o parcial, durante la explotación del relleno, por lo cual en este ejercicio se considera una partida del OPEX.

En cuanto a los costos, el cierre se compone de una estructura de sellado y de una serie de actividades que se estiman como un porcentaje del sello (acondicionamiento y estabilización de taludes, demoliciones, escarificaciones y paisajismo e, incluso, partidas imprevistas).

La constitución del cierre puede variar en función del uso que se pretenda dar al sitio una vez clausurado, de las condiciones de la operación y de otros factores, como la climatología del lugar. Por lo general, la legislación define la estructura del sello y regula las condiciones de construcción. En este ejercicio, el sello está conformado por las siguientes capas, en orden descendente:

- Cubierta de tierra vegetal o material orgánico estabilizado de 0,25 m de espesor.
- Cubierta de suelo para soporte de vegetación y protección de impermeabilizaciones de 0,75 m de espesor.
- Capa drenante de 20 cm de espesor mínimo y permeabilidad superior o igual a  $10^{-3}$  m/s.
- Capa de impermeabilización a base de compuesto de bentónicos u organismos similares, con un espesor mínimo de 25 cm, coeficiente de impermeabilidad inferior a  $10^{-9}$  m/s (sustituible por lámina geosintética de impermeabilización con protección superior de refuerzo geotextil).
- Capa de regularización de espesor variable, estimado en 0,50 m, para proporcionar una pendiente mínima del 4% al sello final.

De igual forma, en el proceso de clausura deben tenerse en cuenta los sistemas de captura de biogás, las tuberías, los sistemas de manejo de los lixiviados producidos y las aguas de lluvia, el acondicionamiento de taludes, las demoliciones y el paisajismo.

Una vez sellada la infraestructura, comienza el período de seguimiento ambiental del sitio, en general, extenso, cuya duración, por lo común, establece la legislación. Esta actividad debería contar con su propio presupuesto, medios asociados al personal y los implementos técnicos necesarios y la capacidad de contratación de servicios especializados. Esta partida no se tuvo en cuenta en el OPEX de los rellenos sanitarios de nueva planta.

## Valorización

### Tratamientos físicos y biológicos

Respecto de las técnicas para el tratamiento y el aprovechamiento de los RSM, estas se agrupan, de forma general, en tratamientos físicos y biológicos. A veces, los dos procesos se realizan en las mismas instalaciones, aptas para recibir RSM separados en la fuente o mezclados, ya que las dos técnicas pueden ser complementarias.

El propósito de los tratamientos físicos es separar la fracción orgánica de los residuos y recuperar materiales destinados al reciclaje, y con valor comercial local, o a la producción de combustibles derivados de residuos (CDR), allí donde se alcancen acuerdos para su utilización, por lo común, con empresas cementeras.

Las instalaciones de tratamiento físico suelen estar situadas en la cabecera de los rellenos sanitarios o en las estaciones de transferencia, si las condiciones ambientales lo permiten. Estas instalaciones están dotadas de elementos mecánicos para la separación y, con frecuencia, disponen de separación manual en cabina en cabecera, para eliminar voluminosos o inaceptables, y separación en cola, como afino y clasificación final.

Los tratamientos biológicos se basan en la descomposición de material orgánico en condiciones aerobias o anaerobias. En el caso del compostaje, existe una reducción en peso y volumen debido a la producción de gases de nitrógeno ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ), de carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) y vapor de agua, sobre todo, en el proceso de calentamiento inicial, y a la generación de líquidos en forma de lixiviados, con una carga importante de materias en solución.

En este informe se analizaron las instalaciones orientadas a la separación de materiales con valor comercial y a los procesos de compostaje, es decir, con dos líneas de tratamiento: la primera centrada en la separación mecánica de las fracciones con valor comercial y la segunda dirigida al tratamiento de fracción orgánica de los RSM y a la adición de otros restos vegetales procedentes de jardines y podas y la preparación de material estabilizado para enmiendas de suelos o para su confinamiento en el sitio de disposición final. Esta última práctica, que parecería contradictoria, presenta ventajas en la operación del relleno debido a la reducción de la producción de biogás y de lixiviados.

Respecto del reciclaje, los países de la OCDE, en función de limitaciones legales y ambientales, exhiben tasas del orden del 29% del total de los RSM, mientras que en los países miembros prestatarios del BID las tasas son del 4,2%, con un elevado índice de informalidad.

En cuanto al análisis del compostaje como método de tratamiento en los países de la OCDE, es preciso tener en cuenta que organizaciones como la Unión Europea han establecido límites para la llegada de residuos biodegradables a los rellenos sin tratamiento previo.

En Kaza et al. (2018) se reporta un compostaje del 6,6% de los RSM para los países de la OCDE. Básicamente, si se considera que la fracción de los residuos orgánicos biodegradables informados es del 32,5% (el 26,5% de fracción de restos orgánicos en los RSM y el 6,0% de restos de jardinería y podas), los países de la OCDE podrían aumentar la producción de compost hasta el 10% de los RSM.<sup>14</sup>

El compost puede tener diversos usos. Entre los más importantes se destacan los siguientes:

- Acondicionamiento de suelos agrícolas.
- Enmienda de suelos deteriorados
- Estabilización de la fracción orgánica, de manera previa a la disposición final, para simplificar la gestión.
- Formación del sello en el cierre de rellenos.

La fracción de restos orgánicos en los RSM de los países miembros prestatarios del BID es del orden del 52%, por lo cual la capacidad de producción de compost aún puede incrementarse de manera notable, pero va a demandar apoyo económico y regulaciones técnicas que propicien el uso la y comercialización de este tipo de productos. Por otro lado, se estima que, con el paso del tiempo, el proceso de urbanización y el aumento de la renta van a generar una disminución del porcentaje de la fracción orgánica de los RSM.

Para los cálculos económicos (véase el cuadro 25) se analizó infraestructura del tipo indicado con tres capacidades distintas:

- Costos de primera instalación, que comprenden preinversión (estudios, diseños y permisos ambientales).
- Costos de construcción de la infraestructura:
  - Para el tratamiento físico: obra civil, control de accesos y vigilancia, instalaciones eléctricas e hidráulicas, instalaciones para el personal, bodega, galpón para la planta de selección, oficinas, servicios.
  - Para el tratamiento biológico: instalaciones de características similares y un galpón para el proceso de compostaje.
- Costos de equipamiento y maquinaria:
  - Para el tratamiento físico: una instalación tipo con un sistema de recepción, pesaje, sistema de tamizaje, bandas transportadoras, sistemas abre Bolsas y equipos, con diversos grados de sofisticación, para optimizar la extracción de los elementos reciclables.
  - Para el tratamiento biológico: elementos para facilitar los procesos, en esencia, de fermentación y maduración, que pueden durar meses cuando se realizan de modo tradicional o semanas si se utilizan los sistemas acelerados, así como los procesos de tamizado, afino y envasado.<sup>15</sup>
  - Equipos para el manejo, la carga y la movilización de los productos.
  - Equipos auxiliares, como plantas eléctricas, compresores, montacargas.
- Costos de operación y mantenimiento:
  - Costos de energía y agua.
  - Costo de monitoreo ambiental.
  - Sobrecoste de carga y transporte de rechazos y material estabilizado a sitio de disposición final.

<sup>14</sup> Se estima que un proceso de compostaje produce una cantidad de compost del 33% del peso de la cantidad original:  $32,5\% \times 33\% = 10,7\%$ .

<sup>15</sup> Las etapas de los procesos de fermentación y maduración comprenden la mesofílica, la termofílica, el enfriamiento y la maduración.



- Menor costo por las pérdidas en peso producidas en el proceso de compostaje.
- Costos de mantenimiento de la obra civil, la maquinaria y los equipos.
- Costos de personal, que abarcan diversas tipologías de equipos para el tratamiento físico y para el tratamiento biológico. Para el tratamiento físico se destaca el requerimiento de una cantidad importante de recicladores en las cabinas de reciclaje.
- En el cálculo de los costos de operación, como ya se indicó, no se tuvieron en cuenta el valor de los materiales reciclados y el valor de los materiales estabilizados provenientes del tratamiento de la fracción orgánica de los RSM.

En tal sentido, el CAPEX está ligado a los costos de preinversión, construcción y terrenos, correspondientes a infraestructura, equipos y maquinaria, mientras que el resto de los costos indicados forma parte del OPEX.

Cuadro 25. Datos de proceso para la estimación de los gastos de capital y de operación para la valorización

Características brutas de los RSM para el análisis económico	Unidad	Valor
Materia orgánica	t/t de residuos en %	51,59
Material reciclable con valor comercial		
Papel	t/t de residuos en %	9,50
Cartón	t/t de residuos en %	3,59
Plástico	t/t de residuos en %	12,46
Vidrio	t/t de residuos en %	3,75
Metal	t/t de residuos en %	2,76
Material reciclable con valor comercial	t/t de residuos en %	32,06
Otras fracciones sin valor comercial	t/t de residuos en %	16,35
Datos de proceso (separación física)		
Recuperación de materiales valorizables	En porcentaje	35,0
Recuperación de materia orgánica	En porcentaje	92,0
Datos de proceso del compost y enmiendas		
Producción de compost	Material orgánico en %	33,0
Rechazo del proceso de afino	Material orgánico en %	27,0
Pérdidas (H <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> )	Material orgánico en %	40,0
Materiales valorizables		
Papel	t/t de residuos en %	3,32
Cartón	t/t de residuos en %	1,26
Plástico	t/t de residuos en %	4,36
Vidrio	t/t de residuos en %	1,31
Metal	t/t de residuos en %	0,96
<b>Total de material reciclable con valor comercial</b>	<b>t/t de residuos en%</b>	<b>11,22</b>
Valorizable de origen orgánico		
Material orgánico estabilizado como compost	t/t de residuos en %	0,78
Material orgánico estabilizado como enmienda de suelos	t/t de residuos en %	7,05
<b>Total de material valorizable de origen orgánico</b>	<b>t/t de residuos en%</b>	<b>7,83</b>
<b>Rechazos a relleno</b>	<b>t/t de residuos en%</b>	<b>61,96</b>
<b>Pérdidas (H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>)</b>	<b>t/t de residuos en%</b>	<b>18,98</b>
Datos de amortización		
Plazo de amortización	Años	15
Tasa de descuento	En %	12

Fuente: Faleiro (2020).

## Valorización energética

Se trata de una tecnología que produce residuos ocasionalmente peligrosos, que deben ser manejados de manera adecuada, lo cual supone un costo importante de operación y un riesgo ambiental. En ese sentido, este tipo de instalaciones debe estar sometido a estrictas normas ambientales tendientes a minimizar el impacto de la emisión de los gases de combustión.

En los países de la OCDE, la tasa de utilización de la incineración es del 22,4% de los RSM. Su uso no es homogéneo, ya que es preponderante en algunos territorios del norte de Europa y en Japón, pero existen experiencias en la mayoría de estos países.

Para los cálculos económicos (véase el cuadro 26) se analizó infraestructura del tipo indicado con tres capacidades distintas:

- Costos de primera instalación, que incluyen preinversión (estudios, diseños y permisos ambientales).
- Costos de construcción de la infraestructura: obra civil, pesaje y control de accesos y vigilancia, área de acondicionamiento de residuos, instalaciones eléctricas e hidráulicas, instalaciones para el personal, bodega, edificio de la instalación y para el tratamiento de gases, así como edificios de oficinas y servicios.
- Costos de equipamiento y maquinaria: sistema de preparación de residuos, cárcamo de recepción con grúas de techo, calderas, turbinas y demás elementos para la recuperación de energía y sistemas para el tratamiento de gases.
- Costos de operación y mantenimiento:
  - Costos de energía y agua.
  - Costo de monitoreo ambiental, en particular de la calidad de la emisión de gases.
  - Costo del manejo de subproductos procedentes del proceso de combustión, como cenizas y escorias, y los derivados del tratamiento de gases.
- Costos de personal técnico y operarios.

En el cálculo de los costos de operación, como ya se indicó, no se tuvo en cuenta el valor de los subproductos generados en el proceso.

En tal sentido, el CAPEX está ligado a los costos de preinversión, construcción y terrenos, correspondientes a infraestructura, equipos y maquinaria, mientras que el resto de los costos indicados forma parte del OPEX.

Cuadro 26. Datos de proceso para la estimación de los gastos de capital y de operación para la valorización energética

Escorias y cenizas	Unidad	Valor
Escoria ( <i>bottom ashes</i> )	t/t de residuos en porcentaje	22,0
Cenizas ( <i>fly ashes</i> [residuo peligroso])	t/t de residuos en porcentaje	2,3
<b>Datos de amortización</b>		
Plazo de amortización	Años	30
Tasa de descuento	En porcentaje	12,0

Fuente: Faleiro (2020).

## Estimación de los recursos requeridos para el cumplimiento de las metas propuestas

La estimación de los recursos requeridos para el cumplimiento de las metas propuestas se realizó con base en la cantidad de residuos para gestionar en cada actividad y los recursos necesarios para mejorar la gobernanza del servicio (que incluye el fortalecimiento institucional, compuesto por la capacidad de planificación, reglamentación, ejecución, monitoreo y fiscalización y los programas de educación, comunicación e inclusión de los diferentes actores, entre otros elementos).

Estudios recientes sobre financiamiento de la gestión de residuos sólidos han utilizado metodologías similares. Por ejemplo, en Google y AFARA (2022) se establece la magnitud del problema global de los plásticos en términos de la brecha (*gap*) existente entre la generación actual y la generación proyectada de plásticos y la valorización de estos a través de reciclaje mecánico, químico, etc., y se mencionan las potenciales intervenciones que facilitarían la circularidad de estos materiales y su impacto. Asimismo, el informe de Google propone una evaluación económica con base en el planteamiento de escenarios futuros y sugiere un plan de acción para la implementación de las acciones de mayor impacto.

Los **supuestos** empleados en el desarrollo del estudio son los siguientes:

- En todos los casos, el servicio de recolección de la región cuenta con un nivel que va de limitado en adelante. Sin embargo, por la información disponible y su nivel de agregación, no es posible establecer con exactitud la calidad del servicio.
- De acuerdo con la clasificación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el manejo de los RSM en los rellenos sanitarios de la región tiene un control que va de básico en adelante, es decir que son instalaciones con estaciones de pesaje y registro, cercadas y aisladas por completo, donde la compactación de los residuos respeta las pendientes de las celdas para evitar deslizamientos, que no presentan incendios y disponen de personal calificado, entre otras características.
- Para los vertederos controlados se asume que el nivel de control es limitado, mientras que para los botaderos a cielo abierto se considera un nivel sin control, según la descripción de la metodología del indicador 11.6.1 de los ODS.
- En cuanto a la tasa de valorización, para este estudio incluye las tasas de reciclaje, las tasas de aprovechamiento biológico (compostaje) y la tasa de valorización energética (cogeneración o incineración).
- Los países cuentan con elementos habilitadores, como las normas que se aplican a las diferentes tecnologías, y un mercado capaz de absorber los productos y subproductos resultantes de estos procesos.
- Es preciso aclarar que, a diferencia de los ODS, este estudio solo considera los residuos sólidos municipales, que no necesariamente corresponden al total de los residuos del país.

Si bien las metas propuestas contemplan el concepto de economía circular, a través de las actividades de recuperación, reciclaje y valorización energética, es importante puntualizar que en la estimación de los recursos de inversión y operación necesarios no se incluyó un presupuesto específico para estrategias de prevención en la generación de RSM que promuevan cambios en los sistemas de producción. Se asume que este tipo de acciones se podrá ver reflejado en la reducción o la estabilización de la producción per cápita y, por ende, se espera que parte de los recursos de fortalecimiento institucional y gobernanza sea destinada a ese fin.

El cálculo de los costos se realizó con base en los supuestos mencionados. En tal sentido, este análisis no pretende sustituir los estudios de ingeniería ni desconocer las particularidades nacionales y locales (aspectos sociales, legales, regulatorios) que pueden afectar, de forma considerable, el costo final de la prestación del servicio definido en este documento.

## ANEXO 3. COSTOS DE INVERSIÓN POR ACTIVIDAD SEGÚN LA CAPACIDAD

En el cuadro 27 se presentan los costos de inversión por actividad según su capacidad, el plazo de amortización, la tasa de descuento y el cálculo del costo anual equivalente. Estos costos permitieron estimar las curvas y la función de costos para cada actividad.

Cuadro 27. Costos de inversión por actividad

		Inversión	Unidad de capacidad	Capacidad	Valor total de la inversión (en dólares)	Plazo de amortización (años)	Tasa de descuento (en %)	Costo anual equivalente US\$/año	Capacidad t/año	US\$/t/año
Actividad	Recolección, transporte y transferencia	Camión de recolección	t/viaje	10	117.000	5	12	32.457	10.950	10,7
			t/viaje	2,5	42.000	5	12	11.651	4.563	9,2
		Camión de transferencia	t/viaje	24	122.000	5	12	33.844	15.034	8,1
		Estación de transferencia - Inversión en terreno	t/día	220	780.000	30	12	96.832	80.300	9,7
			t/día	1.300	1.600.000	30	12	198.630	474.500	3,4
		Estación de transferencia - Construcción	t/día	220	722.500	20	12	96.727	80.300	9,0
			t/día	1.300	2.165.280	20	10	254.333	474.500	4,6
		Estación de transferencia - Inversión en equipos	t/día	220	680.492	7	12	149.108	80.300	8,5
	t/día		1.300	3.173.435	7	10	651.841	474.500	6,7	
	Disposición final en relleno sanitario	Infraestructura (inversión, terrenos, construcción, lixiviados y biogás)	t/mes	608	218.621	3,6	12	78.310	7.296	30,0
			t/mes	1.521	397.875	3,6	12	142.518	18.252	21,8
			t/mes	4.563	1.004.678	3,6	12	359.874	54.756	18,3
			t/mes	7.604	1.620.957	3,6	12	580.624	91.248	17,8
			t/mes	12.167	2.532.247	3,6	12	907.046	146.004	17,3
t/mes			19.771	3.878.821	3,6	12	1.389.387	237.252	16,3	
t/mes			25.854	5.019.198	3,6	12	1.797.868	310.248	16,2	
t/mes			30.417	5.704.175	3,6	12	2.043.226	365.004	15,6	
Valorización: tratamiento físico y biológico	Infraestructura, equipamiento y maquinaria	t/mes	38.933	19.265.805	15	12	2.828.687	467.196	41,2	
		t/mes	9.125	6.107.206	15	12	896.686	109.500	55,8	
		t/mes	304	496.739	15	12	72.933	3.648	136,2	
Valorización energética	Infraestructura, equipamiento y maquinaria	t/mes	38.933	252.162.175	30	12	31.304.335	467.196	539,7	
		t/mes	9.125	81.433.589	30	12	10.109.464	109.500	743,7	
		t/mes	4.000	43.558.141	30	12	5.407.467	48.000	907	

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 4. FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

**Indicador 11.6.1: Proporción de residuos sólidos municipales recogidos y administrados en instalaciones controladas con respecto al total de residuos municipales generados, desglosada por ciudad**

De acuerdo con la metodología de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el indicador 11.6.1 debe medirse en dos subcategorías, una para los residuos recolectados y otra para los residuos tratados en instalaciones controladas, de la siguiente forma:

$$ODS\ 11.6.1\ categoría\ a = \frac{RSU\ recolectados\ (t/día)}{RSU\ generados\ (t/día)} \times 100\%$$

$$ODS\ 11.6.1\ categoría\ b = \frac{RSU\ tratados\ en\ instalaciones\ controladas\ (t/día)}{RSU\ generados\ (t/día)} \times 100$$

**Indicador 12.5.1: Tasa nacional de reciclado, en toneladas de material reciclado**

La fórmula del indicador 12.5.1 de los ODS es:

$$Tasa\ de\ reciclaje = \frac{(Material\ reciclado + Exportación\ material\ para\ reciclar - Importación\ material\ para\ reciclar)}{Total\ de\ residuos\ generados}$$

El total de residuos generados hace referencia a la producción total de residuos del país, incluyendo residuos sólidos municipales, residuos industriales y de otras actividades económicas.

## ANEXO 5.

### 1. Proceso de cálculo para la estimación de costos

Para estimar los costos se requiere la información de los indicadores básicos y las metas por país, es decir, cobertura de recolección rural y urbana con su meta de incremento respectiva, porcentaje esperado de disposición en vertedero, en relleno sanitario, proporción de valorización mediante reciclaje, compostaje e incineración para ese país.

La primera verificación que se debe realizar es que el 100% de los residuos recolectados esté asignado a una corriente de disposición o valorización. Asimismo, es preciso conocer las características de la población, el producto interno bruto (PIB) y la generación de residuos. Cabe resaltar que mientras más actualizados estén los datos, más certero será el ejercicio. Las variables usadas en los ejemplos se consignan en el cuadro 28.

Cuadro 28. Variables utilizadas para la estimación de costos

Variables base de cantidades	Siglas y abreviaturas
Cobertura de recolección urbana (en porcentaje)	CRU
Metas de incremento/disminución de actividad (en porcentaje)	META
RSM al año (t/año)	RSM
Residuos a relleno sanitario (en porcentaje)	RS
Residuos a reciclaje y compostaje (en porcentaje)	RRC
Habitantes	Hab.

Por otro lado, se dispone de los costos unitarios de CAPEX y OPEX para cada actividad del servicio. En principio, los costos por tonelada de cada actividad se podrán estimar con datos certeros del país, el año de cálculo y las consideraciones del anexo 3. En tanto, la denotación *i* hará referencia a un valor para la variable (capacidad, tamaño, etc.). El ejercicio se realiza para costos urbanos en OPEX y con valorización en tratamiento físico y biológico. Sin embargo, los demás costos también se calculan con estos procedimientos (véase el cuadro 29).

Cuadro 29. Siglas correspondientes a los costos unitarios por actividad

Costos unitarios por actividad y variables de obtención de costos unitarios	OPEX
Costo de recolección y transporte a transferencia (US\$/t) en medio urbano (también usado para los residuos que van directamente a disposición final)	CRT
Costo de equipos nuevos para rellenos sanitarios (US\$/t) coeficiente a	CRESA
Costo de equipos nuevos para rellenos sanitarios (US\$/t) coeficiente b	CRESB
Impacto en OPEX de la clausura del relleno sanitario	IC
Coefficiente de corrección de costos en relleno sanitario frente a uno de nueva planta	COEF
Cierre de vertedero (US\$/t)	CCV
Seguimiento ambiental en rellenos (US\$/t)	SAR
Valorización coeficiente a	VA
Valorización coeficiente b	VB

#### Costos de recolección y transporte

A continuación, se presentan ejemplos de las ecuaciones y los cálculos realizados para obtener el costo de la recolección y el transporte (RT), tanto urbano como rural. En primer lugar, se establece la cantidad de residuos efectivamente recolectados a partir de la generación y la cobertura. Si cada año se incrementa la meta de cobertura, los residuos recolectados deben aumentar.

$$CRU \% (\text{año } i + 1) = CRU \% \text{ año } i + META \%$$

Ecuación 1

$$RSM \text{ recolectados} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = CRU \% * RSM \left( \frac{t}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 2

Luego, se calculan los residuos que serán llevados directamente a disposición final (DF) y a estación de transferencia (ET), así como los que irán desde cada distancia de la estación de transferencia a DF.

$$Residuos \text{ directos a DF} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = RSM \text{ recolectados} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) * \% \text{ directo a DF}$$

Ecuación 3

$$Residuos \text{ a ET} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = RSM \text{ recolectados} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) * \% \text{ a ET}$$

Ecuación 4

$$Residuos \text{ a DF desde cada distancia } i \text{ desde ET} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = Residuos \text{ a ET} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) * \% \text{ ET a distancia } i$$

Ecuación 5

Posteriormente, se calcula el OPEX de residuos que van directamente a disposición final. La misma ecuación se utiliza para los residuos que van a transferencia.<sup>16</sup>

$$Costo \text{ RT directamente a DF} \left( \frac{US\$}{\text{año}} \right) = Residuos \text{ directamente a DF} (t) * CRT \left( \frac{US\$}{t} \right)$$

Ecuación 6

Por último, el costo en OPEX para la actividad será la suma del costo del transporte directo a disposición final, el costo del transporte a estación de transferencia y el costo de transporte desde cada distancia de la estación de transferencia al sitio de disposición.

$$OPEX \text{ RT} \left( \frac{US\$}{\text{año}} \right) = Costo \text{ RT directo a DF} + Costo \text{ RT a ET} + \sum Costo \text{ RT desde distancia } i \text{ desde ET}$$

Ecuación 7

<sup>16</sup> En el costo de transferencia también se debe tener en cuenta el costo de las instalaciones. Para los cálculos se puede utilizar cualquier moneda, aunque en los ejemplos aquí presentados se consigna el símbolo correspondiente a dólares de EE.UU.



## Costos de disposición final y clausura

Según las metas para cada país y la línea base se obtiene el porcentaje de residuos que se trasladan a relleno sanitario, vertedero controlado y botadero a cielo abierto, así como lo que se espera desviar cada año a valorización. En tal sentido, el primer paso es calcular las toneladas que irán a cada destino, por ejemplo, para los residuos que serán llevados a relleno sanitario:

$$RS\% (\text{año } i + 1) = RS\% \text{ año } i \pm META$$

Ecuación 8

$$RSM \text{ a } RS \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = RS\% * RSM \left( \frac{t}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 9

Luego se estiman los costos para cada uno de los destinos de disposición final (DF). Debido a que el cálculo de los destinos de disposición final corresponde tanto a una función de costos en OPEX como en CAPEX, primero hay que calcular el costo unitario y luego hay que establecer el costo total según la cantidad de toneladas. El ejemplo para relleno sanitario en OPEX es el siguiente:<sup>17</sup>

$$\text{Costo unitario OPEX DF en RS} \left( \frac{\text{US\$}}{t} \right) = (1 + IC\%) * \frac{CRESB * Capacidad i^{CRESA}}{COEF^{16}}$$

Ecuación 10

$$\text{Costo OPEX por capacidad } i \left( \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right) = \% RSM \text{ a capacidad } i * RSM \text{ a } RS * \text{Costo unitario OPEX DF en RS}$$

Ecuación 11

$$OPEX RS \left( \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right) = \sum \text{Costo OPEX por cada capacidad}$$

Ecuación 12

De igual forma, se debe calcular el OPEX de la clausura de los sitios de disposición y los planes ambientales (SAR), que se obtiene al multiplicar la cantidad de toneladas que van a cierre por los costos de cada una de estas actividades. El ejemplo para la actividad de cierre de vertedero (CV) es el siguiente:<sup>19</sup>

$$OPEX CV \left( \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right) = t \text{ a cierre} * CCV \left( \frac{\$}{t} \right) + t \text{ a cierre} * SAR$$

Ecuación 13

Entonces, la suma de costos de operación durante su vida útil y su cierre dan el total de costo de operación por sitio de disposición. Así, la suma del total de OPEX de RS y el de los vertederos da como resultado el total de costos por disposición para el año.

17 Con base en los costos unitarios descritos en el cuadro 29.

18 Se incluye el coeficiente porque la función de costos fue calculada para un relleno sanitario de nueva planta.

19 CCV: costo unitario correspondiente al cierre de vertedero.

## Valorización de residuos

Al igual que en el caso de la disposición final, la valorización cuenta con una función de costo que permite determinar, a través de los coeficientes, el costo unitario por tonelada de la actividad y el costo total de las toneladas para valorizar en el año. Este costo unitario debe considerar la capacidad de la planta de valorización. A continuación, se presenta el ejemplo para el OPEX de la operación de una planta de recuperación con tratamiento biológico y físico mediante reciclaje y compostaje (VRC):

$$\text{Costo OPEX VRC} \left( \frac{\text{US\$}}{t} \right) = \text{valor mínimo entre (Techo función, } VA + \frac{12 * VB}{\text{Capacidad } i})$$

Ecuación 14

$$\text{Costo OPEX VRC (US\$)} = \text{Costo OPEX VRC (US\$/t)} * \text{RRC \% a capacidad } i * \text{RRC (t)}$$

Ecuación 15

Se realiza el mismo procedimiento por cada instalación de tratamiento físico y biológico, según su capacidad, y para el costo de valorización energética, ya que la estructura de función unitaria de costo es igual, reemplazando los coeficientes, las capacidades y la cantidad de residuos correspondientes.

## Costos totales

El costo total en OPEX o CAPEX es, entonces, la suma de todas las actividades. Asimismo, la suma total del CAPEX y el OPEX resulta en los costos totales directos, los cuales al incorporar los institucionales (el 5%) corresponden a los costos totales. Este valor podría tener modificaciones según el país y los costos institucionales reales de la siguiente forma:

$$\text{OPEX total (US\$)} = \sum \text{OPEX por actividad (US\$)}$$

Ecuación 16

$$\text{Costos directos (US\$)} = \text{OPEX total (US\$)} + \text{CAPEX total (US\$)}$$

Ecuación 17

$$\text{Costos totales (US\$)} = \text{Costos directos (US\$)} + 5\% * \text{Costos directos (US\$)}$$

Ecuación 18

Ahora bien, para calcular los costos por habitante, la proporción frente al PIB y el costo total por tonelada se utilizan los costos totales y la variable de interés. A continuación se describe la ecuación para el costo por habitante:

$$\text{Costos por hab.} \left( \frac{\text{US\$}}{\text{hab.}} \right) = \frac{\text{Costos totales (US\$)}}{\text{hab.}}$$

Ecuación 19

## 2. Resumen de pasos y guía para los cuadros 14 al 18

1

**En caso de que no se haya llegado a la cobertura universal,** tanto en medio urbano como rural, se debe sumar la meta del país a la cobertura del año anterior **aplicando la ecuación 1**

2



**Aplicar la ecuación 2**

según la cantidad de residuos producidos en el país y la cobertura del año

3

**Suma del cálculo para medio urbano y medio rural** (en este cuadro el detalle se realiza para el caso urbano).

4



**Aplicar la ecuación 3.**

En el ejercicio se asume que el 40% de los residuos se transporta de manera directa al sitio de disposición y los residuos restantes se trasladan a estación de transferencia, pero esto puede variar según el país.

5



**Aplicar la ecuación 4.**

En el ejercicio se asume que el 60% de los residuos se transporta de manera directa a estación de transferencia, pero esto puede variar según el país.

6



**Aplicar la ecuación 5.**

Según la porción de residuos que debe recorrer las distintas distancias hasta el sitio de disposición final, lo cual puede cambiar según las condiciones del país.

7



**Aplicar la ecuación 6.**

Multiplicando el costo unitario del transporte al sitio de disposición final por las toneladas que se trasladan a este destino.

8

**Para la aplicación de la ecuación 6 en estación de transferencia** se debe sumar el costo del transporte y el de la estación en sí (para CAPEX).

9

**Al sumar cada valor de la sección de costos de transporte** se obtiene el CAPEX urbano, como en la ecuación 7

**10**

Repetir el procedimiento empleado con la ecuación 6 en CAPEX para determinar los costos unitarios de OPEX.

**11**

**Al sumar cada valor de la sección**

se obtiene el CAPEX urbano

**12**

**De igual forma, al sumar los valores urbanos y rurales**

se obtienen los totales de CAPEX y OPEX.

**13**

**Aplicar la ecuación 8**

según las metas del país para ese año de acuerdo con la cantidad de residuos que deben llegar a cada corriente a fin de obtener el porcentaje de residuos que deberán destinarse o desviarse a cada una de ellas.

**14**

**Aplicar la ecuación 9**

según la cantidad de residuos del año y el porcentaje por destino o desvío, de modo de obtener los residuos que en efecto irán a cada corriente.

**15**

**Para cada capacidad asociada a cada actividad,**

y en función de su costo unitario, se calculan los costos de disposición en relleno sanitario, vertedero controlado, botadero a cielo abierto y relleno de nueva planta. En todos los casos, excepto en el último, se debe incluir un coeficiente de corrección de precio en comparación con el relleno de nueva planta.

**Se ilustra el detalle para relleno sanitario y los totales, aplicando la ecuación 10, la ecuación 11 y la ecuación 12.**

**16**

**Se calculan los costos de cierre de vertederos y de rellenos sanitarios que deban clausurarse,**

de acuerdo con los costos de OPEX determinados. En el caso de los vertederos, se estima según la ecuación 13 y el costo unitario del cierre y del plan ambiental.

**17**

**A partir de los valores obtenidos al aplicar la ecuación 9**

se establecen los residuos que se desvían a valorización por separación mecánica y compostaje.

**18**

Luego de aplicar la ecuación 14 y obtener los costos unitarios de valorización, se usa la ecuación 15 para estimar el costo por instalación para CAPEX y OPEX.

**19**

**El mismo procedimiento se lleva a cabo para valorización energética, teniendo en cuenta las metas por país.** En este caso se asume que el 100% de los residuos que se destinen a valorización energética van a una planta con capacidad para 660.000 toneladas al año.

**20**

**Por último, los costos totales corresponden a la aplicación de la ecuación 16, la ecuación 17 y la ecuación 18**

## ANEXO 6. RESULTADOS POR PAÍS

Cuadro 30. Necesidades de inversión por país

País	Costos totales (US\$/hab.- año)	Costos totales (US\$/t)	CAPEX (millones de US\$/año)	OPEX (millones de US\$/año)	Costos institucionales (millones de US\$/año)	Costos totales (millones de US\$/año)
Promedio anual 2021-30						
Argentina	22,13	54,09	234,7	773,0	50,4	1.058,1
Bahamas	40,06	54,60	3,1	13,2	0,8	17,1
Barbados	41,80	61,28	2,4	9,2	0,6	12,1
Belize	16,09	55,03	1,2	5,6	0,3	7,1
Bolivia	13,94	52,33	36,5	129,9	8,3	174,7
Brasil	21,65	52,72	1.012,5	3.550,8	228,2	4.791,5
Chile	24,87	52,86	103,3	351,3	22,7	477,3
Colombia	15,16	56,36	188,2	563,7	37,6	789,4
Costa Rica	19,37	54,28	22,5	74,8	4,9	102,2
Ecuador	19,23	55,70	72,5	269,0	17,1	358,5
El Salvador	16,07	48,75	18,1	83,9	5,1	107,1
Guatemala	10,66	49,94	36,0	166,4	10,1	212,5
Guyana	22,54	54,91	3,2	14,3	0,9	18,3
Haití	7,06	30,56	14,9	66,7	4,1	85,7
Honduras	13,50	45,99	24,5	111,8	6,8	143,1
Jamaica	16,81	40,20	8,6	38,3	2,3	49,3
México	24,75	55,46	768,7	2.584,4	167,7	3.520,7
Nicaragua	15,89	51,46	22,5	80,4	5,1	107,9
Panamá	22,55	53,66	20,9	79,1	5,0	105,0
Paraguay	13,96	42,53	18,1	82,3	5,0	105,4
Perú	14,70	51,62	93,9	402,6	24,8	521,4
República Dominicana	22,13	49,38	52,9	194,2	12,4	259,5
Suriname	4,70	37,49	0,5	2,2	0,1	2,8
Trinidad y Tobago	31,34	53,37	7,4	33,8	2,1	43,2
Uruguay	19,55	47,17	12,4	53,8	3,3	69,5
Venezuela	7,44	59,13	52,9	197,4	12,5	262,9
<b>Total de países</b>	<b>19,7</b>	<b>55,9</b>	<b>2.832,4</b>	<b>9.932,0</b>	<b>638,2</b>	<b>13.402,5</b>

# Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Estructura de costos del servicio y estimación de los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

