

# Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas

Autores:

Magda Carolina Correal

Juan Alfredo Rihm

División de Agua y Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°

IDB-TN-2402

Enero 2022

# Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas

Autores:

Magda Carolina Correal

Juan Alfredo Rihm

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

Correal, Magda Carolina.

Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe: conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas / Magda Carolina Correal, Juan Alfredo Rihm; editoras, Alejandra Abrodos, Claudia M. Pasquetti.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2402)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Refuse and refuse disposal-Economic aspects-Latin America. 2. Refuse and refuse disposal-Economic aspects-Caribbean Area. 3. Refuse and refuse disposal-Government Policy-Latin America. 4. Refuse and refuse disposal-Government Policy-Caribbean Area. 5. Recycling (Waste, etc.)-Economic aspects-Latin America. 6. Recycling (Waste, etc.)-Economic aspects-Caribbean Area. I. Rihm, Alfredo. II. Abrodos, Alejandra, editora. III. Pasquetti, C. M. (Claudia María), editora. IV. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. V. Título. VI. Serie.

IDB-TN-2402

Palabras clave: valorización, residuos sólidos, América Latina y el Caribe, manejo de residuos sólidos, tratamiento, reciclaje, residuos plásticos, mejores técnicas disponibles, tecnologías probadas, políticas públicas, termovalorización, recuperación de residuos, economía circular.

Códigos JEL: Q53

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2022] 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.



# Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Conceptos básicos, análisis de viabilidad y  
recomendaciones de políticas públicas





Copyright © 2022 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 un acuerdo de licencia adicional.

Nótese 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.

Clasificaciones JEL: Q53

Palabras clave: valorización, residuos sólidos, América Latina y el Caribe, manejo de residuos sólidos, tratamiento, reciclaje, residuos plásticos, mejores técnicas disponibles, tecnologías probadas, políticas públicas, termovalorización, recuperación de residuos, economía circular.



Banco Interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20577  
[www.iadb.org](http://www.iadb.org)

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

**Colaboradores externos:**

Coordinación de la producción editorial: Sarah Schineller  
Revisión editorial: Alejandra Abrodos y Claudia M. Pasquetti  
Diagramación: Erik Wegner (Erko)

# Contenido

<b>1. CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE .....</b>	<b>8</b>
<b>2. CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 Mejores técnicas disponibles (MTD) .....	12
2.2 Tecnologías probadas .....	14
2.3 Tecnologías para la valorización de residuos sólidos .....	17
<b>3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE PROYECTOS .....</b>	<b>27</b>
Paso 1: Selección del escenario según el contexto .....	30
Paso 2: Selección de medidas para implementar en la gestión de residuos .....	33
Paso 3: Evaluación de técnicas de valorización potencialmente viables .....	35
Paso 4: Estructuración de proyectos de tratamiento y valorización .....	40
<b>4. RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>47</b>
4.1 Políticas públicas e instrumentos empleados en la Unión Europea .....	48
4.2 Barreras y recomendaciones en América Latina y el Caribe .....	51
4.3 Recomendaciones finales .....	55
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
Ficha técnica 1: Tratamiento mecánico .....	68
Ficha técnica 2: Tratamiento biológico - Digestión anaerobia .....	70
Ficha técnica 3: Tratamiento biológico - Compostaje .....	73
Ficha técnica 4: Tratamiento biológico - Tratamiento térmico intensivo .....	76
Ficha técnica 5: Tratamiento térmico - Incineración con generación de energía o sin ella .....	78
Ficha técnica 6: Tratamiento térmico - Gasificación .....	81
Ficha técnica 7: Coprocesamiento en hornos cementeros .....	83
Ficha técnica 8: Captación y valorización de biogás .....	85
Decisiones y directivas de la Unión Europea para la gestión de residuos sólidos .....	87

# Lista de cuadros

Cuadro 1. Niveles de tecnologías probadas adoptados por la Unión Europea	14
Cuadro 2. Ficha técnica del tratamiento mecánico-biológico	21
Cuadro 3. Indicadores para la identificación de escenarios	30
Cuadro 4. Criterios para la selección del escenario	32
Cuadro 5. Relación de medidas para implementar de acuerdo con el escenario asignado al área del proyecto	33
Cuadro 6. Indicadores para el análisis de viabilidad	35
Cuadro 7. Criterios particulares para cada tipo de tratamiento	38
Cuadro 8. Tipologías de riesgos	43
Cuadro 9. Metas de aprovechamiento obligatorias en la Unión Europea (Directiva 94/62/CE)	48
Cuadro 10. Metas de reducción de residuos municipales biodegradables en rellenos sanitarios en la Unión Europea (Directiva 99/31/CE)	49
Cuadro 11. Impuestos y prohibiciones a los rellenos sanitarios establecidos por algunos países miembros de la Unión Europea a partir de la Directiva 99/31/CE y variación porcentual de la disposición final 2005-12	49
Cuadro 12. Guía de mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos	50
Cuadro 13. Instrumentos de políticas públicas para la gestión de residuos sólidos	56

# Lista de gráficos

Gráfico 1. Generación de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe (kg/hab.-día)	8
Gráfico 2. Composición de los residuos en América Latina y el Caribe	9
Gráfico 3. Manejo de residuos en América Latina y el Caribe (porcentaje en peso)	10
Gráfico 4. Tratamientos para la valorización de residuos sólidos	18
Gráfico 5. Criterios empleados en las fichas técnicas de cada tecnología de tratamiento	20
Gráfico 6. Tratamiento de RSU en la Unión Europea, 2018 (porcentaje de toneladas por tipo de tratamiento)	24
Gráfico 7. Metodología para el análisis de viabilidad de tecnologías para la valorización de residuos	29
Gráfico 8. Ejemplo de análisis de prefactibilidad de incineración	34
Gráfico 9. Recomendaciones para la estructuración de proyectos de tratamiento y valorización de residuos sólidos	46
Gráfico 10. Tratamiento de RSU en la Unión Europea, 2008 (porcentaje de toneladas por tipo de tratamiento)	50

# ACERCA DE ESTA PUBLICACIÓN

Esta nota técnica tiene como objetivo presentar los conceptos utilizados por países con mayores avances en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos para evaluar las diferentes técnicas de segregación, tratamiento y valorización de residuos.<sup>1</sup> Asimismo, ofrece una metodología de análisis de viabilidad que puede orientar a las municipalidades y los encargados de la toma de decisiones frente a la selección de tecnologías de valorización de residuos, de acuerdo con su contexto local. Finalmente, plantea una serie de recomendaciones para la adopción de políticas públicas e instrumentos que fomenten la introducción y el uso de estas tecnologías en América Latina y el Caribe (ALC).

En este sentido, el documento comienza con la descripción en el capítulo 1 del estado de la gestión integral de los residuos sólidos en ALC. A continuación, en el capítulo 2, se desarrollan los conceptos sobre **mejores técnicas disponibles y tecnologías probadas**, ampliamente utilizados por la Unión Europea (UE). Además, en las fichas técnicas anexas a este trabajo se presentan algunos criterios de evaluación de las tecnologías disponibles para el tratamiento y la valorización de residuos sólidos, diferentes del relleno sanitario. En el capítulo 3 se expone una **metodología de análisis de viabilidad** para la determinación de las acciones que es posible implementar, según el estado de la gestión de residuos sólidos en el contexto local. En el capítulo 4 se ofrece un resumen de las políticas y los instrumentos empleados por la UE para transformar el esquema de gestión de residuos basado en la disposición final de los años setenta en un modelo basado en la jerarquía de los residuos y la economía circular, desde los años noventa hasta la actualidad. Asimismo, se señalan algunas **barreras identificadas en la región** frente a la introducción de estas tecnologías y se plantean **recomendaciones e instrumentos de políticas públicas** a través de los cuales se las puede superar. Finalmente, en el capítulo 5 se detallan las conclusiones. El trabajo incluye un **glosario** para facilitar la comprensión de los conceptos utilizados en el texto.

Las tecnologías que aquí se describen no excluyen las actividades de recolección selectiva y reciclaje que se desarrollan en la región, con una alta participación de recicladores de oficio. Debido a que el propósito de este documento es profundizar en las actividades de valorización y aprovechamiento de residuos como alternativa a la disposición final, los rellenos sanitarios no se encuentran incluidos en el trabajo, pues aunque es una actividad que predomina en la región, existe abundante bibliografía sobre la materia. Se resalta que si bien el uso de rellenos sanitarios demanda menos recursos financieros en comparación con las demás opciones, los costos tenderán a incrementarse en el tiempo como consecuencia de la ampliación de estándares técnicos asociados a las medidas de prevención y mitigación de riesgos e impactos, el aumento en el valor de los terrenos y la poca disponibilidad de estos en áreas cercanas a las ciudades, y la aceptación de las externalidades ambientales y sociales. Todo esto pone de manifiesto la necesidad de introducir y promover el uso de técnicas de valorización de los residuos que, si bien requieren mayores recursos de capital, permiten transformar los residuos en nuevos recursos y generan importantes ahorros en términos económicos y ambientales para la sociedad a largo plazo, tal como lo evidencian los resultados positivos de las evaluaciones económicas de muchos de estos proyectos.

1 Los residuos sólidos urbanos o municipales son los residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general e incluyen los residuos de origen domiciliario, comercial, industrial no peligroso, de servicios, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en el barrido y la limpieza de calles y áreas públicas, los producidos en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

La presente nota técnica fue desarrollada con la colaboración de María Alejandra Vásquez, Catalina García y Felipe Puentes, a partir del Estudio de técnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos - Propuesta de ajuste al Decreto 838 de 2005, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y elaborado por MAG Consultoría (Colombia) y DNV GL (Países Bajos).

Los autores agradecen los importantes aportes recibidos para la preparación del documento de Manuel José Navarrete, Especialista Senior de la División de Agua y Saneamiento del BID; Nicolás Guillermo Rezzano Tizze, Especialista Sectorial de la División de Agua y Saneamiento del BID; Miriam Arista Alarcón, Consultora de la División de Agua y Saneamiento del BID; Frans Lamers, Luis Felipe Colturato y Ricardo Orozco, especialistas en la formulación y el desarrollo de proyectos de tratamiento y valorización de residuos a nivel internacional. Asimismo, los autores agradecen la participación de los asistentes al taller Oportunidades y mejoras para impulsar la implementación de tecnologías para el tratamiento de residuos en América Latina y el Caribe, que se llevó a cabo el 18 de octubre de 2018 en la ciudad de Bogotá, cuyos aportes y opiniones fueron empleados para el desarrollo del presente documento.



## 1. CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En América Latina y el Caribe se estima que la población alcanzó

**630**

millones de habitantes



Estos generaron

**230**

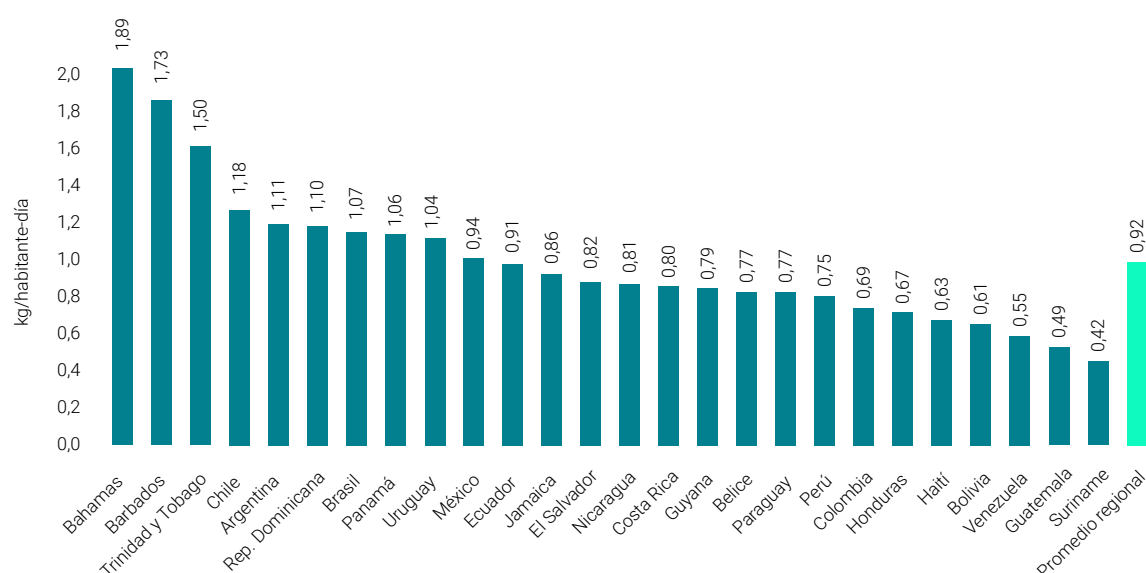
millones de toneladas de residuos sólidos



# CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Se estima que en América Latina y el Caribe (ALC) la población alcanzó los 630 millones de habitantes (PNUMA, 2016) y se generaron cerca de 231 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos en 2016 (Kaza et al., 2018), lo cual equivale a una producción per cápita (PPC) promedio de 1 kilogramo por habitante por día. En el siguiente gráfico se presenta la tasa de generación de residuos por habitante o PPC en cada uno de los países de ALC.<sup>2</sup>

Gráfico 1. Generación de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe (kg/hab.-día)



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Kaza et al. (2018).

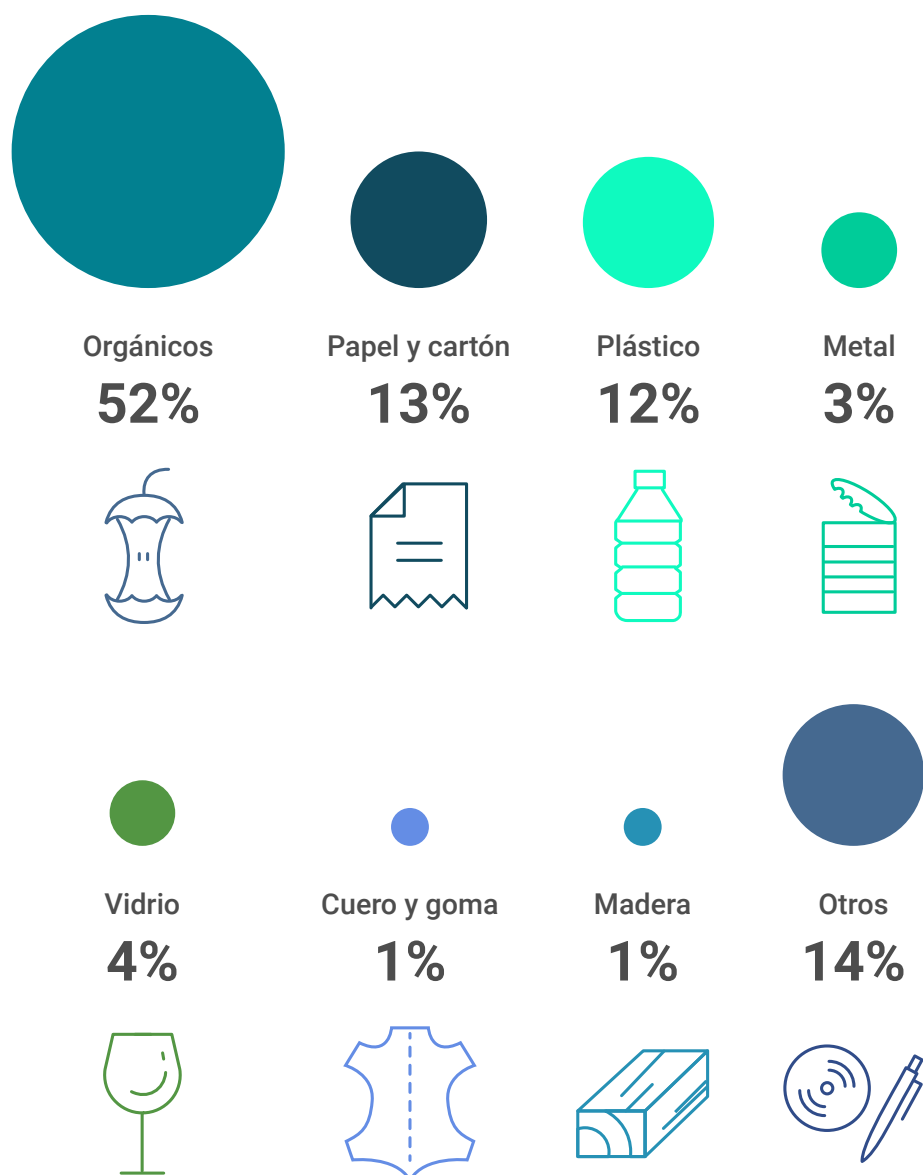
Nota: El gráfico tiene en cuenta la generación de residuos sólidos urbanos y rurales.

<sup>2</sup> La producción per cápita o PPC es una medida utilizada para cuantificar la cantidad de residuos generados por cada individuo de un mismo lugar en un período de tiempo determinado. Su unidad de medida suele estar expresada en kg/habitante-día.



Los residuos orgánicos predominan en la composición física de la región, mientras que al menos una tercera parte corresponde a residuos reciclables (papel, cartón, plásticos, metales, vidrio), tal como se observa en el siguiente gráfico.<sup>3</sup>

Gráfico 2. Composición de los residuos en América Latina y el Caribe



Fuente: Elaboración propia a partir de Kaza et al. (2018).

Existe una alta participación de recicladores de oficio en las actividades de recuperación de residuos reciclables (separación, recolección, transporte y clasificación). Las actividades de tratamiento y valorización de residuos son aún incipientes en ALC; sin embargo, en Argentina, Brasil, México, Uruguay, y en menor medida en otros países, se han implementado sistemas de compostaje, plantas de recuperación de residuos reciclables (MRF, por sus siglas en inglés) y sistemas de digestión anaerobia a pequeña escala.<sup>4</sup>

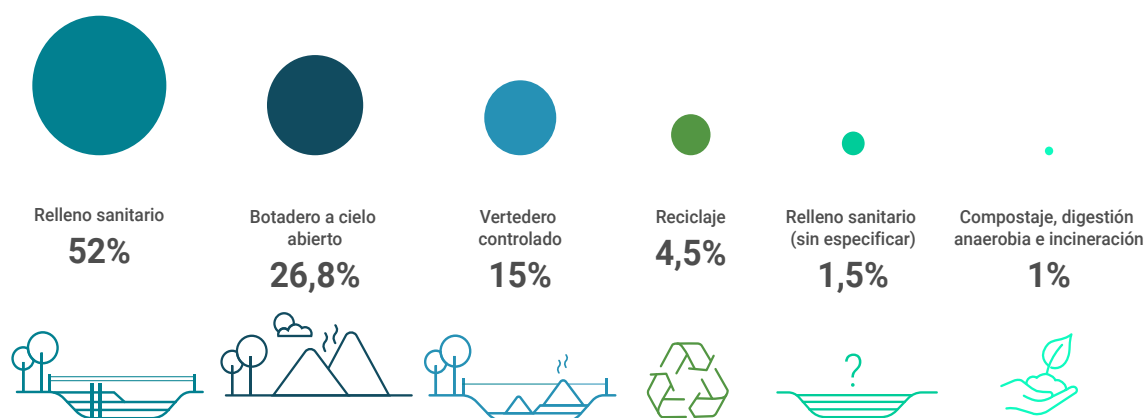
<sup>3</sup> Se entiende por residuos sólidos orgánicos la fracción de los residuos sólidos que incluye residuos de alimentos y residuos verdes de la poda de plantas de calles, parques y jardines.

<sup>4</sup> Se entiende por actividades de tratamiento y valorización de residuos aquellos procesos en los que se transforman los residuos (física, química o biológicamente) para optimizar su gestión, rescatar materiales con potencial de aprovechamiento o recuperar subproductos de conversión (como el compost) y energía en forma de calor o biogás combustible (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994).



En cuanto a la disposición final, cerca del 52% de los residuos generados (alrededor de 437.000 toneladas diarias) se deposita en algún tipo de relleno sanitario; el 15% se dispone en vertederos controlados y el 26,8% se desecha en botaderos a cielo abierto y otros sitios inadecuados (Kaza et al., 2018).

Gráfico 3. Manejo de residuos en América Latina y el Caribe (porcentaje en peso)



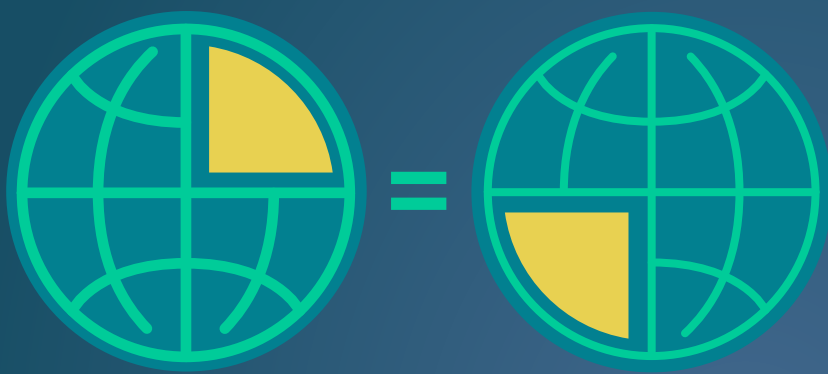
Fuente: Elaboración propia a partir de Kaza et al. (2018).

En la mayoría de los países de la región, la gestión de los residuos sólidos está estrechamente vinculada con la situación financiera. Si bien se han implementado sistemas de cobro y recaudo a través de tasas (impuestos municipales), que cobra principalmente la administración municipal, en general, los niveles de recaudación no superan el 50% de los valores facturados y dicho valor no guarda relación con los costos reales del servicio, lo cual afecta la sostenibilidad de la actividad y es una limitante para introducir mejoras en términos de calidad (BID, AIDIS, OPS, 2010).

En Colombia, por ejemplo, se aplica un esquema basado en el cobro de tarifas mensuales a través de la facturación y el recaudo junto a otros servicios públicos domiciliarios (como electricidad o agua). Estas tarifas son calculadas por el prestador del servicio público de aseo (público, privado o mixto) sobre la base de criterios y metodologías obligatorias fijados por la comisión de regulación en cada sector de servicio público (en este caso, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico). El sistema de tarifas empleado en Colombia les ha dado suficiencia financiera a los prestadores para ofrecer los servicios bajo los estándares establecidos en la regulación y ha permitido alcanzar niveles de recaudo superiores al 90% en las ciudades principales e intermedias, que agrupan a más del 80% de la población nacional. Este instrumento sumado al modelo de prestación adoptado en Colombia, que se basa en tener empresas de servicios públicos separadas de la administración municipal, han generado grandes ahorros en los presupuestos municipales e importantes mejoras en la calidad y la cobertura del servicio.



## 2. CONCEPTOS BÁSICOS



### Tecnología probada a escala comparable

Una tecnología probada es aquella que está en funcionamiento en cualquier otra parte del mundo a una escala comparable a la escala requerida del proyecto.

Los documentos de referencia (BREF) de la Unión Europea actuales incluyen las siguientes mejores técnicas disponibles:

1



Tratamiento biológico,  
tratamiento mecánico

2



Pretratamiento  
de residuos para  
incineración

3



Coprocésamiento  
e incineración

# CONCEPTOS BÁSICOS

Como parte de sus políticas de mejores prácticas para la gestión integral de los residuos sólidos, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) recomienda adoptar criterios que permitan evaluar y seleccionar las mejores técnicas disponibles asociadas al contexto de cada población (OCDE, 2007).

## 2.1 Mejores técnicas disponibles (MTD)

El concepto de mejores técnicas disponibles (MTD o BAT, por sus siglas en inglés) fue introducido por primera vez en la Directiva 84/360/CEE de la Unión Europea (UE), relativa a la lucha contra la contaminación procedente de las instalaciones industriales, para luego ser retomado por la Directiva 96/61/CE para la prevención y el control integrados de la contaminación (IPPC, por sus siglas en inglés).<sup>5</sup> Dicha directiva define las MTD de la siguiente forma:<sup>6</sup>

- **Mejores:** Las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medioambiente en su conjunto.
- **Técnicas:** La tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación se diseñe, construya, mantenga, explote y desmantele.
- **Disponibles:** Las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables (Consejo de la Unión Europea, 1996).

La Directiva 96/61/CE fue reemplazada por la Directiva 2010/75/UE, con la cual la UE busca evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones en la atmósfera, el agua y el suelo, para alcanzar un nivel elevado de protección del medioambiente en su conjunto y favorecer el desarrollo sostenible.

La determinación de las mejores técnicas disponibles se hace a través de un procedimiento de intercambio de información y experiencias entre expertos de distintos países, representantes de las industrias y organizaciones ambientales, con la coordinación de la Oficina Europea IPPC del Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS, por sus siglas en inglés) (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).<sup>7</sup> Los resultados se publican en los denominados documentos de referencia de las MTD (BREF, por sus siglas en inglés) (European Environmental Bureau, s.f.). Los BREF analizan en detalle las técnicas relacionadas con la prevención, el control, la gestión, la minimización y el reciclaje, que son consideradas las más relevantes para determinar las MTD.

5 BAT: *Best available techniques*.

6 "La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para construir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente" (Parlamento Europeo, 1996).

7 El European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, con sede en Sevilla (España), es el organismo técnico de la Comisión Europea responsable de la elaboración y la revisión periódica de los documentos sobre mejores técnicas disponibles (BREF, por sus siglas en inglés).

Los BREF preparados por la UE dan una visión general de las técnicas aplicadas en diferentes sectores industriales, las emisiones actuales y los niveles de consumo, así como los lineamientos y las consideraciones de la determinación de las MTD, las cuales incluyen tanto la tecnología como la forma en la que la instalación está diseñada, construida, mantenida, operada y cómo será desmantelada.

Para el sector de gestión de residuos de la UE existen dos documentos BREF: **i) BREF Waste Incineration**, que incluye las mejores técnicas en el tratamiento térmico de los residuos,<sup>8</sup> y **ii) BREF Waste Treatment**, que se refiere a las mejores técnicas en el tratamiento de los residuos sólidos diferentes de los térmicos.<sup>9</sup>

Las MTD constituyen una herramienta dinámica, que involucra la actualización permanente según los desarrollos técnicos y tecnológicos en el tratamiento de los residuos. La OCDE resalta que la implementación de las MTD es particular para cada país o región y que debe ser flexible, ya que su implementación depende de la regulación nacional, las características técnicas, el potencial financiero y las condiciones ambientales locales, y a fin de evitar que los materiales recuperados no sean competitivos frente a materiales vírgenes.

<sup>8</sup> Disponible en: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637\\_WL\\_Bref\\_2019\\_published\\_0.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637_WL_Bref_2019_published_0.pdf).

<sup>9</sup> Disponible en: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018\\_WT\\_Bref.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf).

## 2.2 Tecnologías probadas

El concepto de tecnología probada permite establecer el grado de preparación y el nivel de desarrollo o madurez de una tecnología para ayudar a la toma de decisiones y prevenir los riesgos de su implementación (NCBI, 2014).

Los criterios que permiten definir una tecnología probada se fundamentan en el concepto de niveles de madurez tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), definido por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés) como una escala de mérito que permite identificar y evaluar el nivel de madurez de una o varias tecnologías.<sup>10</sup> Esta escala consta de nueve niveles, siendo 1 el nivel más bajo y 9 el nivel más alto, donde la implementación de la tecnología garantiza un funcionamiento exitoso. En términos generales, el concepto se basa en la cantidad de años de utilización de una determinada tecnología, la cantidad de instalaciones que funcionan a nivel internacional y la disponibilidad y confiabilidad esperada de su operación. Este concepto, aunque es ampliamente utilizado, carece de definiciones o regulaciones para sectores económicos específicos, excepto por algunas pocas que han surgido gracias a los conocimientos empíricos de su aplicación (Héder, 2017).

La UE desarrolló este concepto y lo ha implementado para el financiamiento de proyectos públicos (Héder, 2017), siendo su mayor representante el programa llamado Horizon 2020, por el cual se financian varios proyectos de investigación e innovación en diversas áreas del conocimiento (Comisión Europea, s.f.). Los niveles de madurez tecnológica se han adaptado a las necesidades de la UE y responden a un contexto general. Con ellos puede ser evaluada cualquier tecnología, como puede apreciarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Niveles de tecnologías probadas adoptados por la Unión Europea

NIVEL	DEFINICIÓN
1	Principios básicos observados y documentados.
2	Concepto de la tecnología y/o aplicación formulado.
3	Prueba experimental del concepto demostrada.
4	Tecnología validada en laboratorio.
5	Tecnología validada en un ambiente relevante a su aplicación.
6	Tecnología demostrada en un ambiente relevante a su aplicación.
7	Demostración del prototipo del sistema en un ambiente operacional.
8	Sistema completado y calificado.
9	Sistema final probado en un ambiente operacional.

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea (2014).

<sup>10</sup> TLR: *Technologies readiness levels*.

Para la aplicación de este concepto en el proceso de preparación y evaluación de proyectos de segregación, tratamiento y valorización de residuos sólidos se proponen las siguientes **consideraciones a fin de reconocer las tecnologías probadas** (Lamers, 2019):

1. Una tecnología probada debe estar disponible en cualquier otra parte del mundo a una escala comparable a la escala requerida, es decir a una escala similar a la del proyecto que se va a implementar. Los desarrolladores del proyecto o los potenciales compradores deben poder visitar el lugar donde se desarrolla el programa análogo y presenciar directamente el funcionamiento de estas tecnologías, a fin de observar que las corrientes de residuos por tratar son comparables con las proyectadas.
2. Una tecnología probada debe ser capaz de demostrar lo siguiente:
  - a. Al menos una instalación en funcionamiento con una escala y una corriente de entrada (sustrato) comparables y una salida del proceso que presente las condiciones deseadas.
  - b. Si la tecnología asegura que hay generación de energía esta debe ser sustentada con los historiales de operación de la instalación.
  - c. El proveedor debe permitir al interesado visitar la instalación donde se encuentra operando la tecnología. No debe existir ningún tipo de confidencialidad que impida estas visitas.
  - d. El tiempo mínimo de operación de estas instalaciones debe ser de 2-3 años, a fin de verificar que la operación puede mantenerse a largo plazo.
  - e. El proveedor de la tecnología debe exhibir los siguientes aspectos operacionales:
    - Calidad de los residuos de entrada (características físicas, químicas y biológicas, grado de separación, poder calorífico, etc.).
    - Capacidad anual de tratamiento (ton/año).
    - Disponibilidad de la tecnología (número de horas operacionales/año).
    - Cantidad de emisiones atmosféricas liberadas ( $\text{m}^3/\text{año}$ ,  $\text{kg}/\text{año}$ ).
    - Descargas contaminantes en la tierra y el agua ( $\text{m}^3/\text{año}$  y concentraciones).
    - Salida energética a la red (MWh).
    - Medias anuales de eficiencias de conversión (ton. compost/ton. sustrato;  $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{ton. sustrato}$ ; MWh/ton. sustrato; porcentaje de segregación de materiales [PET, PP, etc.], entre otros).
    - Consumo energético interno (MWh).
    - Generalidades operacionales.
    - Balance completo de energía y masa, con detalles del consumo interno.

Desarrollar correctamente este concepto en el sector de residuos sólidos es una gran oportunidad en ALC puesto que garantiza un mayor nivel de confianza a los inversionistas y acreedores, facilita el acceso al financiamiento, disminuye los riesgos de instalación, operación y mantenimiento (preventivo y reactivo), asegura la funcionalidad de las tecnologías a mediano y largo plazo y permite la verificación de primera mano de que la tecnología se adapta a las condiciones requeridas.

Entre las mejores técnicas disponibles para residuos sólidos municipales (no peligrosos) los documentos de referencia (BREF) de la UE actuales incluyen las siguientes: i) tratamiento biológico, tratamiento físico-químico, ii) pretratamiento de residuos para incineración y iii) coprocesamiento e incineración, entre otras (Pinasseau et al., 2018). Por su

parte, los BREF precisan que las tecnologías alternativas de pirólisis y gasificación para el tratamiento térmico de residuos hayan sido empleadas para fracciones de residuos previamente seleccionadas y en escalas mucho menores que las de sistemas de incineración convencionales por combustión (Neuwahl et al., 2019).<sup>11,12</sup>

En las fichas técnicas anexas a este documento se describe el nivel de preparación de la tecnología, el cual se deriva de los resultados del estudio de consultoría Estudio de técnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos - Propuesta de ajuste al Decreto 838 de 2005.

<sup>11</sup> Los procesos de gasificación requieren que las propiedades de los residuos se mantengan dentro de ciertos límites predefinidos, lo cual implica con frecuencia el pretratamiento de los residuos sólidos municipales.

<sup>12</sup> Las tecnologías de pirólisis y gasificación intentan separar los componentes de las reacciones que ocurren en las plantas convencionales de incineración de residuos, mediante procesos de control de temperaturas y presiones en reactores especialmente diseñados. Usualmente estos sistemas están acoplados con sistemas posteriores de combustión del *syngas* (gas de síntesis) generado. Estos procesos difieren de la combustión en que pueden ser usados para recuperar el valor químico de los residuos (más que su valor energético), que pueden ser utilizados como materia prima para otros procesos (Neuwahl et al., 2019).



## 2.3 Tecnologías para la valorización de residuos sólidos

Las técnicas para el tratamiento y aprovechamiento de residuos se agrupan de forma general en **tratamiento mecánico, biológico y térmico/químico (termovalorización)** o una combinación estos.

- **Tratamiento mecánico:** El propósito del tratamiento mecánico es recuperar materiales destinados al reciclaje o a la producción de combustible derivado de residuos (CDR), así como preparar o alistar los residuos para una fase de tratamiento posterior (INVENT, 2009). Normalmente, el tratamiento mecánico de residuos se realiza en instalaciones para la recuperación de materiales (MRF, por sus siglas en inglés), las cuales emplean una determinada intensidad mecánica para la separación, clasificación (abrebolsas, cribas rotativas, mesas densimétricas, separadores 2D/3D, electroimanes, separadores Foucault, sensores ópticos, entre otros), reducción de componentes o de volumen y compactación de residuos. Dentro de estas instalaciones puede haber algunas actividades de separación manual, realizadas, por ejemplo, por recicladores de oficio.
- **Tratamiento biológico:** Se basa en la estabilización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) tras la descomposición controlada de material orgánico por consorcios microbianos, bien sea en condiciones aeróbicas (como el compostaje) o condiciones anaeróbicas (como la digestión anaerobia), o el tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos no separados en la fuente. Ambos métodos terminan en una reducción de sustancias orgánicas, que bajo la digestión anaerobia genera el biogás, el cual puede ser utilizado como energía eléctrica, térmica, industrial y/o para los vehículos. Igualmente incluye el biosecado.<sup>13</sup>

Tratamiento mecánico-biológico (TMB) es un concepto genérico para la **integración de varios procesos mecánicos y biológicos**, los cuales se describen de forma independiente en este documento. Esto quiere decir que el TMB integra procesos como la separación y clasificación de residuos con técnicas biológicas, ya sea de **compostaje o digestión anaerobia**.

- **Tratamiento térmico con recuperación de energía (termovalorización):** Consiste en la descomposición química controlada de los residuos a altas temperaturas en instalaciones adaptadas bajo condiciones controladas de temperatura, oxígeno y tiempo, con el propósito de reducir su volumen y masa, así como recuperar la energía (en forma de electricidad, calor, vapor) contenida dentro de los residuos. Del proceso se generan cenizas volátiles y de fondo (que pueden emplearse como material para construcción de obras civiles), *scrap* de metales ferrosos y no ferrosos (que puede ser aprovechado), ácido clorhídrico, yeso y otros subproductos que pueden ser utilizados y que requieren tratamiento adicional (Neuwahl et al., 2019). Dentro de los procesos de valorización térmica se incluye: i) la combustión (oxidación térmica), cuyos productos finales abarcan gases calientes de combustión ( $N_2$ ,  $CO_2$  y vapor de agua  $H_2O$ ), material particulado liviano y cenizas y la generación de energía eléctrica o calórica; ii) la gasificación (oxidación térmica en presencia de menor contenido de oxígeno), cuyos productos son un gas rico en  $CO$ ,  $H_2$  e hidrocarburos saturados ( $CH_4$ ) y la generación de energía eléctrica o calórica; iii) la pirólisis (oxidación térmica en ausencia de oxígeno), cuyos productos son un gas rico en  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$  y otros gases, así como una fracción líquida (alquitrán o aceite de poder calorífico medio) y una fracción sólida (compuesta de coque e inertes).

<sup>13</sup> El biosecado consiste en una serie de contenedores cerrados acoplados con un sistema de aireación o un corredor largo de biosecado, donde *batches* de residuos son movidos progresivamente a través del corredor mediante una grúa de carga (Pinasseau et al., 2018).



Además de las tecnologías para el tratamiento de residuos, se describe la alternativa de **captación y valorización de biogás**, como una opción de aprovechamiento de subproductos derivados de la descomposición de los residuos, bien sea para generación de energía o uso directo como combustible.

Existen varias alternativas para la valorización de los residuos sólidos, las cuales se resumen en el gráfico 4.<sup>14</sup>

Gráfico 4. Tratamientos para la valorización de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia a partir de Pinasseau et al. (2018), Comisión Europea (2017a) y Comisión Europea (2019).

<sup>14</sup> Los propios documentos de la Unión Europea afirman claramente que las MTD descritas no son exhaustivas y que existe una amplia gama de tecnologías que pueden mejorar las técnicas seleccionadas.

En las fichas técnicas anexas a este documento se presenta una explicación más detallada de cada una de las tecnologías. Los criterios incorporados en las fichas tienen en cuenta aspectos técnicos, legales, financieros, económicos, ambientales y sociales, que se reseñan a continuación:

- **Técnicas probadas:** Describe el nivel de desarrollo de la técnica de tratamiento, la cantidad de años de su utilización, el número de instalaciones en que funciona a nivel internacional, la disponibilidad esperada de servicio y la confiabilidad de su operación.
- **Porcentaje de desviación de residuos:** De acuerdo con experiencias internacionales se estableció un porcentaje de desviación de residuos sólidos que se evitaría disponer en los rellenos sanitarios. Para cada una de las escalas de estudio y para cada tipo de tratamiento se estableció el porcentaje de desviación.
- **Impacto ambiental:** Se muestra la afectación ambiental especialmente en lo que respecta a la salida de cada proceso (emisiones), el uso del terreno y los requerimientos de área para el emplazamiento de cada tratamiento.
- **Complejidad:** Se describe el tipo de personal requerido (calificado o no), la complejidad técnica de la maquinaria que se usará, los requerimientos de monitoreo y análisis de laboratorio y algunas condiciones especiales para tener en cuenta a fin de lograr la implementación exitosa del tratamiento.
- **Costos:** Para cada escala se presentan costos tentativos de implementación, la cantidad aproximada de inversión, los costos anuales de operación y mantenimiento, así como la vida útil proyectada, además de un aproximado de costos por tonelada de residuo.
- **Escala:** Se muestra la capacidad de operación de cada tratamiento en términos de toneladas para tratar por día, mes o año.
- **Balance de masas y energía:** Se exponen los insumos (energéticos, principalmente) que requiere cada técnica y la masa de salida del respectivo proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.). En las salidas también se consideran los subproductos como el compost, la energía eléctrica, entre otros.
- **Evaluación ambiental, económica y social:** Se presentan, de forma sintetizada, los beneficios y costos ambientales, económicos y sociales y los costos evitados por el no uso del relleno sanitario.
- **Participación de recicladores:** Se precisa si la técnica es compatible con la participación de recicladores de oficio.
- **Condiciones para la introducción exitosa del tratamiento:** Este criterio reseña los requerimientos de legislación y regulación de soporte para que el tratamiento analizado pueda funcionar en ALC.

Gráfico 5. Criterios empleados en las fichas técnicas de cada tecnología de tratamiento



Fuente: Elaboración propia.

A manera de ejemplo, se presenta a continuación la **ficha técnica para el tratamiento mecánico-biológico**, el cual puede ser empleado para la recuperación de materiales reciclables, la reducción del volumen de los residuos, la reducción del contenido de materia orgánica de los residuos que se envían a disposición final, dependiendo de la configuración de la planta (biosecado, bioestabilización, bioestabilización con producción de CDR, digestión anaerobia o compostaje) (Pinasseau et al., 2018). Las fichas técnicas de las demás tecnologías pueden consultarse en los **anexos** de este documento.

Cuadro 2. Ficha técnica del tratamiento mecánico-biológico

GRUPO DE TECNOLOGÍA TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO (TMB)	
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 20 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	> 600. Ej.: Kelag (Austria), Estambul (Turquía), FCC Wiener Neustadt (Austria), La Rioja (España), Botarell (España), Amarsul (Portugal), Montpellier (Francia).
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	>8.000 h/año.
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS	
Desviación de residuos:	Depende de la composición de los residuos, el tipo de recolección (selectiva o mezclada) y del objetivo del tratamiento. Para determinar los valores de desviación remitirse a las fichas de tratamiento mecánico y tratamiento biológico, respectivamente.
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL	
Salidas del proceso:	Biogás, CDR, materiales reciclables, compost, residuos sólidos orgánicos estabilizados para relleno sanitario, lixiviados, emisiones atmosféricas, rechazos, energía eléctrica y térmica, biometano, CO <sub>2</sub> .
Uso del suelo:	Definir las condiciones legales que permitan la instalación de esta tecnología.
Requerimiento en área:	Depende del tipo de tratamiento. Para determinar los valores de requerimiento de área remitirse a las fichas de tratamiento mecánico y tratamiento biológico respectivas.
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD	
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Media.
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado para la operación de la maquinaria y la realización de monitoreos, y personal no calificado para la clasificación.
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Tratamiento mecánico: Rendimientos individuales y globales de recuperación de materiales. Compost: Temperatura, humedad, pH, relación C/N, porosidad, contenido de impropios, etc. Biogás: Rendimientos, caudal, composición, eliminación H <sub>2</sub> S, eliminación CO <sub>2</sub> (biometano), emisiones CHP, pérdidas de metano en la purificación, etc. CDR: Porcentaje de contenido de carbono derivado de biomasa, contenido de cloruro, poder calorífico y poder de combustión.
Requisitos de funcionamiento:	Mercado para compost, mercado para CDR, mercado de energía, mercado de biometano, mercado de reciclaje.
CRITERIO 5: COSTOS	
Inversión (CAPEX):	Entre US\$65/TPA y US\$150/TPA.

GRUPO DE TECNOLOGÍA TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO (TMB)	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	Entre US\$32/ton. y US\$45/ton.
Vida útil (años):	20 años.
CRITERIO 6: ESCALA	
Capacidad:	20.000 TPA - 500.000 TPA. >60.000 TPA para instalaciones con alta intensidad mecánica.
Tecnología modular:	Sí.
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA	
Entradas (insumos requeridos):	Agua: 0,14 m³/ton. de residuos - 0,33 m³/ton. de residuos.
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):  (Depende de la composición de los residuos sólidos que ingresan a la planta.)	CDR: 0,25 ton./ton. de RSM - 0,35 ton./ton. de RSM (incluida la materia orgánica estabilizada).
	Reciclables: 0,07 ton./ton. de RSM - 0,1 ton./ton. de RSM.
	Materia orgánica estabilizada (para disposición final): 0,2 ton./ton. de RSM - 0,25 ton./ton. de RSM. 100 Nm³ de biogás/ton. de finos orgánicos.
	Lixiviados: 0,003 ton./ton. de RSM.
	Rechazos: Con preparación de CDR: 0,35 ton./ton. de RSM - 0,55 ton./ton. de RSM. Sin preparación de CDR: 0,5 ton./ton. de RSM - 0,55 ton./ton. de RSM.
Energía:	Consumo de electricidad: ~40 kWh/ton. - 60 kWh/ton. de RSM.
	Consumo de combustible: 30 kWh/ton. de RSM.
	Valor calorífico del CDR: ~18 MJ/kg ==> 300 kWh/ton. de RSM.
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL	
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Afectación ambiental por olores, contaminación visual o ruido. Posibilidad de ingresos por la venta de subproductos.
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES	
Conflictos de interés:	Los recicladores pueden ser integrados en el proceso de clasificación de los residuos.
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA	
Legislación y regulación de soporte:	Generar/fortalecer la legislación que permita la implementación de esta técnica para el tratamiento de residuos.
Mercado para subproductos:	Se debe generar mercado de CDR, compost y reciclables.
Inversiones en investigación y desarrollo:	El Estado y el sector privado deben invertir.
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ventajas:</b> Recuperación de materiales y reciclaje, reducción significativa del volumen de residuos, estabilización de los residuos orgánicos, producción de materiales que se pueden utilizar como fuente de energía (CDR).</li> <li>• <b>Desventajas:</b> En varios procesos de tratamiento de residuos es posible que el producto no tenga mercado; afectaciones ambientales por olores ofensivos, contaminación visual y ruido.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de DNV GL y MAG Consultoría (2016).  
RSM: residuos sólidos municipales. TPA: toneladas por año.

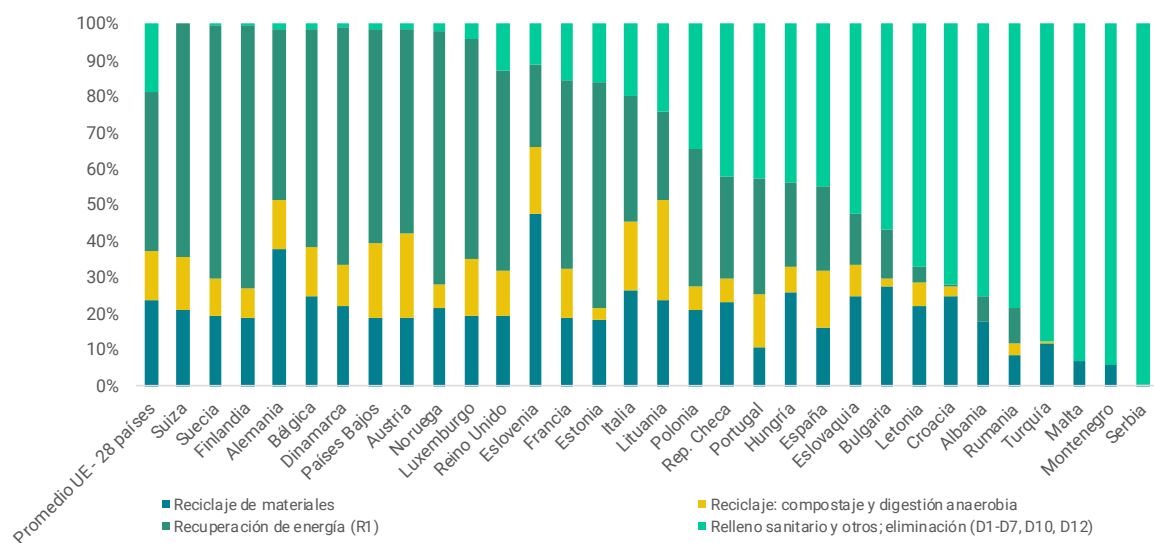
La implementación de estas tecnologías debe acompañarse con sistemas de tratamiento para las emisiones de gases producidas en la operación, tales como la implementación de ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de fábrica, filtros absolutos, oxidación térmica, biofiltración, condensación y condensación criogénica, adsorción, depuración e inyección de solventes (Pinasseau et al., 2018).<sup>15</sup> Esto es de vital importancia para que la tecnología funcione bajo los estándares de las MTD y para que su impacto ambiental sea positivo.

Por lo general, estas tecnologías se implementan de forma combinada, de manera que las diferentes corrientes de residuos que se generan en los residuos sólidos urbanos se destinan a distintas instalaciones de tratamiento y valorización. Por ejemplo, en una misma ciudad es posible contar con plantas de digestión anaerobia para el tratamiento de la fracción orgánica procedente de plazas de mercado o grandes generadores de residuos orgánicos (hoteles, restaurantes, plazas de comida, etc.), plantas de recuperación de residuos sólidos donde se recuperan los materiales aprovechables o plantas para la preparación de CDR combinadas con plantas de termovalorización, a las que se llevan los residuos no aprovechables. La selección de la combinación de tecnologías se realiza a través de estudios de factibilidad, que tienen en cuenta la composición y las características de los residuos sólidos que se van a tratar, la demanda de los recursos recuperados, la capacidad institucional y financiera del municipio o entidad a cargo del proyecto.

Se estima que en el mundo hay más de 2.700 proyectos de instalaciones para el tratamiento y la valorización de residuos sólidos en funcionamiento, distribuidos en más de 90 países, con una inversión total de aproximadamente US\$85.000 millones (Wilson et al., 2015).

<sup>15</sup> Estos sistemas se encuentran explicados con mayor detalle en el documento de la referencia.

Gráfico 6. Tratamiento de RSU en la Unión Europea, 2018 (porcentaje de toneladas por tipo de tratamiento)



Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat (2018).

En Europa se encuentran instalados y en funcionamiento más de 470 incineradores de residuos sólidos municipales (RSM), y otros para la incineración de residuos peligrosos y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, cuyas capacidades de tratamiento oscilan entre 60.000 y 500.000 toneladas por año (capacidad promedio de 193.000 ton./año) (Neuwahl et al., 2019). Existen, también, más de 6.000 instalaciones de tratamiento biológico de residuos orgánicos, de las cuales cerca de 3.500 son instalaciones de compostaje, 150 son instalaciones centralizadas de digestión anaerobia (con capacidad promedio de 36.800 toneladas por año) y más de 2.300 son instalaciones de digestión anaerobia en granjas (Pinasseau et al., 2018).

Recuadro 1

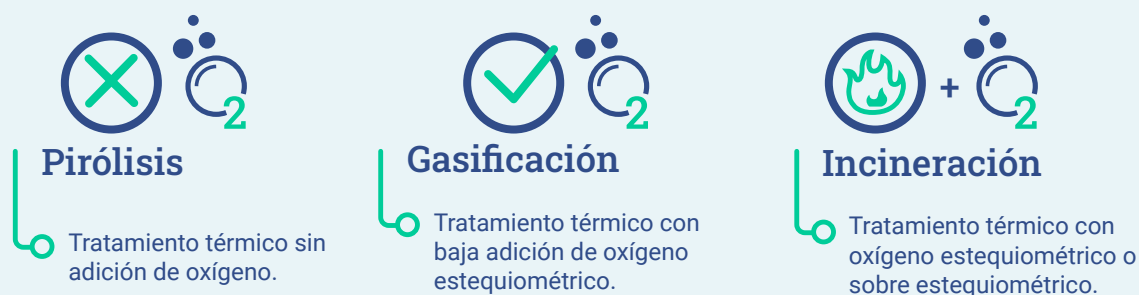
## Estado del arte de la termovalorización a nivel internacional

Los propósitos ambientales del tratamiento térmico de los residuos sólidos municipales (RSM) no tratados son: i) destruir los gérmenes patógenos que pueden llevar a la propagación de enfermedades desde los rellenos sanitarios a través de roedores u otros organismos, ii) reducir el volumen y la masa de corrientes de residuos de tal forma que se requiera menos espacio en los rellenos sanitarios para las fracciones residuales, iii) recuperar la energía presente en los residuos y iv) prevenir las emisiones de los componentes orgánicos e inorgánicos que pueden contaminar el aire o el agua.

El tratamiento térmico se emplea en Europa hace más de 50 años. También se usa en Estados Unidos y recientemente ha comenzado a utilizarse en Asia del Este, con instalaciones para la generación de energía a partir de residuos (WTE) sobre la base, principalmente, de la tecnología de incineración mediante rejillas de combustión. A lo largo de este período de tiempo se han producido grandes desarrollos que han mejorado el funcionamiento de las instalaciones de WTE de manera significativa. A continuación se reseñan algunos de esos cambios:

- Mientras que las instalaciones más viejas (construidas antes de 1990) fueron consideradas muy contaminantes y mostraron niveles altos de emisiones de componentes químicos (incluso dioxinas y furanos), la generación actual de plantas de WTE tiene las menores emisiones de toda la industria, debido a la implementación de medidas rígidas para la limpieza de los gases de combustión. Por consiguiente, los documentos de referencia BREF europeos para incineración de residuos declararon la incineración de residuos en rejillas con una correcta limpieza de los gases de combustión como **mejor tecnología disponible**.
- En tanto que las plantas más viejas operaban con una eficiencia eléctrica neta de 12%-18%, que es relativamente baja comparada con prácticas industriales, la presente generación de plantas de WTE puede alcanzar 25%-31% de eficiencia eléctrica neta, la cual, en la práctica, es mayor que la que puede alcanzar cualquier alternativa tecnológica de tratamiento térmico.

Actualmente, en el mundo operan más de 1.500 instalaciones de WTE, las cuales se categorizan de la siguiente manera:





La incineración genera un  $\text{CO}_2$  (relacionado con el contenido de la biomasa en los residuos) y agua, mientras que la gasificación y la pirólisis crean un producto intermedio llamado gas de síntesis, con presencia de  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  e hidrocarburos, que con frecuencia están cargados de alquitrán. A continuación, se presentan algunas experiencias y observaciones sobre gasificación y pirólisis:

- **Gasificación en dos etapas.** Consiste en un proceso de combustión que es básicamente comparable con la incineración, con la diferencia de que se hace en dos etapas. Estos sistemas son probados con CDR, aunque a una escala menor que la combustión (incineración convencional), pero no ofrecen ningún funcionamiento mejorado (más bien se espera que la eficiencia eléctrica sea menor que la de los sistemas de incineración directos comparables y debe ser escudriñado si el funcionamiento ambiental cumple con los estándares requeridos). Estos sistemas son ofrecidos como de “gasificación”, pero realmente son sistemas de incineración.
- **Gasificación ascendente de otros procesos** (tales como un horno alto o un horno cementero). En este caso los gases de síntesis cargados de alquitrán se queman en sentido descendente. No es posible dar pruebas de la eficiencia energética. En Japón hay algunos de estos procesos (como el realizado por Nippon Steel) que están funcionando y son tecnologías probadas. Sin embargo, solo trabajan en combinación con un proceso ascendente y con CDR.
- **Gasificación para producir un gas de síntesis que puede ser quemado** con alta eficiencia en un motor de gas o una turbina de gas. El gran desafío para estos procesos es el contenido de alquitrán presente en el syngas (gas de síntesis) que obstruye ductos y tuberías y daña la turbina de gas. Varios procesos han sido propuestos para el mercado, desarrollados y llevados a proyectos piloto.
- **Gasificación para producir un gas de síntesis que puede ser convertido** en un combustible líquido o un producto químico. Hasta el momento está siendo desarrollado por algunos productores, uno de los cuales ha operado una planta piloto por varios años y ahora construyó una instalación comercial que se halla en etapa de arranque. Otros han recibido pedidos comerciales para la construcción de plantas a partir de CDR y se encuentran en etapa de cierre financiero.
- **Gasificación por plasma** (a muy altas temperaturas). Ha sido desarrollada por un número de vendedores que hasta ahora no han tenido éxito en demostrar su funcionamiento a una escala comercial ni han compartido datos operacionales.
- **Pirólisis ascendente** de otro proceso (como un horno alto o un horno cementero). En este caso los gases de síntesis cargados de alquitrán se queman en el proceso descendente. No es posible dar pruebas de la eficiencia energética.
- **Pirólisis** para producir un gas de síntesis que puede ser quemado con alta eficiencia en un motor de gas o una turbina de gas y, además, una fracción de carbón o aceite. Los grandes retos para estos procesos son el contenido de alquitrán en los gases de síntesis (véanse los ítems con gasificación) y el mercadeo del carbón por productos que con frecuencia son presentados como de alto valor comercial, pero en la práctica necesitan ser dispuestos en rellenos. Varios procesos han sido propuestos en el mercado, desarrollados y llevados a instalaciones piloto y operan con CDR. La energía promedio obtenida del proceso es baja.

Considerando todo lo expuesto, aparte de la combustión (y la gasificación en dos etapas, ya que son sistemas comercializados como gasificación, pero realmente corresponden a incineración), no hay procesos de tratamiento térmico disponibles en el mercado que hayan demostrado su viabilidad comercial para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. Muchos de los procesos alternativos requieren pretratamiento de los residuos (con un requerimiento adicional de energía) para que puedan ser introducidos dentro de las instalaciones y transportables, o sea que operan con CDR y no con RSU. Debe señalarse que estas consideraciones se hacen para el tratamiento de residuos sólidos municipales. Tanto la gasificación como la pirólisis han sido individualmente probadas y pueden ofrecer posibilidades para corrientes de residuos específicas y muy homogéneas.

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).



### 3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE PROYECTOS

#### Metodología propuesta:

1



Selección del escenario según el contexto local.

2



Selección de las prioridades por abordar en la gestión de residuos.

3



Selección de técnicas de tratamiento y valorización potencialmente viables.

4



Estructuración de proyectos de tratamiento y valorización.

# METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE PROYECTOS

A nivel mundial, la International Solid Waste Association (ISWA) propone para el análisis de viabilidad de proyectos la metodología denominada **árboles de decisiones**, que orienta la selección de una tecnología a través de preguntas sobre el contexto que existe en el municipio y ofrece medidas a fin de asegurar que las condiciones sean adecuadas para la utilización de una determinada tecnología (ISWA, 2013b).

Por su parte, la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán) plantea un instrumento de **matriz de decisiones** para la selección de la mejor técnica de tratamiento térmico y valorización energética, la cual evalúa 12 criterios y permite determinar la tecnología más apropiada para las condiciones locales (GIZ, 2017). Asimismo, en los últimos años ha tomado fuerza el uso del análisis multicriterio (AMC), que combina una serie de variables multidisciplinarias, tales como ambientales, sociales, técnicas, financieras, institucionales y normativas, y se basa en el método denominado proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) planteado por Saaty (2000), que parte de la definición de una serie de criterios, ponderadores e indicadores, que se combinan para obtener un orden de priorización.

Esta sección presenta una propuesta de metodología de análisis de viabilidad y de evaluación para la implementación de las técnicas descritas anteriormente en ALC, considerando los factores técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales que determinan su operación exitosa dentro del contexto de la región. Esta metodología fue formulada a partir del Estudio de técnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos - Propuesta de ajuste al Decreto 838 de 2005, elaborado por DNV GL y MAG Consultoría para el BID en 2016. Esta propuesta es congruente con el estudio desarrollado por el Banco Mundial sobre tecnologías actuales y emergentes para el tratamiento de residuos sólidos domésticos (Banco Mundial, 2011).

La metodología propuesta en este documento se desarrolla en **cuatro pasos**: i) **identificación del contexto** en el que será implementada la tecnología, ii) a partir del contexto se definen las **medidas de gestión integral que se recomienda implementar**, iii) en el municipio o la región que evidencian estar preparados para aplicar proyectos de tratamiento y valorización se realiza el análisis de diferentes aspectos sobre la base de los cuales se establece el **tipo de tecnología de valorización recomendado**, iv) **estructuración de los proyectos**, con la inclusión de recomendaciones técnicas, legales y financieras y aquellas relacionadas con la gestión de riesgos.

Gráfico 7. Metodología para el análisis de viabilidad de tecnologías para la valorización de residuos



Fuente: Elaboración propia a partir de DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## Selección del escenario según el contexto

Esta fase comprende la identificación de escenarios a partir de la evaluación de indicadores que permiten conocer la situación de la gestión de los residuos en materia de generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final; el potencial para promover proyectos regionales y la capacidad institucional del municipio o la región donde se desea implementar la tecnología.

En primer lugar, es preciso calcular los indicadores propuestos para recolección y transporte de residuos, disposición final y capacidad institucional del municipio, según las indicaciones del cuadro 3.

Es necesario mencionar que en ALC resulta complejo definir la capacidad institucional de un municipio o una región y es difícil de estandarizar, pues depende de múltiples factores, tales como el nivel de desarrollo económico y social, el presupuesto municipal, las buenas prácticas de gobierno, la capacidad técnica y profesional de los equipos de trabajo, entre otros. A manera de ejemplo, en el recuadro 2 se presenta un estudio de capacidad institucional en los municipios realizado por el gobierno de Colombia en 2015, el cual aporta algunos elementos de análisis que es útil considerar.

Cuadro 3. Indicadores para la identificación de escenarios

CRITERIO	INDICADOR, TIPO Y UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN	VALOR
RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	Cobertura del sistema de recolección de residuos (cuantitativo/porcentaje).	Población que recibe el servicio de recolección de residuos/Población total x 100.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alto:</b> Cobertura del sistema y cumplimiento de las frecuencias por encima del 85%.</li> <li>• <b>Medio:</b> Cobertura del sistema y cumplimiento de las frecuencias por encima del 60% y alguno de los dos criterios por debajo del 85%.</li> <li>• <b>Bajo:</b> Cobertura del sistema o cumplimiento de las frecuencias por debajo del 60%.</li> </ul>
	Cumplimiento de las frecuencias de recolección establecidas por el prestador del servicio (cuantitativo/porcentaje).	Número de rutas efectivas realizadas/Número de rutas programadas x 100.	
DISPOSICIÓN FINAL	Vida útil remanente del relleno sanitario (cuantitativo/número).	Número de años de vida útil remanente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alto:</b> Vida útil superior a 5 años y el relleno cuenta con autorización ambiental.</li> <li>• <b>Medio:</b> Vida útil inferior a 5 años y el relleno cuenta con autorización ambiental.</li> <li>• <b>Bajo:</b> El relleno no cuenta con autorización ambiental, no se tiene en cuenta la vida útil en este caso.</li> </ul>
	Autorización ambiental del relleno sanitario (cualitativo).	Muestra si el municipio dispone los residuos en un sitio que cuenta con autorización ambiental para funcionar.	
CAPACIDAD INSTITUCIONAL	Capacidad institucional del municipio (cualitativo).	Indicador de desarrollo municipal que considere conceptos como dinámica económica, desarrollo institucional, calidad de vida de la población, aspectos ambientales, seguridad, entre otros.	<p>Este indicador se ajustará según las metodologías establecidas en cada país para evaluar su capacidad institucional.</p> <p><b>Este documento sugiere las siguientes calificaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alto:</b> Alta capacidad de recaudo económico, desarrollo urbano, calidad de vida asociada a niveles de pobreza bajos, inversión para el desarrollo ambiental y alto desempeño fiscal.</li> <li>• <b>Medio:</b> Capacidad de recaudo económico media, desarrollo urbano medio, niveles de pobreza en rango medio e inversión para el desarrollo ambiental.</li> <li>• <b>Bajo:</b> Bajos niveles de recaudo económico, altos niveles de pobreza, bajo desarrollo urbano, baja o inexistente inversión para el desarrollo ambiental y bajo desempeño fiscal.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## Recuadro 2

## Estudio de caso: Evaluación del entorno de desarrollo municipal en Colombia (2015)

El índice de entorno de desarrollo municipal, adoptado por el gobierno de Colombia, permite categorizar los municipios de acuerdo con sus características y su nivel de desarrollo municipal por medio de seis dimensiones:

- **Funcionalidad urbana:** Estima los flujos migratorios, el tamaño poblacional y la distribución de la población en el territorio.
- **Calidad de vida:** Considera el nivel de calidad de vida de la población de acuerdo con su capacidad para generar ingresos y su nivel de pobreza.
- **Desarrollo económico:** Tiene en cuenta la capacidad de creación de valor agregado, recaudo de recursos propios, acceso a Internet y disparidades.
- **Ambiental:** Considera el estado de los recursos naturales en términos de cantidad de hectáreas de bosques e inversión ambiental per cápita.
- **Institucional:** Evalúa la capacidad de gestión de la administración territorial a partir del desempeño fiscal y de los requisitos legales.
- **Seguridad:** Evalúa los niveles de la seguridad urbana y la relacionada con el conflicto armado.

De acuerdo con el resultado del índice se clasifica cada municipio en alguna de las tres tipologías siguientes: Desarrollo robusto (letras A y B), Desarrollo intermedio (letras C, D y E) o Desarrollo incipiente/temprano (letras F y G). A manera de ejemplo, el cuadro que aparece a continuación presenta los resultados de comparar esta clasificación para los 1.102 municipios de Colombia y el tipo de disposición final de residuos (autorizada o no autorizada) de cada uno. El análisis del índice mencionado y la determinación del tipo de disposición final de residuos de los municipios permiten evidenciar que existe una relación directa entre el nivel de desarrollo municipal y la calidad de la disposición final de los residuos sólidos, pues la mayoría de los sitios no autorizados se localiza en municipios con entornos de desarrollo incipiente/temprano.

Cuadro R2.1. Resultados del índice de entorno de desarrollo municipal en Colombia, 2015

ENTORNO DE DESARROLLO		NÚMERO DE MUNICIPIOS POR TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL, 2014		TOTAL DE MUNICIPIOS	
		AUTORIZADA	NO AUTORIZADA	NÚMERO	PORCENTAJE
A	Robusto	6		6	0,5%
B	Robusto	62	2	64	5,8%
C	Intermedio	152	6	158	14,3%
D	Intermedio	239	22	261	23,7%
E	Intermedio	246	47	293	26,6%
F	Incipiente	161	48	209	19,0%
G	Incipiente	68	43	111	10,1%
Totales		934	168	1.102	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de DNP (2015) y SSPD (2016).



Con los resultados obtenidos es posible establecer el escenario en el que se encuentra el municipio que se va a analizar. El cuadro 4 presenta los requerimientos de cada escenario de acuerdo con los indicadores calculados.

Cuadro 4. Criterios para la selección del escenario

ESCENARIO	CRITERIOS		
	RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	DISPOSICIÓN FINAL	CAPACIDAD INSTITUCIONAL
1	Alto	Alto	Alto
	Alto	Medio	Alto
2	Medio	Alto	Alto
	Medio	Medio	Alto
	Alto	Alto	Medio
	Alto	Bajo	Alto
	Bajo	Alto	Alto
	Bajo	Bajo	Alto
3	Alto	Alto	Bajo
	Alto	Medio	Medio
	Medio	Alto	Medio
	Alto	Bajo	Medio
	Medio	Medio	Medio
	Medio	Bajo	Alto
	Bajo	Medio	Alto
4	Bajo	Bajo	Medio
	Bajo	Bajo	Alto
	Bajo	Alto	Medio
	Bajo	Medio	Medio
	Medio	Bajo	Medio
5	Bajo	Alto	Bajo
	Alto	Bajo	Bajo
	Alto	Medio	Bajo
	Medio	Alto	Bajo
	Medio	Bajo	Bajo
	Medio	Medio	Bajo
	Bajo	Medio	Bajo
	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia a partir de DNV GL y MAG Consultoría (2016).

Muy probablemente un municipio con capacidad institucional baja no cuente con indicadores de recolección y transporte y disposición final elevados. Sin embargo, se tuvo en cuenta el total de combinaciones que se pueden presentar en la determinación del escenario.

## Selección de medidas para implementar en la gestión de residuos

De acuerdo con la jerarquización de los residuos y las lecciones aprendidas de las experiencias internacionales, las medidas asociadas a la gestión de residuos deben ser determinadas teniendo en cuenta el estado de la gestión integral de residuos sólidos y el contexto del área del proyecto, los cuales fueron establecidos en el paso 1 de la presente metodología.<sup>16</sup>

Esto quiere decir que **si el escenario definido previamente no es ni el 1 ni el 2 se recomienda mejorar las condiciones de recolección, transporte y disposición final antes de considerar sistemas de tratamiento y valorización de residuos de alta complejidad**. Las medidas de gestión integral de residuos recomendadas para cada escenario se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Relación de medidas para implementar de acuerdo con el escenario asignado al área del proyecto

ESCENARIO	MEDIDAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS RECOMENDADAS
1	El municipio está preparado para implementar o fortalecer actividades de tratamiento y valorización de residuos.
2	Perfeccionar las condiciones de recolección y transporte y/o de disposición final. No se descarta la implementación de sistemas de tratamiento y valorización de residuos complementarios para alargar la vida útil de sitios de disposición final que cuenten con autorización.
3	Mejorar las condiciones de disposición final a partir de la construcción o la ampliación de un relleno sanitario, analizando la posibilidad de unirse a esquemas regionales existentes o nuevos. De no ser viable un sistema regional, se recomienda construir un sistema municipal/local. Aumentar las tasas de cobertura de recolección de residuos tanto en áreas rurales como en las zonas urbanas.
4	Mejorar la calidad y la continuidad de la recolección y el transporte de residuos. Mejorar las condiciones de disposición final, a partir de la construcción o la ampliación de un relleno sanitario. Excepcionalmente, en caso de que la construcción de un relleno sanitario local sea imposible, se recomienda implementar alternativas de tratamiento de bajo nivel de complejidad.
5	Aplicar soluciones individuales de baja complejidad, tales como sistemas de compostaje de la fracción orgánica biodegradable. Implementar rutas de recolección de la fracción no biodegradable, con baja frecuencia y con puntos comunes de recolección contruidos comunitariamente. Transportar dichos residuos a sitios de clasificación manual de residuos reciclables, estaciones de transferencia regionales o rellenos sanitarios regionales/locales.

Fuente: Elaboración propia a partir de DNV GL y MAG Consultoría (2016).

<sup>16</sup> Los procesos de otras regiones como Europa y Norteamérica han demostrado que antes de implementar sistemas de tratamiento y valorización de residuos es preciso perfeccionar los esquemas de recolección y transporte, en tanto que los rellenos sanitarios deben operar en óptimas condiciones técnicas.



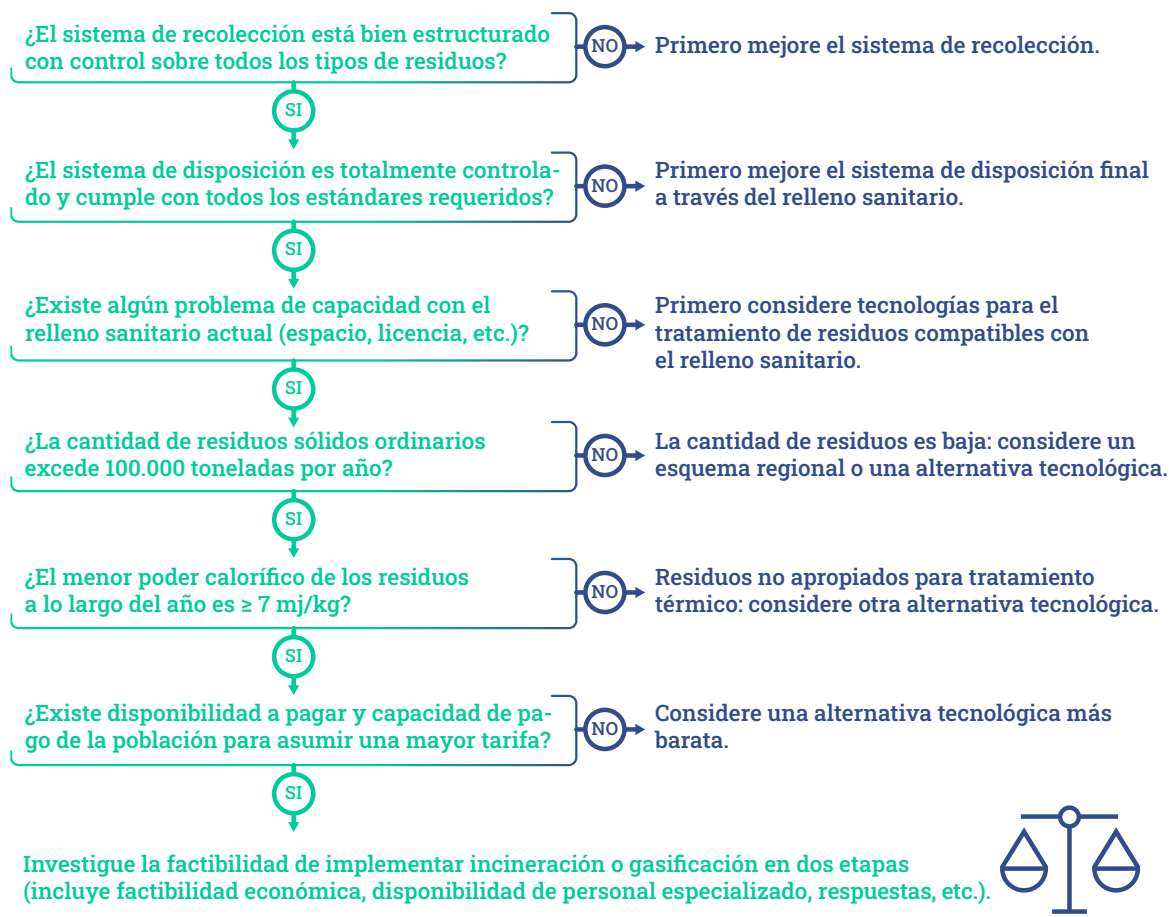
Los municipios con tipología de desarrollo robusta o intermedia, que cuentan con altos niveles de cobertura y calidad en las actividades de recolección, transporte y disposición final de residuos, están preparados para avanzar hacia otros niveles de gestión integral de residuos que involucren actividades de tratamiento y valorización. Las alternativas de tratamiento y valorización se recomiendan especialmente en las zonas que han alcanzado altos estándares de cobertura y calidad en las actividades de recolección, transporte y disposición final de los residuos.

Antes de implementar de forma generalizada sistemas de tratamiento y valorización de residuos de alta complejidad se deben mejorar los indicadores de recolección y transporte y tecnificar los sitios de disposición final. No obstante, en cualesquiera de los escenarios es preciso promover campañas de prevención (reducción), minimización (reutilización) y reciclaje de residuos, así como incentivar la presentación diferenciada de los residuos, lo cual facilitará la aplicación de proyectos de valorización.

Se recomienda priorizar la reutilización y el reciclado de materiales (incluso el reciclado de la fracción orgánica biodegradable) antes que la valorización energética. Sin embargo, no todos los residuos pueden ser objeto de reciclaje, razón por la cual las técnicas de tratamiento energético son complementarias y su uso se aconseja para la fracción de residuos que no se pueda reutilizar o reciclar.

El análisis aquí propuesto guarda coherencia con la metodología de **árboles de decisiones** planteada por ISWA para la ejecución de análisis de prefactibilidad de sistemas de tratamiento y valorización de residuos, en la cual se observa que antes de implementar un sistema de tratamiento térmico debe contarse con buenos sistemas de recolección y disposición final (ISWA, 2013b).

Gráfico 8. Ejemplo de análisis de prefactibilidad de incineración



Fuente: Tomado de DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## Evaluación de técnicas de valorización potencialmente viables

Este paso aplica para los municipios que se encuentran en los escenarios 1 o 2, que, según la clasificación y el análisis realizados en los pasos anteriores, están preparados para implementar sistemas de tratamiento y valorización de residuos. En términos generales, se recomienda el estudio de **escenarios de tratamiento y valorización**, en los cuales se combinan diferentes tecnologías, de acuerdo con las características de los residuos sólidos que se van a tratar.

Asimismo, la experiencia internacional ha demostrado que usualmente la implementación de estos proyectos se realiza por fases, es decir que de manera progresiva se van incorporando tecnologías que tratan una porción de los residuos hasta alcanzar el tratamiento de la totalidad de los residuos generados. Este planteamiento requiere la adopción e implementación continua de **hojas de ruta o planes de trabajo**, que en la mayoría de los casos superan los plazos de las administraciones municipales. Por ese motivo, estas hojas de ruta deben agregarse a los planes municipales (o regionales) de gestión integral de residuos sólidos, así como a los demás instrumentos de planificación territorial (por ejemplo, en los planes de ordenamiento territorial, los planes de desarrollo y otros similares).

La selección de las **técnicas de valorización** debe considerar los aspectos técnicos, legales, financieros, económicos, sociales y ambientales que se describen en el cuadro 6 para garantizar el éxito de su operación. Es importante precisar que la viabilidad de la implementación de una determinada técnica debe validarse con la reglamentación vigente a nivel nacional, regional y/o municipal.

Cuadro 6. Indicadores para el análisis de viabilidad

ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
Técnico	Requerimientos técnicos particulares de cada técnica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de residuos para tratar (TPA).</li> <li>• Poder calorífico de los residuos (kJ/Kg).</li> <li>• Contenido de humedad (%).</li> <li>• Contenido de materia orgánica (%).</li> <li>• Tipo de residuos para tratar.</li> <li>• Complejidad operativa.</li> <li>• Necesidad de capacitación y entrenamiento del personal.</li> </ul>	Los requerimientos mínimos pueden ser verificados en el cuadro 7 y en las fichas técnicas anexas a este documento.
Ambiental	Beneficio ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desviación de residuos del relleno sanitario (%).</li> <li>• Balance de masas y energía.</li> <li>• Impacto ambiental.</li> <li>• Generación de energía limpia.</li> <li>• Reciclaje de materiales.</li> <li>• Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.</li> <li>• Mejoradores de suelos.</li> </ul>	Los requerimientos mínimos pueden ser verificados en las fichas técnicas.

ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
Financiero	Impacto en el cobro del servicio de manejo de residuos a la población.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo de inversión (CAPEX).</li> <li>Costo de operación (OPEX).</li> <li>Valor a pagar por el servicio de tratamiento de residuos (<i>gate fee</i>).</li> <li>Necesidad de aportes de presupuesto público.</li> <li>Mercado existente para el consumo de los productos recuperados, lo cual se evalúa a través de estudios de mercado.</li> <li>Incentivos fiscales.</li> </ul>	El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) recomienda que el valor a pagar por el servicio de gestión de residuos sólidos sea aproximadamente igual al 1% del producto interno bruto (PIB) per cápita mensual (Wilson et al., 2015).
Legal	Requerimientos normativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reglamentación vigente para el tratamiento o la valorización.</li> <li>Licencias o permisos necesarios para la construcción y la operación.</li> </ul>	Los requerimientos normativos que reglamenten la tecnología y los productos.
Social	Participación de recicladores de oficio en la actividad y requerimientos de participación de los generadores de residuos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel de participación de recicladores en la actividad.</li> <li>Creación de puestos de trabajo directos e indirectos.</li> <li>Requiere o no separación de los residuos en la fuente (alta, media, baja) y programas de sensibilización y educación de la población.</li> </ul>	Tanto la posibilidad de incluir recicladores como el requerimiento de separación en la fuente para cada tecnología pueden ser consultados en las fichas técnicas.
Socioeconómico	Relación costo/beneficio (B/C).	Valor presente neto (VPN) del flujo de beneficios económicos directos e indirectos percibidos por los agentes privados y la sociedad que generará el proyecto, luego de descontar el valor de las inversiones y los costos de funcionamiento.	<p>Si el resultado de la evaluación socioeconómica es mayor de 1, el proyecto tiene un beneficio positivo; de lo contrario, la implementación del proyecto puede no ser viable en términos económicos y/o sociales.</p> <p>(* Véase el ejemplo de Colombia a continuación.)</p>

## \* Ejemplo de evaluación económica, Colombia:

TÉCNICA	GRANDE (40.000 ton./mes)	MEDIANO (10.000 ton./mes)	PEQUEÑO (4.000 ton./mes)
Incineración	1,14	0,54	0,50
Compostaje	1,65	1,79	3,00
Digestión anaerobia	2,02	3,26	3,05
Extracción de biogás y generación de energía	1,44	1,6	n/a

Fuente: Elaboración propia a partir de Wilson et al. (2015) y DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## EN ESTE PASO ES PRECISO TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES:

- El tratamiento térmico y la digestión anaerobia, por ser de complejidad media-alta, se recomiendan para municipios con tipología robusta, siempre y cuando se cumplan las escalas mínimas de proyecto para garantizar su viabilidad.
- La participación de los recicladores de oficio y de los generadores de los residuos dependerá del nivel de separación en la fuente y del grado de recolección selectiva que se requieran, según la técnica que se seleccione. No obstante, en cualquier escenario deberán priorizarse las actividades de recuperación de materiales reciclables desde la fuente (que equivalen aproximadamente al 30% de los residuos generados), ya que es la alternativa que produce los mayores beneficios económicos netos a la sociedad. Se analizarán e implementarán tecnologías complementarias a esta actividad orientadas al tratamiento y la valorización de los residuos que no pueden ser recuperados o reciclados en la fuente, que en las ciudades de ALC equivalen a cerca del 70% de los residuos generados.

Las **fichas técnicas** anexas a este documento son una herramienta de apoyo para determinar la mejor técnica disponible según las características del área del proyecto, de los residuos, de las tecnologías y del nivel de desarrollo municipal (capacidad de planeación, de ordenamiento, de ejecución y de financiamiento).

A continuación, se detallan algunos criterios técnicos mínimos para cada tipo de tratamiento. Por ejemplo, si un municipio de tipología robusta está listo para implementar sistemas de tratamiento de residuos y considera que el tratamiento potencialmente viable es de tipo térmico, debe considerar (además de los aspectos mencionados anteriormente) los criterios particulares para el tratamiento que se exponen en el cuadro 7. Si el municipio cumple con los parámetros descritos en el cuadro, la aplicación de la tecnología es viable. De lo contrario, puede evaluar las recomendaciones que allí se indican para seleccionar la mejor alternativa que se adapte a los requerimientos técnicos y al contexto municipal.

Cuadro 7. Criterios particulares para cada tipo de tratamiento

TIPO DE TRATAMIENTO	CRITERIO	PARÁMETRO	RECOMENDACIONES
Mecánico	Cantidad de residuos sólidos para tratar. Pueden provenir de recolección selectiva o mixta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manual: 1.500 TPA o menos.</li> <li>Semimecanizado con sistema de bandas/cintas transportadoras: Entre 1.500 y 40.000 TPA.</li> <li>Mecanizado: 40.000 TPA o más.</li> </ul>	La calificación del personal dependerá del grado de mecanización utilizado. A mayor grado, mayor capacitación técnica del personal.
	Hay mercado potencial para subproductos provenientes de la separación y clasificación.	Sí/no.	Si no existe el mercado, primero considere una alternativa tecnológica que genere otros subproductos o evalúe la viabilidad de la apertura de mercado.
Biológico: digestión anaerobia (DA)	Recolección selectiva.	Separación de residuos orgánicos e inorgánicos.	Si no hay un sistema de recolección diferenciada, primero introduzca un sistema de recolección diferenciada de la fracción orgánica de los residuos o integre la instalación con un pretratamiento mecánico en plantas denominado tratamiento mecánico biológico (TMB). Ambas opciones pueden desarrollarse por fases y de manera modular. Alternativamente, se puede emplear esta técnica para residuos mixtos. En este caso el uso del compost se ve limitado a actividades de paisajismo o recuperación de zonas erosionadas.
	Cantidad de residuos sólidos orgánicos para tratar.	≥ 20.000 toneladas por año.	Es posible desarrollar proyectos de pequeña escala a mayor escala.
	Contenido de humedad de los residuos.	≥ 60%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>DA húmeda: Si el porcentaje de humedad de los residuos es menor que este valor, los residuos no son apropiados para esta técnica. Considere la técnica de codigestión o la combinación con otros residuos.</li> <li>DA seca o extraseca: Los residuos son adecuados para esta tecnología si el contenido de humedad es inferior a este valor. Incluso es posible que se requiera adicionar residuos de poda para disminuir aún más la humedad.</li> </ul>
	Existe mercado para subproductos (energía eléctrica, biometano, CO <sub>2</sub> licuado, compost, biofertilizante líquido).	Sí/no.	Si no existe el mercado para el biogás (venta de energía eléctrica y térmica o biometano) y el compost, primero considere una alternativa tecnológica que genere otros subproductos con posibilidad de comercialización.
Biológico: compostaje	Recolección selectiva.	Separación de residuos orgánicos e inorgánicos.	Si no hay un sistema de recolección y separación, primero introduzca separación en la fuente y recolección diferenciada de los residuos. Alternativamente, se puede emplear esta técnica para residuos mixtos. En este caso el uso del compost se ve limitado a actividades de paisajismo o recuperación de zonas erosionadas.
	Contenido de humedad de los residuos.	Idealmente, entre 45% y 60%.	Si el porcentaje de humedad de los residuos del municipio es menor que este valor, los residuos no son apropiados para esta técnica. Considere otra técnica o la mezcla con otros residuos. Si la humedad es mayor que estos valores, y hasta de un 75%, puede emplearse la técnica. En este caso, se requerirá la mezcla con otras fracciones, como residuos de poda (material estructurante).
	Existe mercado para subproductos (compost).	Sí/no.	Si no existe el mercado, primero considere una alternativa tecnológica que genere otros subproductos con posibilidad de comercialización.

TIPO DE TRATAMIENTO	CRITERIO	PARÁMETRO	RECOMENDACIONES
Térmico	Cantidad de residuos sólidos para tratar.	>3 ton./hora. <sup>a</sup>	Si la cantidad de residuos es menor, considerar un esquema regional u otra técnica de tratamiento.
	Poder calorífico de los residuos.	≥ 7 MJ/kg	Si el poder calorífico de los residuos es inferior a este valor, los residuos no son aptos para este tipo de tratamiento. En ese caso será necesario considerar la adición de técnicas de presecado (biosecado) o deshidratación o el agregado de otras fuentes de combustible (gas natural, etc.) para mantener la temperatura. De lo contrario, considere otra técnica de tratamiento. Las nuevas instalaciones en China admiten residuos con poderes caloríficos de 5,5 MJ/kg (CNREC, 2014).
Extracción de biogás	Escala.	>1 millón de toneladas acumuladas en el relleno sanitario.	Si el valor es menor es preciso considerar la vida útil remanente del sitio de disposición final para proyectar la captura del biogás desde esta operación.

Fuente: Elaboración propia a partir de ISWA (2013b).

<sup>a</sup> Neuwahl et al. (2019).

Por último, aunque la metodología aquí propuesta para la toma de decisiones tiene en cuenta en gran parte el resultado financiero de los proyectos, se debe considerar también la **evaluación económica** de los proyectos. El resultado de la evaluación económica permitirá determinar si el proyecto genera beneficios a toda la sociedad mayores que sus costos, en cuyo caso se justificará el aporte de recursos públicos para lograr el cierre financiero del proyecto, si fuera necesario. Como lo establecen Wilson et al. en el *Global Waste Management Outlook 2015*:

*“La contaminación ambiental puede ser considerada en economía como una ‘falla de mercado’, en cuanto el mercado no establece precios a la limitada capacidad de los tres medios receptores del ambiente –aire, agua y suelo– por la absorción de emisiones, residuos y descargas. Los costos del daño ambiental –las externalidades negativas de la polución y los desechos– son asumidos por la sociedad y la economía en su conjunto, en lugar de ser registrados por los contadores como un costo de producción” (Wilson et al., 2015).*

Se han desarrollado varias metodologías para la evaluación económica de los proyectos. Los principales efectos directos y externalidades asociadas a los proyectos de gestión de residuos son los ahorros de costos por ahorro de espacio en el relleno sanitario; los ingresos generados por la venta de los recursos recuperados (energía, reciclables, CDR, compost, etc.); las emisiones de carbono evitadas como resultado de una mejor gestión de los residuos; la generación de energía y la producción de materia prima sustituida con materiales reciclables (Banco Mundial, 2017; AEMA, 2019); la reducción de emisiones de contaminantes del aire, el agua y el suelo; la valoración positiva de la población, asociada a la percepción de contar con una ciudad más limpia (para lo cual se emplean métodos de preferencias reveladas o declaradas, tales como métodos de precios hedónicos y disponibilidad a pagar); la creación y formalización de empleos, etc. (Comisión Europea, 2014; Wilson et al., 2015).

## Estructuración de proyectos de tratamiento y valorización

Una vez seleccionada la técnica de tratamiento y valorización de residuos que se va a implementar, y de forma previa a la estructuración definitiva del proyecto, es necesario definir el **modelo de administración municipal o regional** (mancomunidades o agrupaciones de municipios) en función de los interesados en formar parte del proyecto.

Para la definición del modelo es conveniente describir y analizar diferentes opciones, como la conformación de una empresa pública regional con participación accionaria de los municipios, la asociación de municipios, etc. El modelo deberá establecer los beneficios, compromisos/obligaciones, requisitos, aportes y participaciones, órganos de decisión y administración, prácticas de buen gobierno, necesidades de personal y estimación de costos de funcionamiento, mecanismos de resolución de conflictos, ventajas y desventajas, entre otros aspectos que servirán de base a los municipios para tomar la decisión. Preferiblemente, el organismo seleccionado debe tener autonomía administrativa y presupuestal y capacidad para contratar y aplicar el proyecto, tanto el diseño y la construcción como la operación de este. En ese sentido, para seleccionar el modelo será necesario realizar entrevistas y talleres con las administraciones municipales a fin de socializar los avances y resultados, así como para recibir sus aportes y solicitudes y atender sus consultas, de manera que cuenten con información completa. Una vez definido el modelo de administración, se preparará la documentación para su implementación, como por ejemplo minutas de contratos, estatutos y otros documentos que permitan a los municipios obtener las autorizaciones y los compromisos presupuestales a fin de formalizar su participación.

El paso siguiente consiste en la estructuración detallada del proyecto de tratamiento y valorización de residuos a nivel de factibilidad o de diseño de detalle, dependiendo de la modalidad de contrato que se utilizará (alianza público-privada u obra pública tradicional), dentro de la cual se tendrán en cuenta los aspectos que se describen a continuación.

### PARA LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA:

- *Definir de forma precisa los aspectos generales del proyecto:* el alcance, la ubicación geográfica, la población beneficiada y/o afectada, la demanda estimada (por ejemplo, las toneladas de residuos para tratar), los servicios que se prestarán. Describir el predio y la topografía. Realizar proyecciones de población y de residuos, de acuerdo con la composición física de los mismos. Articular la relación con las demás actividades del servicio (como la recolección, la comunicación, la educación, etc.), que deben ser ajustadas o modificadas.
- *Una vez confirmada la selección y disponibilidad del terreno:* realizar los estudios necesarios para determinar la solución de ingeniería, tales como estudios geotécnicos (mecánica de suelos), de topografía, de hidrogeología, de hidrología, de relocalización de redes (si aplica). Describir el proyecto, los componentes y las instalaciones auxiliares, así como el diseño básico, que debe incluir: i) las bases de diseño (capacidad de tratamiento, condiciones de operación, balances de masas y energía proyectados); ii) las especificaciones generales del diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento; iii) el detalle de instalaciones auxiliares (accesos, cercos perimetrales, vías, pesaje, zonas de descarga y maniobra, urbanismo, restauración paisajística, etc.); iv) las especificaciones



técnicas de cada instalación y componente (estructura y cimentaciones, instalaciones eléctricas, manejo contra incendios, manejo de aguas, superficies construidas, etc.); v) condiciones técnicas que regirán durante el desarrollo del proyecto (obligaciones generales, procedimientos de trabajo, ingeniería y dirección de obra, documentación, control de calidad, capacitación del personal durante la construcción, montaje, puesta en marcha, certificados de aceptación, planes de contingencia, seguridad y salud en el trabajo, manuales de operación, plan de mantenimiento, planes de monitoreo ambiental durante la construcción y la operación, plan de caracterización de residuos durante la operación, plan de comercialización y salida de residuos recuperados, programa de educación ambiental, personal clave requerido, características técnicas de los equipamientos, indicadores de desempeño, de servicio y de calidad esperados, mecanismos de medición y reporte que se van a emplear) (IDOM, 2020).

- *Efectuar un estudio de mercado para determinar/confirmar la demanda y los mercados existentes o potenciales* para la venta de los subproductos del tratamiento y la valorización (como energía, materiales reciclables, compost, CDR, etc.). Realizar un análisis de sensibilidad según la cantidad de residuos, rechazos o productos resultantes del tratamiento que no puedan ser aprovechados; estudios de impacto ambiental y demás documentos necesarios para la obtención de permisos, licencias y autorizaciones requeridas; estudio de impacto social y plan de inclusión social (si corresponde). Validar la evaluación socioeconómica del proyecto realizada previamente a fin de determinar la relevancia de este para la población, conocer su nivel de prioridad frente a otras inversiones públicas y, además, evaluar si los beneficios esperados son mayores a los costos económicos, sociales y ambientales de su implementación (DNP, 2014). La estructuración deberá establecer la manera en que el proyecto se articulará dentro del ordenamiento territorial municipal y/o regional.

#### **PARA LA ESTRUCTURACIÓN FINANCIERA:**

- *Su producto principal es el modelo financiero*, que es una herramienta relevante para la toma de decisiones basada en el análisis de factibilidad del proyecto. El modelo financiero permite establecer el valor del proyecto y las fuentes de recursos requeridas para su viabilidad (recursos del presupuesto público, tasas/tarifas del servicio de aseo, aportes a fondos de contingencia para cubrir posibles riesgos del proyecto, etc.) (DNP, 2014). El modelo financiero recoge información de todas las áreas del proyecto, por lo cual los responsables de su construcción deben tener un conocimiento integral del mismo e interactuar con los equipos responsables de estas áreas para asegurar la captura de todas las particularidades.
- *El modelo financiero debe considerar estudios previos* y contener, al menos, los siguientes elementos: i) proyección detallada de cada rubro de los ingresos, considerando los ingresos estimados; ii) proyección detallada del gasto anual; iii) proyección detallada de gastos con el costo de capital necesario para financiar la inversión; iv) estados financieros, saldos contables y flujo de caja proyectados para todo el período del proyecto; v) cálculo de depreciaciones y amortizaciones, con la medición de las mejores combinaciones de escenarios de inversión y reinversión, teniendo en cuenta la vida útil de los sistemas y equipos; vi) período del proyecto; vii) estructura de capital; viii) capital de trabajo; ix) análisis del retorno de la inversión; x) estudio de métodos/mecanismos de pago para que el proyecto siga siendo sostenible; xi) análisis de sensibilidad que permita evaluar el impacto por cambios asociados a las variables de entrada (por ejemplo, generación y composición de los residuos, duración del período de construcción, costos de inversión y operación, *gate fee*, precio de venta de los recursos recuperados y otros ingresos) (Comisión Europea, 2014); y xii) análisis de escenarios.

- *La estructuración financiera también debe considerar el desarrollo de una propuesta detallada de tarifas (gate fee) que percibirá el operador (público o privado). Las mismas deben permitir la recuperación de los costos de inversión así como los de operación y mantenimiento de los sistemas construidos, en conjunto con las otras fuentes de ingresos. Asimismo, se incluirá un análisis sobre las diferentes modalidades y los distintos mecanismos de cobro de las tarifas propuestas.*

#### PARA LA ESTRUCTURACIÓN LEGAL:

- *Dentro de esta estructura se detalla el esquema de gestión administrativa y contractual que se empleará. En caso de determinar la conveniencia de realizar una alianza público-privada (APP) o un contrato de obra pública tradicional, en esta etapa se diseñan los términos o pliegos de condiciones y la minuta del contrato en la cual se establecen claramente las obligaciones y responsabilidades de los futuros socios públicos y privados, los mecanismos de solución de conflictos entre las partes, los mecanismos para la terminación del contrato, la administración de los recursos y la forma de pago, el cumplimiento de la legislación y las normas correspondientes, el cumplimiento de los permisos y autorizaciones, la disponibilidad legal del terreno donde se localizará el proyecto, entre otros elementos (DNP, 2014).*
- *El esquema de gestión puede presentar variaciones entre países: puede ser completamente público, a través de empresas, corporaciones o cooperativas estatales; privado, por medio de cesiones por licencias, ventas o por suministros privados, o con participación de ambas partes, mediante contratos de gestión, concesiones (Vives et al., 2007) o un contrato de venta garantizada de materiales recuperados.<sup>17</sup>*

#### PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS:

- *En ella se establecen, definen y valoran (probabilidad e impacto) los posibles riesgos que pueden presentarse durante las diferentes etapas del proyecto (preinversión, diseño, cierre financiero, construcción, operación y mantenimiento), así como la disponibilidad de permisos y terrenos, las condiciones ambientales, sociales, comerciales, financieras, macroeconómicas y las situaciones de fuerza mayor, entre otras.*
- *Asimismo, se definen estrategias de prevención, manejo, monitoreo y mitigación y una propuesta de distribución o asignación de riesgos entre las partes (incluyendo valoración, tiempos, responsables, acciones o medidas), con base en la premisa de que deben adjudicarse a quien tenga la mejor capacidad y la mayor idoneidad para gestionarlos y mitigarlos. Este paso es fundamental para garantizar el éxito de la implementación de las tecnologías para el tratamiento/la valorización de residuos.*
- *En ese marco, uno de los productos principales de esta etapa es la matriz de riesgos del proyecto, en la cual se resumen la definición del riesgo, su asignación, la probabilidad de ocurrencia, la valoración de su impacto. A partir de esta matriz de riesgo se redactan las reglas explícitas sobre este aspecto que se incluirán dentro de la minuta del contrato (DNP, 2014). El cuadro 8 describe los tipos de riesgos que se recomienda considerar en proyectos de tratamiento y valorización de residuos.*

17 El Ministerio del Desarrollo Regional de Brasil (antiguo Ministerio de las Ciudades) está estructurando contratos de venta garantizada de los productos recuperados con el fin de reducir el valor de gate fee (se fija una tasa interna de retorno, TIR) y el riesgo del contrato (venta garantizada). Por ejemplo, el municipio contratante asume la adquisición por un plazo y un precio predeterminados de biometano, compost y/o energía eléctrica. Otro ejemplo lo constituyen los incentivos para las cementeras en el uso del CDR y la necesidad de comprobación con contratos a largo plazo para la recepción de los incentivos. Para reciclables se está creando el "crédito de reciclables", con la participación de la industria de los envases, en el marco del programa de logística reversa (responsabilidad extendida del productor) (Colturato, 2021).

Cuadro 8. Tipologías de riesgos

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Adquisición de terrenos	Variación de la disponibilidad de los terrenos necesarios para el desarrollo del proyecto.
	Variación de costos por la adquisición de terrenos y eventuales compensaciones socioeconómicas que requiera la comunidad afectada.
Social y ambiental	Variación en los tiempos o requisitos para la obtención, modificación y/o cesión de los permisos/licencias ambientales.
	Condicionantes ambientales como pérdida de biodiversidad, uso y aprovechamiento de los recursos naturales y reubicación de comunidades.
	Requerimientos por parte de la autoridad ambiental, que no forman parte de las obligaciones contenidas en el permiso y/o la licencia ambiental, de conformidad con la reglamentación.
	Resistencia u oposición de la comunidad al desarrollo del proyecto.
Equipos	Variaciones en los costos de la importación de equipos debido a cambios en el mercado, en los aranceles y en la tasa de cambio.
	Variaciones en los rendimientos de los equipos.
Diseño	Variación en los costos derivados de los cambios en los estudios y diseños.
	Selección de una tecnología inadecuada.
	Variación en los costos por ajustes en diseños solicitados por las autoridades.
Construcción	Variación en el costo del proyecto causado por cambios en las cantidades de obra, problemas en diseños, metodología constructiva, cronograma de ejecución o relacionados con la capacidad del constructor.
	Variación en los precios de insumos, materiales, mano de obra y demás elementos de construcción y costos indirectos asociados.
Operación y mantenimiento	Variación en los costos de operación y mantenimiento, por variables macroeconómicas (inflación y tipo de cambio) o costos de mantenimiento y reparación mayores a los proyectados o acumulación de paradas/suspensiones técnicas.
	Cantidad y/o composición de los residuos diferentes a las proyectadas o variación de rendimientos (porcentaje de recuperación de reciclables, Nm <sup>3</sup> biogás/tonelada; calidad del compost, MWh/tonelada, entre otros).
	Variación en los precios de los insumos para actividades de operación y mantenimiento.
Comercial	Generación de residuos menor o mayor a la proyectada o insuficiente control en el destino del flujo de residuos.
	Variación en los ingresos derivada de la modificación en las tasas/tarifas por el servicio de gestión de residuos sólidos.
	Efectos favorables o desfavorables derivados del mercado y la comercialización de los subproductos del tratamiento y aprovechamiento de residuos.
	La variación en los precios de venta de energía y productos recuperados puede afectar en proporción la participación sobre los ingresos totales del proyecto. <sup>18</sup>
	Las salidas del proceso no cumplen con las metas de calidad esperadas.
	Fallas en el cumplimiento de los límites de emisiones (al aire o al agua).
	Efectos favorables o desfavorables derivados de las operaciones de recaudo y cobro de tarifas/tasas o <i>gate fees</i> . <sup>19</sup>
Financiero	No obtención del cierre financiero del proyecto, lo cual dependerá de los mecanismos de financiamiento disponibles, los potenciales inversionistas y financiadores, las condiciones de mercado, así como los aspectos macroeconómicos, la reducción de oferta de crédito, etc.
	Efectos negativos por la aplicación de <i>gate fees</i> establecidas localmente.
	Variaciones en las tasas de interés y en las tasas cambiarias por efectos del mercado financiero.

<sup>18</sup> De manera general, la demanda de CDR en la región es muy baja y no cuenta con un mercado desarrollado, aunque es un sustituto imperfecto del carbón. En caso de no lograr su comercialización se debe pagar una tarifa por su disposición final y los costos de transporte asociados.

<sup>19</sup> Cargo que se cobra sobre una cantidad determinada de residuos sólidos recibida en una instalación de procesamiento de residuos.

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Regulatorio	Variación en los ingresos ocasionada por modificaciones en el cálculo de las tasas/tarifas.
	Cambios normativos y regulatorios (cambios en los requerimientos ambientales, económicos o en los instrumentos regulatorios; por ejemplo, introducción de impuestos a los rellenos sanitarios, prohibiciones o restricciones a la disposición final, entre otros) o de las decisiones del contratante ("hecho del príncipe") que afecten el esquema de tratamiento y valorización de residuos, diferentes de la regulación de las tasas/tarifas.
Fuerza mayor	Fuerza mayor en la adquisición predial ocasionada por eventos eximentes de responsabilidad, lo cual depende de los mecanismos existentes de compra de predios en cada país.
	Fuerza mayor por variación significativa del tiempo máximo establecido aplicable para la expedición de los permisos/licencias ambientales y demás permisos requeridos por el proyecto.
	Eventos asegurables no catastróficos, como eventos climatológicos, lluvias fuertes, vientos o sismos poco previsibles.
	Eventos asegurables catastróficos, por lo general asociados a períodos de retorno mayores de 50 años, para fenómenos como terremotos y deslizamientos de tierra y otros hechos climatológicos como lluvias fuertes y granizadas que pueden ser frecuentes en el año.
	Eventos no asegurables, como ocurrencia de hallazgos arqueológicos dentro del área del proyecto o hechos similares que generen retrasos en las obras o mayores costos en la ejecución del proyecto.
	Discontinuidad política que limite el desarrollo del proyecto.

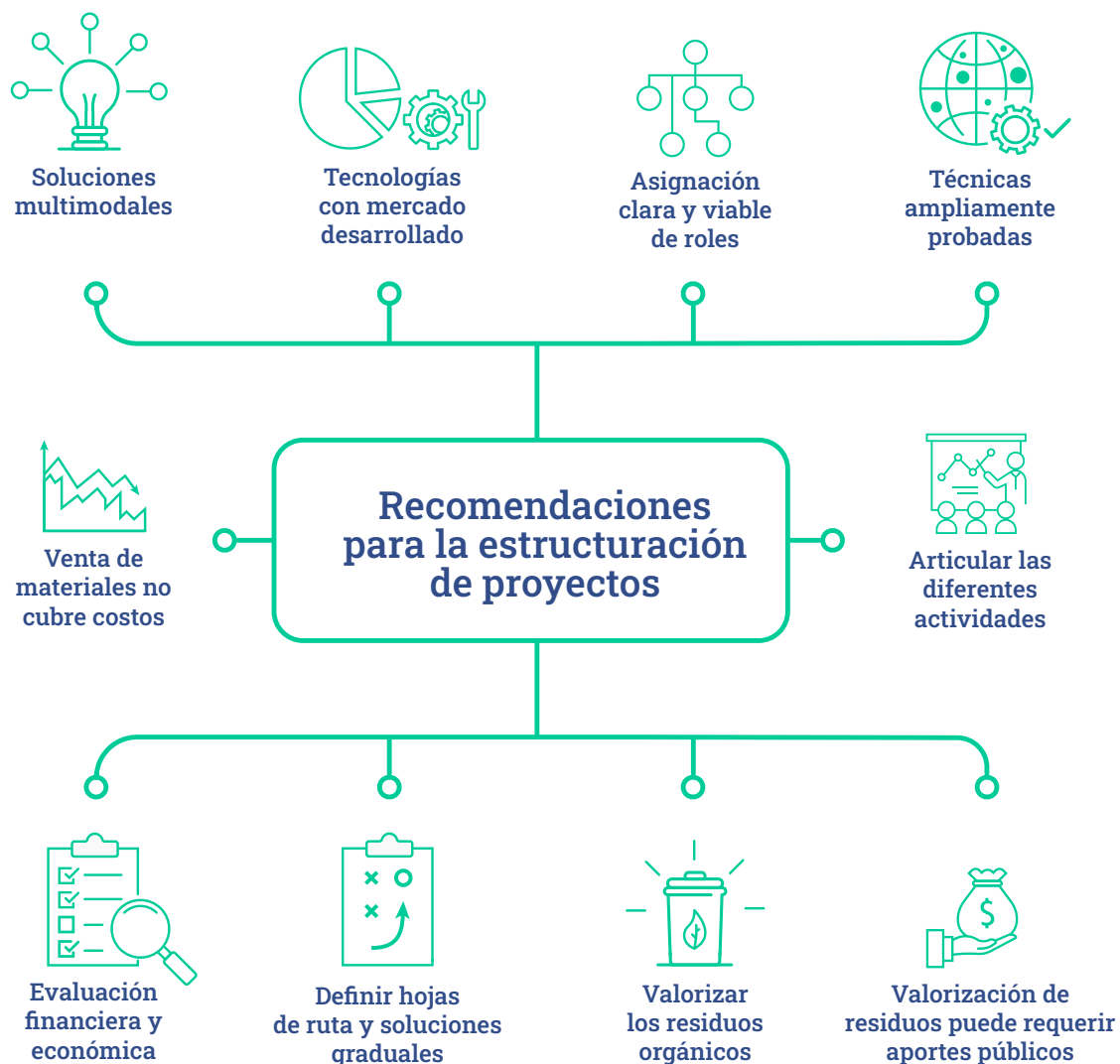
Fuente: Elaboración propia a partir de CONPES (2001) y Comisión Europea (2014).

Cuando existen condiciones locales favorables para el desarrollo de los proyectos, la participación e inversión privada suele ser mayor debido a que los riesgos de conflicto o expropiación son menores para los inversionistas. Asimismo, mejores estrategias de administración de los riesgos generan mayor confianza a los inversionistas para aceptar involucrarse en el proyecto. En ese sentido, las condiciones locales deben ser evaluadas para establecer si se cumple el mínimo de favorabilidad para la ejecución del proyecto. Si el balance de comparar la favorabilidad de cada una de las condiciones locales frente al riesgo que están dispuestos a aceptar los inversionistas es positivo se puede considerar el desarrollo de un proyecto de tratamiento y valorización de residuos (Vives et al., 2007).

**A manera de resumen, se presentan a continuación algunas recomendaciones finales para la estructuración y evaluación de proyectos de tratamiento y valorización de residuos sólidos:**

- Elegir soluciones multimodales, es decir, definir escenarios en los cuales se combinen diferentes técnicas de tratamiento, según las características de los residuos y la existencia de mercado que demande los productos recuperados, que puedan implementarse de forma progresiva mediante fases o módulos; y que estos escenarios estén articulados con la planificación municipal y una visión de gestión integral de los residuos sólidos urbanos a mediano y largo plazo.
- Elegir tecnologías cuyos productos recuperados cuenten con un mercado ampliamente desarrollado, donde se tenga un alto nivel de certeza de que los recursos serán demandados y se generarán los ingresos esperados. Igualmente, es necesario incentivar la creación de mercados que aseguren la demanda, mejoren los precios y reduzcan los riesgos de comercialización de los materiales o recursos recuperados.
- Elegir técnicas ampliamente probadas. Sobre todo en ALC, donde los recursos disponibles para inversión son limitados, es necesario preferir tecnologías que ya hayan sido utilizadas a escala comercial, de tamaños similares a los del proyecto que se espera implementar, que se encuentren en funcionamiento y cuyos resultados estén probados y documentados de forma rotunda. No debe perderse de vista que la innovación y el desarrollo de nuevas técnicas requieren mayores presupuestos, así como de la disponibilidad técnica y política para aceptar que no todos los proyectos resulten exitosos.
- Es fundamental realizar tanto la evaluación financiera como la evaluación económica de los proyectos, pues la primera determinará si los ingresos esperados son suficientes para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto y no se requieren aportes públicos. La evaluación económica permitirá establecer si los beneficios que generará el proyecto, al margen de los ingresos financieros, son mayores que los costos del proyecto, caso en el cual se justificará la realización de aportes públicos para asegurar el cierre financiero del proyecto, de ser necesarios.
- La estructuración del proyecto deberá definir el modelo de negocio o de transacción para la implementación del proyecto, así como los roles, derechos y obligaciones de los diferentes actores y los instrumentos para asegurar su cumplimiento.
- Las técnicas de tratamiento y valorización deben implementarse preferiblemente de forma progresiva, por fases, ya que, de acuerdo con la experiencia internacional, ninguna ciudad del mundo ha resuelto el problema de la gestión de residuos con un único proyecto y en un único momento. Por lo anterior, la estructuración de proyectos debe incluir hojas de ruta o planes de trabajo que aseguren la implementación continua del proyecto, más allá de los períodos de las administraciones municipales. Esta hoja de ruta progresiva permitirá incorporar los avances tecnológicos que surgen periódicamente, evitar excedentes de capacidad que generen obras ociosas y mejorar la viabilidad financiera de los proyectos al distribuir las inversiones en el tiempo.

Gráfico 9. Recomendaciones para la estructuración de proyectos de tratamiento y valorización de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.





## 4. RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

### Sistema regulatorio

**Propiciar el desarrollo de tecnologías para la valorización de residuos sólidos.**



Contar con un sistema regulatorio que propicie el desarrollo de tecnologías para la valorización de residuos sólidos es un punto de partida para fortalecer la gestión de residuos y avanzar hacia técnicas que promuevan su aprovechamiento y eviten su disposición final.



**Adoptar metas, acciones e instrumentos.**

Se requiere adoptar metas, acciones e instrumentos que desincentiven la disposición final y fomenten la valorización de los residuos sólidos.



# RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Las políticas públicas son decisiones y acciones de los gobiernos a través de las cuales se busca solucionar los diferentes problemas de la sociedad y superar las barreras que limitan o afectan el desarrollo de las actividades y servicios, en este caso, de la gestión integral de los residuos sólidos.

A manera de ejemplo y marco de referencia, se presenta la experiencia de la Unión Europea en la adopción de políticas públicas y la elección de instrumentos empleados. Luego, se describen algunas de las barreras que, en opinión de los autores, limitan la implementación de proyectos de tratamiento y valorización de residuos en ALC. Finalmente, se proponen algunas recomendaciones de políticas públicas para la región.

## 4.1 Políticas públicas e instrumentos empleados en la Unión Europea

Desde 1975, y especialmente a partir de 1994, los países de la Unión Europea (UE) se han propuesto reducir la cantidad de residuos generados e invertir la relación positiva entre el crecimiento económico y el crecimiento de la generación de residuos (Comisión Europea, 2017a; Comisión Europea, 2019b). Para esto, la UE ha asumido, de forma gradual, diferentes metas y estrategias, que se resumen a continuación, a fin de asegurar la eliminación de los residuos y, a cambio, darles tratamiento como materia prima (en los anexos se detallan las directivas, las decisiones y los reglamentos adoptados por la UE para incentivar la valorización de los residuos sólidos).

Cuadro 9. Metas de aprovechamiento obligatorias en la Unión Europea (Directiva 94/62/CE)

FECHA LÍMITE	ACCIÓN	PORCENTAJE
30.06.2001	Valorizar o incinerar en instalaciones de incineración de residuos con valorización de energía.	Mínimo: 50%. Máximo: 65%. Medio con base en el peso de los residuos de envases.
31.12.2008	Valorizar o incinerar en instalaciones de incineración de residuos con valorización de energía.	Mínimo: el 60% de los residuos.
30.06.2001	Reciclar.	Mínimo: 25%. Máximo: 45%. Del peso de la totalidad de los materiales de envasado contenidos en los residuos de envases, con un mínimo del 15% en peso para cada material de envasado.
31.12.2008	Reciclar.	Mínimo: 55%. Máximo: 80%. Del peso de los residuos de envases. Mínimos: El 60% de vidrio, papel y cartón; el 50% de metales; el 22,5% de plásticos; el 15% de madera.

Fuente: Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2008).

Cuadro 10. Metas de reducción de residuos municipales biodegradables en rellenos sanitarios en la Unión Europea (Directiva 99/31/CE)

<b>PORCENTAJE PERMITIDO PARA INGRESAR EN EL RELLENO SANITARIO</b> (en peso de los residuos municipales biodegradables producidos en 1995 o el año inmediatamente anterior)	<b>FECHA LÍMITE DESPUÉS DE LA ENTRADA EN VIGOR DE LA NORMA</b>
Hasta el 75% de la cantidad total.	5 años
Hasta el 50% de la cantidad total.	8 años
Hasta el 35% de la cantidad total.	15 años

Fuente: Consejo de la Unión Europea (1999).

Por otra parte, en diversos países de Europa se han implementado impuestos o prohibiciones a los rellenos sanitarios para que los residuos se dispongan mediante formas alternativas de tratamiento. En el cuadro 11 se exhiben las medidas tomadas por algunos países europeos en relación con la prohibición de los rellenos sanitarios o el establecimiento de un impuesto, así como la variación porcentual de la disposición final entre 2005 y 2012.

Cuadro 11. Impuestos y prohibiciones a los rellenos sanitarios establecidos por algunos países miembros de la Unión Europea a partir de la Directiva 99/31/CE y variación porcentual de la disposición final 2005-12

<b>PAÍS</b>	<b>PROHIBICIÓN</b>	<b>IMPUESTO A LA DISPOSICIÓN FINAL<sup>a</sup></b> (euros/ton.)	<b>VARIACIÓN DE LA DISPOSICIÓN FINAL ENTRE 2005 Y 2012</b>
Alemania	Desde 2005 se prohíbe la disposición final en rellenos sanitarios.		-94%
Bélgica, Flandes	Desde 2006 rige la prohibición para residuos domiciliarios combustibles y residuos comerciales e industriales.	€31,7-€84,89 (depende de si es público o privado y si son residuos combustibles o no combustibles).	-91%
Noruega	Desde 2009 rige la prohibición para todos los residuos con COT>10%.	€37,4	-88%
Suecia	Desde 2002 rige la prohibición para residuos combustibles separados y desde 2005, para residuos orgánicos.	€43	-87%
Austria	Desde 2008 rige la prohibición para residuos con COT>5%.	€87	-72%
Dinamarca	Desde 1997 rige la prohibición para residuos aptos para incineración.	€63	-55%
Reino Unido		€2,5-€72	-54%
Francia	Desde 2002 el país se rige de acuerdo con la directiva.	€100 (rellenos no autorizados). €30 (rellenos autorizados). €20 (rellenos autorizados con ISO 14000). €15 (rellenos que tienen aprovechamiento de energía de un 75% como mínimo). Los valores se incrementan cada 1 de enero.	-16%

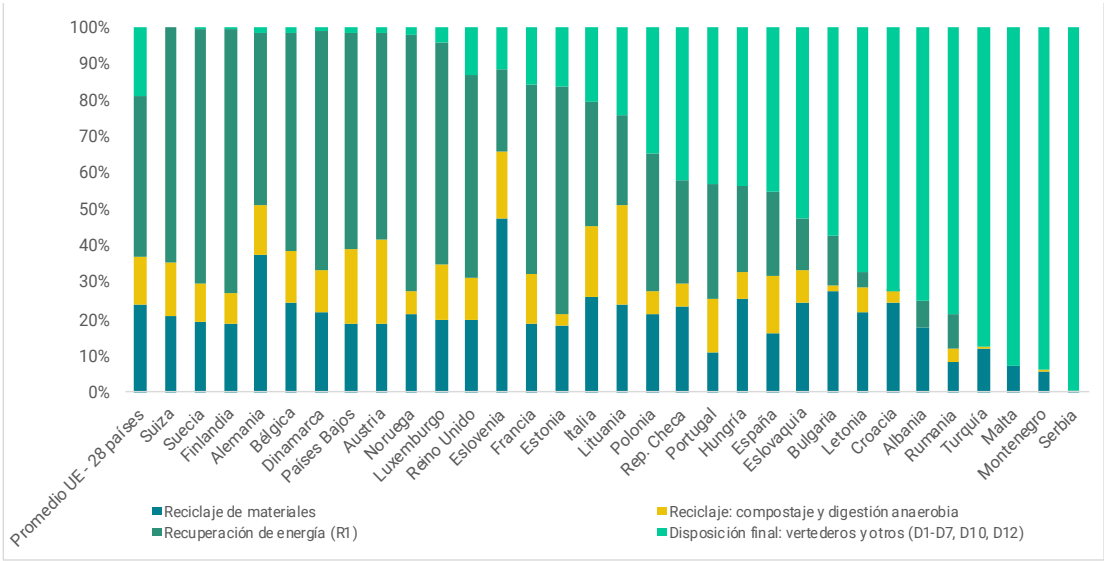
Fuente: Eurostat (2018).

<sup>a</sup> Valor adicional al *gate fee* que busca desincentivar la disposición final en rellenos sanitarios. Los fondos se destinan al financiamiento de proyectos de valorización de residuos sólidos.

COT: carbono orgánico total.

Las medidas adoptadas por Suiza, Países Bajos, Suecia y Alemania permitieron que la disposición final disminuyera en más de un 80% entre 1994 y 2005.<sup>20</sup>

Gráfico 10. Tratamiento de RSU en la Unión Europea, 2008 (porcentaje de toneladas por tipo de tratamiento)



Fuente: Eurostat (2008).

Con base en la revisión de estas experiencias, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha formulado una guía de mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos (OCDE, 2016), las cuales se resumen en el cuadro 12.

Cuadro 12. Guía de mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos

LECCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Definir el <b>cuerpo normativo y de cumplimiento en un nivel gubernamental</b> adecuado para las instalaciones de tratamiento y valorización de residuos, consistente en requisitos legales (autorizaciones, licencias, permisos o normas), que consideren el contexto del país en el que se desarrollan y los estándares mínimos que deben cumplir en materia económica, social y ambiental.
2	Desarrollar e implementar <b>prácticas e instrumentos</b> que permitan a las autoridades realizar las labores de seguimiento, vigilancia y control del cumplimiento de la normatividad y de las regulaciones nacionales e internacionales así como de la aplicación de las mejores prácticas en el sector de residuos. De ese modo, las autoridades podrán emprender acciones rápidas, adecuadas y efectivas en caso de incumplimiento.
3	Definir las <b>mejores técnicas disponibles (MTD)</b> para los procesos de gestión de residuos y garantizar que las instalaciones de tratamiento y valorización de residuos funcionen de acuerdo con las MTD, teniendo en cuenta la viabilidad técnica, operativa y económica.
4	Potenciar el <b>intercambio de información y de lecciones aprendidas</b> entre productores, generadores de residuos, gestores de residuos y autoridades, para fomentar la prevención de residuos, optimizar las operaciones y minimizar las cantidades de residuos dispuestas tratadas inadecuadamente.
5	Integrar <b>elementos de desempeño</b> a la política de gestión de residuos, tales como indicadores, metas y plazos, para garantizar una gestión económica, social y ambientalmente racional.
6	Introducir <b>incentivos y/o medidas de ayuda</b> para las instalaciones de tratamiento y valorización de residuos que cumplan con los elementos de desempeño establecidos.
7	Implementar las <b>recomendaciones técnicas</b> para la gestión de los residuos sólidos desarrolladas por la OCDE.
8	Avanzar en la <b>internalización de los costos ambientales y de salud humana</b> en la gestión de residuos, diferenciando los residuos peligrosos y no peligrosos, adoptando instrumentos y metodologías que permitan valorarlos e incluirlos dentro de los costos de disposición final, tratamiento y/o valorización de los residuos.
9	Crear e implementar <b>incentivos</b> para participar en esquemas de reciclaje.
10	Implementar un <b>régimen de responsabilidad y cumplimiento ambiental</b> para las instalaciones con el fin de prevenir el daño ambiental.
11	Garantizar que la implementación de los elementos de desempeño no desincentive el reciclaje ni la inclusión de recicladores de oficio.
12	Garantizar la <b>previsibilidad de la comercialización de los productos</b> (biometano, energía eléctrica, compost, reciclables, CDR) de manera de reducir los riesgos de los inversionistas.
13	Crear alternativas para <b>maximizar los valores de mercado de los productos</b> de las instalaciones de tratamiento de RSU para reducir el <b>gate fee</b> que debe pagar el poder público.

Fuente: Elaboración propia.

20 Los países se mencionan en orden de disminución de residuos dispuestos.

## 4.2 Barreras y recomendaciones en América Latina y el Caribe

Los principales aspectos identificados como impedimentos para incentivar el uso de técnicas de tratamiento o valorización de residuos sólidos en ALC fueron clasificados como barreras legales, técnicas, financieras y socioeconómicas. Se resumen a continuación.

### 4.2.1 Barreras legales

Existe una **falta de coherencia en los términos y definiciones** de los conceptos relativos a la gestión integral de residuos sólidos que se emplean en las normas que reglamentan dichas actividades en los países de ALC. Además, los órganos legislativos **regulan principalmente las actividades de disposición final** y excluyen de la norma las de tratamiento y valorización de residuos, lo cual genera incertidumbre jurídica sobre el alcance técnico de dichas actividades y los instrumentos legales y financieros requeridos para su implementación.

Por otra parte, **falta una mejor coordinación entre las entidades de gobierno** relacionadas con la gestión de residuos, lo cual limita la expedición de políticas integrales que introduzcan de forma efectiva el concepto de economía circular y que faciliten la demanda de materiales y subproductos obtenidos del tratamiento y la valorización de los residuos generados. Además, desde el punto de vista legal, **en los instrumentos de ordenamiento del suelo o del territorio no siempre se exige incorporar áreas** donde puedan desarrollarse proyectos de tratamiento de residuos.

Asimismo, algunos países han adoptado medidas que, si bien buscan aplicar el concepto de jerarquización de la gestión de residuos sólidos ampliamente desarrollado en Europa, en algunos casos no se ajustan al contexto económico y social del país o la región de que se trate, lo cual lleva a que los proyectos no sean viables o que a la larga se desincentive el desarrollo de proyectos que sí podrían ser factibles.

Para superar estas barreras se recomienda **establecer definiciones claras y únicas**, tomando como base los conceptos empleados a nivel internacional. Igualmente, es imprescindible **reglamentar las actividades de tratamiento y valorización y fortalecer las definiciones y obligaciones para la disposición final**. Es altamente recomendable **constituir un grupo multisectorial que permita la articulación de las políticas e iniciativas** en la gestión integral de residuos, conformado por representantes de los sectores del servicio público de aseo, ambiente, salud, energía, industria y comercio, entre otros. Es importante **fijar condiciones y requerimientos sobre la ubicación, construcción y operación** de sistemas de tratamiento y valorización de residuos y determinar **lineamientos concretos con respecto a los requisitos ambientales** (licencias y tipos de permisos) para cada tipo de técnica de tratamiento, valorización y/o disposición final de los residuos sólidos.

El alto contenido de materia orgánica de los residuos en la región tiene un impacto significativo sobre las emisiones a la atmósfera y la generación de lixiviados en los sitios de disposición final, por lo cual hay que **priorizar y precisar los casos en los que los residuos orgánicos deberán ser tratados antes de su disposición final**, con el fin de disminuir los impactos ambientales causados por este tipo de residuos.

El éxito de la operación de las técnicas de tratamiento y valorización de residuos depende de la composición y las cantidades de los residuos generados en el contexto donde se evalúe su implementación. Por eso, es fundamental **conocer el estado técnico y operativo del sistema actual de gestión de residuos en términos de recolección, transporte y disposición final, así como los roles de las entidades de seguimiento y control** encargadas de la fiscalización y de los sistemas de información y monitoreo que permitan realizar una trazabilidad de dicho sistema.

Si el municipio no puede cumplir con los requerimientos para adoptar una tecnología de tratamiento de residuos, debe enfocarse en solucionar las deficiencias de su sistema de recolección y transporte y fortalecer su cobertura, así como las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la disposición final de los residuos.

### 4.2.2 Barreras técnicas

La **separación de residuos en origen se realiza en pocos hogares y en ocasiones con bajos niveles de calidad**. Esta situación dificulta la implementación de algunas técnicas de tratamiento y valorización, por lo cual se requiere implementar programas que promuevan el cambio de comportamiento de la población. Asimismo, el **desconocimiento del uso de las diferentes técnicas afecta la toma de decisiones**. Por su parte, **los encargados de la reglamentación y de la fiscalización del empleo de métodos de tratamiento y valorización de residuos suelen desconocer el estado del arte de las tecnologías**, lo cual genera que la normatividad considere únicamente tecnologías tradicionales o con menores eficiencias y mayores impactos económicos, sociales y ambientales. Además, la cantidad **de personal técnico especializado en el uso de las diferentes tecnologías es muy limitada en la región**. Al mismo tiempo, **la mayoría de los países de ALC no cuenta con sistemas de reporte de información** o estos son ineficaces, lo que dificulta las labores de fiscalización de cumplimiento de las normas.

En coherencia con las lecciones aprendidas del proceso europeo, es esencial **diferenciar las corrientes de residuos**. En ese sentido, resulta imprescindible educar a la población urbana y rural, al sector comercial y a la industria para que puedan llevar adelante la separación en origen. Asimismo, es preciso **fortalecer la normatividad y la aplicación de la ley** en cuanto a la separación en la fuente e **incluir metas de valorización** de residuos, con determinados plazos de cumplimiento, teniendo en cuenta las características de los municipios y las tasas de reciclaje actuales.

**Invertir en el entrenamiento y la capacitación del capital humano** idóneo para el desarrollo de la regulación y la aplicación de la ley en el sector, así como **desarrollar y/o mejorar los sistemas de monitoreo y trazabilidad** que faciliten el cumplimiento de las funciones del manejo de los residuos son acciones fundamentales. Igualmente, es recomendable implementar programas de capacitación a través de las empresas que desean implementar las diferentes técnicas, de centros educativos o de centros de formación para el trabajo. Los gobiernos y las empresas pueden **promover las visitas técnicas a países donde se producen y emplean las tecnologías de tratamiento y valorización** con el objetivo de recopilar información de su instalación y operación a fin de contar con mejores criterios para evaluar la viabilidad de implementar dichas técnicas en el contexto local. Este conocimiento debe ser divulgado y multiplicado en las partes de la cadena de valor de la gestión integral de los residuos sólidos. Asimismo, la ejecución de proyectos piloto locales permite ganar conocimiento y experiencia, identificar aspectos funcionales y acelerar la curva de aprendizaje. De la misma manera, es necesario impulsar la fiscalización efectiva y el uso de la digitalización y la innovación.

Finalmente, es preciso trabajar para la **normalización y certificación técnica de unidades de tratamiento de residuos sólidos urbanos**, de manera de homogeneizar términos y definiciones, garantizar procedimientos y requerimientos mínimos necesarios, auxiliar a proyectistas e inversionistas en la toma de decisiones y en la coherencia de la instalación, reducir riesgos técnicos para la obtención de licencias ambientales y la construcción y operación de las instalaciones y asegurar calidades mínimas de los productos generados.<sup>21</sup>

### 4.2.3 Barreras financieras

En general, las técnicas de tratamiento y valorización de residuos requieren ingresos adicionales a los de la comercialización de los recursos valorizados o los subproductos del tratamiento para hacer financieramente viables los proyectos.

Esta barrera se ve afectada por la priorización de otras problemáticas y otros sectores al momento de distribuir los recursos, lo cual deja rezagadas las inversiones en el desarrollo de infraestructura para esta actividad; en tanto, algunos proyectos a los que se han destinado recursos no han tenido éxito debido al desconocimiento técnico o a la falta de seguimiento una vez hechas las inversiones iniciales.

Por lo anterior, se recomienda **crear incentivos para fomentar el desarrollo de los mercados de productos valorizados o de los subproductos** de los tratamientos. De la misma manera, se sugiere **fixar directrices para que los recursos públicos se destinen únicamente a técnicas que sean factibles desde el punto de vista económico, financiero, social y ambiental**; adoptar reglas que obliguen a los municipios y distritos a dirigir una mayor parte de recursos al financiamiento de este tipo de proyectos; incluir medidas para promover proyectos regionales para la ubicación de este tipo de infraestructuras e incorporar normas como el **establecimiento de contratos a largo plazo** para garantizar que los residuos sean llevados a estos proyectos, lo cual permitirá reducir la tarifa del servicio (*gate fee*) y optimizar su viabilidad financiera.

Esto se afirma en congruencia con los resultados obtenidos por regiones con un mayor avance en reglamentación, tecnología y conocimiento de la población, donde las directrices reglamentarias muestran que **es necesario desarrollar incentivos financieros y económicos para dar viabilidad al uso de técnicas alternativas**, toda vez que se reconoce que los recursos obtenidos de estos procesos (materia prima, energía, etc.) no generan los ingresos suficientes para costear su implementación y operación.

En ese sentido, se recomienda **desarrollar y fortalecer los siguientes mecanismos de financiamiento**:

- **Tarifa** que reconozca los costos reales de estas técnicas.
- **Impuestos sobre vertederos (*landfill tax*) e incentivos al aprovechamiento** para disuadir de la disposición final y mejorar la viabilidad financiera de estas técnicas.
- **Responsabilidad extendida del productor** para afianzar la responsabilidad de la industria en la generación de los residuos luego del consumo de los bienes o productos comercializados en el mercado, ya sea a través de mecanismos monetarios que ayuden a financiar las técnicas para el tratamiento de los residuos sólidos derivados de cada industria o que garanticen la demanda del material, o bien mediante la mejora en el diseño de sus productos y envases para reducir la generación de residuos u optimizar su reciclabilidad.

21 La Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) está preparando normas sobre ecoparques, entendidos como sistemas donde se realizan diferentes actividades de gestión y valorización de residuos sólidos, como en el caso de las plantas mecánico-biológicas (Colturato, 2021).



- **Desarrollo de mercados y modelos de negocios** para los recursos o materiales recuperados a fin de facilitar y garantizar su demanda y comercialización.
- **Financiamiento estatal para las inversiones en infraestructura y terreno**, teniendo en cuenta que la inversión de capital es el componente más costoso de estas técnicas, por lo cual podrían desarrollarse mecanismos de cofinanciamiento, por ejemplo, a través de APP o aportes a fondo perdido por los gobiernos nacionales o municipales.

Todos estos instrumentos deben orientarse y articularse de manera que **el usuario pague en función de la cantidad de residuos generados**, de acuerdo con los principios de “*pollutants pay*” y “*pay as you throw*”. Según la experiencia de países de Europa y de algunas ciudades de Canadá y Estados Unidos, se recomienda que la tarifa incluya un componente fijo que asegure la disponibilidad permanente del servicio y desincentive la disposición inadecuada, y un componente variable que promueva la separación en la fuente y la reducción de residuos. La aplicación de este esquema requiere una fiscalización efectiva y la educación de la población.

#### 4.2.4 Barreras socioeconómicas

Es probable que la principal barrera socioeconómica en ALC sea la desigualdad de condiciones geográficas, sociales y económicas tanto en escala local como en escala regional, lo cual dificulta el establecimiento de medidas únicas para todos que al mismo tiempo sean acordes al contexto particular. Por otra parte, la poca participación de los generadores de residuos de los sectores residencial, comercial e industrial afecta significativamente la efectividad de las soluciones. En ALC existe una amplia población de recicladores de oficio, los cuales deben ser tenidos en cuenta dentro de los esquemas y modelos de negocios de tratamiento y valorización de residuos.

Para superar estas barreras se recomienda que los gobiernos prioricen las actividades que favorecen el reciclaje de la fracción seca de los residuos, exigiendo la recolección selectiva de la fracción reciclable, destinada a actividades de preparación para su reutilización o reciclado. También se deben establecer medidas que, de manera diferenciada, indiquen las acciones que deben implementar los municipios y regiones según el tamaño y las características de cada uno. Finalmente, uno de los principales instrumentos para mejorar la gestión de los residuos en ALC es realizar campañas informativas y educativas para los usuarios relacionadas con sus obligaciones, incluida la referida al pago del servicio, y los efectos negativos en la salud humana y el medioambiente que puede causar una gestión inadecuada.



## 4.3 Recomendaciones finales

Los instrumentos de políticas públicas pueden clasificarse en cuatro categorías principales: los de comando y control (regulación directa), los administrativos, los económicos y de mercado y los de información y educación. A continuación se proponen algunos instrumentos de políticas públicas que podrían aplicarse en ALC para eliminar las barreras y fomentar la utilización de mejores técnicas para el manejo de los residuos, a través del tratamiento y la valorización.

Cuadro 13. Instrumentos de políticas públicas para la gestión de residuos sólidos

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Regulación directa	Normas, estándares, prohibiciones, restricciones, sanciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designar una autoridad efectiva de regulación y fiscalización.</li> <li>• Adoptar y/o fortalecer la reglamentación técnica, legal y financiera de las actividades de gestión de residuos.</li> <li>• Implementar acciones de fiscalización de la gestión de residuos.</li> <li>• Establecer metas progresivas de valorización de residuos.</li> <li>• Implementar medidas de responsabilidad extendida del productor para incentivar la demanda de materiales recuperados y generar recursos para el financiamiento de los programas de valorización.</li> <li>• Establecer metas progresivas y obligatorias de reducción de la cantidad de residuos biodegradables que se permite disponer en rellenos sanitarios sin tratamiento previo e implementar programas de recolección selectiva de residuos orgánicos.</li> <li>• Establecer metas progresivas y obligatorias para la utilización de CDR por parte de las cementeras.</li> </ul>
Administrativos	Permisos, licencias, planes de manejo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoptar e implementar un plan nacional de gestión integral de residuos sólidos que establezca metas progresivas y plazos de valorización de residuos.</li> </ul>
Económicos y de mercado	Impuestos, tarifas/tasas, beneficios tributarios, subsidios, depósito/reembolso, permisos transables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobrar a la población la prestación del servicio de gestión de residuos sólidos empleando mecanismos efectivos de recaudo y asegurando que el cobro permite recuperar los costos.</li> <li>• Introducir instrumentos económicos (responsabilidad extendida del productor, incentivos y demanda garantizada de recursos recuperados, <i>landfill tax</i>, incentivos a la separación en la fuente) que desincentiven progresivamente la disposición final y viabilicen el tratamiento y la valorización de los residuos.</li> </ul>
Información y educación	Sistemas de información, campañas educativas, publicidad e imagen, certificaciones y sellos ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar un sistema nacional de información que permita realizar la recolección, validación y publicación de información e indicadores que describan el estado de la gestión de residuos y su evolución.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodríguez-Becerra y Espinoza (2002).

Contar con un sistema regulatorio que propicie el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de residuos es un punto de partida para fortalecer la gestión de residuos y avanzar hacia técnicas que promuevan su aprovechamiento y eviten su disposición final. Sin embargo, son pocos los casos en que los proyectos de tratamiento y valorización de residuos municipales alcanzan su cierre financiero a través de la comercialización de los recursos valorizados, por lo cual se requiere adoptar incentivos e instrumentos que desincentiven la disposición final y fomenten la valorización de los residuos. Se destacan los instrumentos económicos para la transformación del comportamiento tanto de los consumidores como de los productores, así como para corregir fallas en el mercado, incluyendo costos externos para el medioambiente o la sociedad.

Si bien varios países de ALC han implementado sistemas de recaudo en el manejo de residuos, se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos para garantizar la sostenibilidad financiera de la gestión de residuos, así como de los sistemas de tratamiento y valorización:

- **Recuperación de costos:** A pesar de generar ingresos por la venta de subproductos, como energía, compost, CDR o materiales reciclables, en general, las técnicas de tratamiento y valorización de residuos serán más costosas que el relleno sanitario, por lo cual es necesario cobrar a la población la prestación del servicio de manejo de residuos, incluida la valorización. Los gobiernos tienen la facultad de definir los fundamentos para el cobro por este servicio, que puede realizarse a través de metodologías que establezcan las bases para calcular el valor que se debe cobrar y los lineamientos para estimar los costos, así como los criterios para evaluar las alternativas de recaudo.
- **Adopción de instrumentos económicos:** Algunos instrumentos económicos permiten generar ingresos para el manejo de residuos y, al mismo tiempo, desincentivar la generación o la disposición final (por ejemplo, *landfill tax* o impuesto a la disposición final sin tratamiento previo). Sin embargo, implementar este tipo de instrumentos económicos requiere sistemas muy efectivos de fiscalización, que, a su vez, demandan sistemas de información para el seguimiento del cumplimiento de las normas y metas.
- **Asegurar la demanda de subproductos:** Si bien el tratamiento de residuos puede generar diferentes subproductos, estos pueden no tener un mercado y, en consecuencia, una comercialización que funcione como una fuente de ingresos para cubrir los costos de la actividad. Para ello es necesario fomentar la creación de mercados que aseguren la demanda de estos subproductos, a través de instrumentos como beneficios tributarios, esquemas de responsabilidad extendida del productor, incentivos de aprovechamiento e instrumentos normativos que reglamenten y promuevan mercados como el de la transición hacia energías generadas a partir de residuos, la demanda de materiales reciclables, el uso de CDR, entre otros.

Finalmente, así como en Europa se han creado organismos y grupos de expertos para la evaluación de las técnicas y tecnologías disponibles, se recomienda establecer un órgano regional similar en ALC que contemple las mismas funciones y tenga en cuenta el contexto local, tanto en generación y composición de residuos, como en accesibilidad, financiamiento y demás consideraciones pertinentes para establecer las MTD aplicables específicamente a los países de la región. Este órgano debe contar con la participación de expertos técnicos que conozcan de primera mano la situación socioeconómica, técnica, legal y financiera de los países de ALC. Los resultados que aquí se generen servirán de referencia para implementar tecnologías que garanticen una alta confiabilidad, operen de acuerdo con las características locales y sean soluciones efectivas al déficit de valorización de residuos que se presenta en la región.

De manera similar a lo desarrollado por la UE, estas referencias técnicas deben estar en constante evaluación y retroalimentación, y considerar una diversificación más amplia de las corrientes de residuos empleadas tradicionalmente en ALC, especificando sus niveles de aplicabilidad en relación con cada sector productivo y estableciendo recomendaciones para su óptimo desarrollo.



## 5. CONCLUSIONES



### **Las mejores técnicas disponibles sirven para impactar en distintos temas de la agenda de políticas públicas**

Las mejores técnicas disponibles (MTD) sirven como referente para determinar las acciones de mejor desempeño en diferentes sectores industriales, lo cual, de forma directa o indirecta, impacta en distintos temas de la agenda de políticas públicas que han sido desarrollados a lo largo de los últimos años, como el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados por las Naciones Unidas (en especial las metas 11.6, 12.3, 12.4, 12.5 y 14.1 [ONU, 2015]), los compromisos de reducción de emisiones de carbono del Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, la implementación de tecnologías para la generación de energía renovable y la promoción de una economía circular con el objetivo de alcanzar un desarrollo sostenible.

---

### **ALC debe elaborar documentos de referencia propios ajustados al contexto regional y local**



Es conveniente que en ALC se trabaje mancomunadamente para elaborar documentos de referencia propios de las mejores técnicas disponibles, ajustadas al contexto regional y local, que sirvan de base para incentivar la incorporación de los principios de la economía circular, el cumplimiento de los ODS y la confianza de los inversionistas en sistemas de valorización de residuos sólidos.



## La valorización de los residuos sólidos proporciona importantes beneficios ambientales, sociales y económicos

La valorización de los residuos sólidos proporciona importantes beneficios, como la reducción de las emisiones de carbono generadas en los procesos de descomposición de los residuos, así como en los procesos de producción de materias primas que pueden ser sustituidas con los materiales recuperados (reciclables, compost, abonos, etc.). Además, la valorización permite recuperar el potencial energético presente en los residuos (biogás, CDR, vapor, calor), que puede ser empleado para la generación de energía eléctrica. La desviación de residuos sólidos hacia sistemas de valorización permite extender la vida útil de los rellenos sanitarios, que se constituyen en una alternativa ante el cierre de botaderos a cielo abierto y de otros sitios inadecuados. En consecuencia, la implementación de estos proyectos se constituye en un mecanismo de creación de empleos “verdes” y de un desarrollo económico sostenible.

## La región debe desarrollar y aplicar un sistema de estadísticas e información regional para conocer permanentemente sus avances



Se recomienda desarrollar y aplicar un sistema de estadísticas e información regional que permita conocer de forma continua el estado y los avances de la gestión de los residuos en ALC, de manera similar a la experiencia de la Unión Europea (sistema Eurostat), así como definir, conjuntamente entre los países de la región, las mejores técnicas disponibles y elaborar los respectivos documentos de referencia que orienten a los gobiernos en la selección y estructuración de los proyectos que mejor se ajusten al contexto local.<sup>22</sup>



## La implementación de técnicas de tratamiento y valorización de los residuos requiere la ejecución de estudios de prefactibilidad

La implementación de técnicas de tratamiento y valorización de los residuos requiere la ejecución de estudios de prefactibilidad para evaluar los posibles escenarios de tratamiento y seleccionar la combinación de tecnologías más apropiada, según las características del contexto local, para lo cual puede emplearse la metodología de análisis de viabilidad propuesta en este documento. En cualquier caso, deben analizarse los aspectos legales, económicos, financieros, técnicos, sociales y ambientales, dentro de los cuales se destacan especialmente la composición de los residuos, la capacidad institucional para administrar y financiar el proyecto y la existencia de mercados que demanden los recursos y materiales recuperados.

<sup>22</sup> Los datos de la Oficina Europea de Estadística, más conocida como Eurostat, se encuentran disponibles en: <https://ec.europa.eu/eurostat/home?>.





## **Antes de implementar un sistema de valorización, se requiere contar con un esquema de recolección, transporte y disposición final adecuado**

Antes de poner en marcha sistemas de tratamiento y valorización de residuos, el municipio o el generador del proyecto deben asegurarse de que exista un esquema de recolección, transporte y disposición final bien desarrollado; de lo contrario, se recomienda hacer foco en el fortalecimiento de estas actividades y, en forma paralela, ir incorporando tareas de reciclaje y técnicas de valorización de baja complejidad.

---

## **En ALC la implementación de proyectos de valorización de residuos aún es incipiente**



En ALC existe una tendencia a la eliminación de los residuos mediante la técnica de disposición final en rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto. Algunas ciudades de la región han desarrollado proyectos de valorización de residuos; sin embargo, la implementación de estas tecnologías es aún incipiente debido a la falta de mecanismos que aseguren su viabilidad financiera, el escaso nivel de conocimiento y experiencia, la ausencia de fiscalización y autoridad para exigir a los municipios y operadores mejores prácticas de gestión de los residuos, los bajos niveles de cobro y recaudo de recursos para el servicio, y la carencia de políticas públicas que orienten a los gobiernos municipales hacia la incorporación progresiva de mejores técnicas a través de la definición de metas, prohibiciones, restricciones, incentivos e instrumentos económicos, entre otros.



---

## **Se requiere que la región adopte instrumentos financieros que garanticen la sostenibilidad de las inversiones en el sector**

Finalmente, es necesario que la región adopte instrumentos económicos que permitan maximizar los ingresos para el manejo de residuos y garantizar la demanda de los subproductos, con el fin de reducir los riesgos de la instalación y de los inversionistas. Igualmente, ALC debe establecer modelos de negocio que tengan en cuenta las particularidades locales y logren una disminución de los costos de tratamiento (*gate fee*) para la población.

# GLOSARIO

- **Balance de masas y energía:** El balance entre la cantidad de materiales y de energía que ingresa y que sale de un proceso o sistema (ISWA, 1992).
- **Biodigestor:** Planta industrial de tratamiento de los residuos orgánicos a través de un proceso anaeróbico. Tiene como productos finales biogás y digesta.
- **Botadero a cielo abierto:** Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma no controlada sin recibir ningún tipo de tratamiento sanitario.
- **Eliminación:** Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008).
- **Emisión:** La expulsión a la atmósfera, al agua o al suelo de sustancias, vibraciones, calor o ruido procedentes de forma directa o indirecta de fuentes puntuales o difusas de una instalación (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).
- **FORSU:** Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos obtenida a través de un sistema de pretratamiento de separación mecánica.
- **Gate fee:** La tasa de tratamiento de residuos que percibe el explotador de una instalación de tratamiento por tonelada de residuos que ingresa.
- **Instalación de combustión o incineración de residuos:** Cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos con recuperación del calor producido por la combustión o sin recuperación, mediante la incineración por oxidación de residuos, así como otros procesos de tratamiento térmico, como pirólisis, gasificación y proceso de plasma si las sustancias resultantes del tratamiento se incineran a continuación (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).
- **Poder calorífico:** La cantidad de calor producida cuando una cantidad de masa de un material (usualmente un combustible) sufre una combustión completa bajo ciertas condiciones específicas. Es presentada usualmente en términos de kilojulios por kilogramo (kJ/kg) para combustibles líquidos y sólidos, y kilojulios por metro cúbico (kJ/m<sup>3</sup>) para gases (ISWA, 1992).
- **Productor o generador de residuos:** Cualquier persona cuya actividad produzca residuos (productor inicial de residuos) o cualquier persona que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo, que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de esos residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008).
- **Reciclaje:** La reutilización de los materiales, no necesariamente en su forma original; el reingreso a una línea de producción, donde se procesan los residuos como materia prima para la corriente principal del proceso (reciclaje directo). El compostaje o la digestión anaerobia es una forma de reciclado de la fracción orgánica. La transformación de residuos en energía (reciclaje indirecto); la separación de materiales en la fuente, su recolección y transporte, donde aplique, son actividades consideradas como parte del proceso de reciclaje (ISWA, 1992).
- **Reciclador de oficio:** Trabajador que desempeña el oficio de recolectar, seleccionar y recuperar residuos sólidos, generando ingresos por la venta del material recuperado (Red LACRE, 2013).

- **Recuperación:** A los fines de este documento, sinónimo de valorización.
- **Relleno sanitario:** Infraestructura/técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos. Comprende el esparcimiento, el acomodo y la compactación de los residuos sobre un lecho impermeable con canales de drenaje, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el 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 cuenta con proyecto de ingeniería y control de ingreso. No existen segregadores en el sitio.
- **Residuos sólidos urbanos (RSU):** Los residuos sólidos urbanos o municipales son los residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyen los residuos de origen domiciliario, comercial, industrial no peligroso, de servicios, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.
- **Responsabilidad extendida del productor:** Instrumento que obliga a los fabricantes e importadores de ciertos productos de consumo masivo a organizar, desarrollar y/o financiar la gestión integral de los residuos derivados de sus productos, una vez que el consumidor final los desecha.
- **Reutilización:** El uso directo de un material más de una vez para el mismo propósito para el que fue diseñado originalmente o el uso de un material en su forma original para un propósito diferente del que tuvo al ser diseñado.
- **Técnica emergente:** Una técnica novedosa para una actividad industrial que si se desarrolla comercialmente puede aportar un nivel igual o mayor de protección del medioambiente que el que se obtendría con las mejores técnicas disponibles actuales e, incluso, generar ahorros de costos superiores (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).
- **Tecnología probada:** Un concepto que define el grado de preparación de una tecnología. Su principal propósito es ayudar a la toma de decisiones en lo relativo al desarrollo de diferentes tecnologías, así como la transición hacia ellas, y prevenir los riesgos de su implementación (NCBI, 2014).
- **Tratamiento:** Cualquier método, técnica o proceso diseñados para cambiar las características o composiciones físicas, químicas y biológicas de un residuo con el fin de neutralizarlo, para recuperar energía o materiales de los residuos, para llevar los residuos a un estado de menor o nula peligrosidad y hacerlos más seguros de transportar, almacenar o disponer; para volverlo más manejable para la recuperación de materiales, para almacenarlo o reducirlo en volumen (ISWA, 1992).
- **Valores límites de emisión:** La concentración de determinados parámetros específicos, cuyo valor no debe ser superado dentro de uno o varios períodos establecidos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).
- **Valorización:** Incluye el reciclado, el nuevo uso, la recuperación de los residuos o cualquier otra acción destinada a obtener materias primas secundarias o a la utilización de los residuos como fuente de energía.
- **Vertedero controlado:** Lugar para la disposición final de los residuos sólidos que, aunque no tiene la infraestructura propia de un relleno sanitario, cuenta con algunas medidas de control.



# REFERENCIAS

- Accenture. 2013. Caracterización del sector informal del reciclaje en América Latina y el Caribe. Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. Washington, D.C.: FOMIN. Disponible en: <https://latitudr.org/wp-content/uploads/2014/08/reciclajeinclusivo-inf-0411-131021125548-phpapp01.pdf>.
- Alarcón, P., M. Correal, F. Villegas, D. Revollo, A. Laguna y S. Acosta. 2017. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos. Programa de aprovechamiento energético de residuos urbanos. Ciudad de México: GIZ.
- ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia). 2018. Colombia: Balance 2018 y Perspectivas 2019. Bogotá: ANDI.
- Banco Mundial. 2004. *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.: Banco Mundial, ESMAP.
- . 2011. Viability of Current and Emerging Technologies for Domestic Solid Waste Treatment and Disposal: Implications on Dioxins and Furan Emissions. Washington D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12803>.
- . 2017. Shadow price of carbon in economic analysis. Cover Note. Washington D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/621721519940107694/pdf/2017-Shadow-Price-of-Carbon-Guidance-Note.pdf>.
- . 2018. What a waste 2.0. A global snapshot of solid waste management to 2050. Washington D.C.: Banco Mundial.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2017. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico. Washington, D.C.: BID.
- BID, AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental) y OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2010. Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y Caribe. Washington, D.C.: BID.
- CAR (Corporación Autónoma Regional) de Cundinamarca. 2014. Resolución N.º 1351 de 18 de junio de 2014. Bogotá: CAR. Disponible en: [http://www.uaesp.gov.co/images/LICENCIA\\_CAR\\_1351.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/LICENCIA_CAR_1351.pdf).
- CNREC (China National Renewable Energy Centre). 2014. China Renewable Energy Technology Catalogue. Beijing: Beijing Rightsky International Information Consulting Co., Ltd.
- Colturato, L. F. 2021. Entrevista sobre técnicas de tratamiento y valorización de residuos sólidos. Entrevista realizada por M. Correal.
- Comisión Europea. s.f. What is Horizon 2020? Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/what-horizon-2020>.
- . 2006. Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-03/superseded\\_wt\\_bref\\_0806.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-03/superseded_wt_bref_0806.pdf).
- . 2007. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (Integrated Pollution Prevention and Control). Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52007PC0844>.
- . 2014. Horizon 2020: Work Programme 2014-2015, General Annexes. Extract from Part 19 Commission Decision C(2014)4995. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-g-trl_en.pdf).

- . 2017a. Decisión de ejecución (UE) 2017/1442 de la Comisión de 31 de julio de 2017 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo para las grandes instalaciones de combustión. Diario Oficial de la Unión Europea. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32017D1442>.
- . 2017b. Horizon 2020. Work Programme 2016-2017; 20. General Annexes. European Commission Decision c(2017)2468. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-sections>.
- . 2018. Decisión de ejecución (UE) 2018/1147 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos, de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32018D1147>.
- . 2019a. El pacto verde europeo. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_es](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es).
- . 2019b. Decisión de ejecución (UE) 2019/2010 de la Comisión de 12 de noviembre de 2019 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, para la incineración de residuos. Diario Oficial de la Unión Europea. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2019.312.01.0055.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.312.01.0055.01.ENG).
- Conestoga-Rovers y Associates. 2004. Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. Energy Sector Management Assistance Programme paper series. Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/954761468011430611/Handbook-for-the-preparation-of-landfill-gas-to-energy-projects-in-Latin-America-and-the-Caribbean>.
- CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social). 2001. Política de manejo de riesgo contractual del Estado para procesos de participación privada en infraestructura. Documento CONPES 3107. Bogotá: DNP. Disponible en: [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/conpes\\_3107.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/conpes_3107.pdf).
- . 2016. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos - Documento CONPES 3874. Bogotá: DNP. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>.
- Consejo de la Unión Europea. 1996. Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. Bruselas: Consejo de la Unión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/ALL/?uri=CELEX:31996L0061>.
- . 1999. Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. Diario Oficial N.º L 182 de 16/07/1999 p. 0001-0019. Bruselas: Consejo de la Unión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:31999L0031>.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 1998. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de envases de vidrio. GTC 53-3:1998. Bogotá: CONTEC.
- . 1999a. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos metálicos. GTC 53-5:1999. Bogotá: CONTEC.
- . 1999b. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía del aprovechamiento de residuos de papel y cartón compuestos con otros materiales. GTC 53-6:1999. Bogotá: CONTEC.
- . 2003. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el reciclaje de papel y cartón. GTC 53-4:2003. Bogotá: CONTEC.
- . 2004. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos. GTC 53-2:2004. Bogotá: CONTEC.
- . 2006. Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos. GTC 53-7:2006. Bogotá: CONTEC.

- . 2009. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente. GTC 24:2009. Bogotá: CONTEC.
- . 2011. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167:2011. Bogotá: CONTEC.
- . 2012. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas. NTC 1927:2012. Bogotá: CONTEC.
- Correal, M. C. 2014. Colombia: Desarrollo económico reciente en infraestructura. Preparación de la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Infraestructura.
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs). 2013. Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste. Londres: DEFRA. Disponible en: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221039/pb13890-treatment-solid-waste.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221039/pb13890-treatment-solid-waste.pdf).
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). 2011. Desempeño integral. Recuperado en marzo de 2019, de Medición de Desempeño Municipal. Bogotá: DNP. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Estudios-Territoriales/Indicadores-y-Mediciones/Paginas/desempeno-integral.aspx>.
- . 2013. Abecé de las asociaciones público-privadas. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá: DNP.
- . 2014. Nota Técnica 5: Descripción de los productos a entregar por parte de los estructuradores en la etapa de factibilidad del proyecto para la realización de las justificaciones del proyecto. Bogotá: DNP. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Participacion%20privada%20en%20proyectos%20de%20infraestructu/Nota%20T%C3%A9cnica%205.pdf>.
- . 2015. Tipologías departamentales y municipales: una propuesta para comprender las entidades territoriales colombianas. Bogotá: DNP. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/2015may28%20Tipologias.pdf>.
- DNV GL y MAG Consultoría. 2016. Estudio de técnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos: Propuesta de ajuste al Decreto 1077 de 2015. Bogotá: DNV GL y MAG Consultoría.
- D-Waste. 2013. Waste Atlas 2013 Report. Atenas: D-Waste Environmental Consultants. Disponible en: <http://www.atlas.d-waste.com/Documents/WASTE%20ATLAS%202013%20REPORT.pdf>.
- . 2017. Avances y desafíos para el reciclaje inclusivo: evaluación de 12 ciudades de América Latina y el Caribe. Nueva York: EIU. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13984/avances-y-desafios-para-el-reciclaje-inclusivo-evaluacion-de-12-ciudades-de>.
- European Environmental Bureau. s.f. The European Industrial Production Information Exchange. (EEB, Productor) Información de The Sevilla Process y BREF. Bruselas: European Environmental Bureau. Disponible en: <http://www.eipie.eu/the-sevilla-process>.
- Eurostat (Oficina Europea de Estadística). 2008. Municipal waste by waste management operations [env\_wasmun]. Luxemburgo: Eurostat. Disponible en: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en).
- . 2018. Municipal waste by waste management operations [env\_wasmun]. Luxemburgo: Eurostat. Disponible en: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en).
- GIZ (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional). s.f. Instrumentos económicos en el sector de la gestión de residuos: Experiencias de países de la OCDE y de América Latina. Eschborn: GIZ.
- . 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. Eschborn: GIZ. Disponible en: <https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf>.
- Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente. s.f. Proyectos. Ciudad de México: Gobierno del Estado de México. Disponible en: <http://sma.edomex.gob.mx/proyectos>.

- Héder, M. 2017. From NASA to EU: the Evolution of the TRL Scale in Public Sector Innovation. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 22(3): 23.
- Hevron Group. 2018. Manejo de desechos orgánicos. Bogotá: Hevron Group.
- IDOM (Ingeniería y Dirección de Obras y Montaje). 2020. Estudio de Ingeniería de Detalle (Proyecto Ejecutivo) para la construcción de la Planta de Biodigestión para el Municipio de Xalapa, Veracruz. Informe realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo en el marco del proyecto Biodigestor para el sistema de gestión de residuos sólidos de Xalapa (GRT/FM-16409-ME). Bilbao: IDOM.
- INVENT. 2009. Innovative Education Modules and Tools for the Environmental Sector, particularly in Integrated Waste Management. Bremen: INVENT.
- ISWA (International Solid Waste Association). 1992. 1000 Terms in Solid Waste Management. Editado por John Skitt. Copenhagen: ISWA.
- . 2012. Waste to Energy. State of the Art Report. 6th Edition. I Working Group on Energy Recovery de ISWA. Copenhagen: ISWA.
- . 2013a. White Paper on Alternative Waste Conversion Technologies. Reporte preparado por Lamers, F., Fleck, E., Pelloni, L. y B. Kamuk del Working Group Energy Recovery de ISWA. Copenhagen: ISWA.
- . 2013b. ISWA Guidelines: Waste to Energy in Low and Middle Income Countries. Reporte preparado por Kamuk, B., y J. Haukohl del Working Group Energy Recovery de ISWA. Copenhagen: ISWA.
- Kaza, S., L. C. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Colección Desarrollo Urbano. Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- Kojima, M. 2017. Comparative study of EPR system in different countries and EPR manual developed by EWG on ESM. Workshop 2017 of the Asian Network for Prevention of Illegal Transboundary Movement of Hazardous Wastes. Hanoi, Vietnam.
- Lamers, F. 2019. Consideraciones sobre tecnologías probadas. Entrevista realizada por F. Puentes.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2010. Decreto 2820 por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá: MADS. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_2820\\_2010.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2820_2010.pdf).
- Mag Consultoría y Arcadis. 2018. Diversificación tecnológica en relleno sanitario Doña Juana. Bogotá: MAG Consultoría y Arcadis.
- Mankins, J. 1995. Technology Readiness Levels. A White Paper. Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology. Washington, D.C.: NASA.
- MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). 2015. Decreto 1077 de 2015 por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Bogotá: MVCT. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>.
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). 2014. Technology Readiness Levels in the Department of Defense. En: Technologies to Enable Autonomous Detection for BioWatch: Ensuring Timely and Accurate Information for Public Health Officials: Workshop Summary. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201356/>.
- Neuwahl, F., G. Cusano, J. Gómez Benavides, S. Holbrook y S. Roudier. 2019. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118637>.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). 2007. Guidance Manual on Environmentally Sound Management of Waste. París: OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264042049-en>.

- . 2016. Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management. París: OCDE. Disponible en: <https://www.oecd.org/development/extended-producer-responsibility-9789264256385-en.htm>.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015. Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Nueva York, NY: ONU. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- ONU-HABITAT (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos). 2010. Solid Waste Management in the World's Cities. Water and Sanitation in the World's Cities 2010. Londres y Washington, D.C.: Earthscan. Disponible en: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/02/solid\\_waste\\_management\\_in\\_the\\_worlds\\_cities\\_water\\_and\\_sanitation\\_in\\_the\\_worlds\\_cities\\_2010.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/02/solid_waste_management_in_the_worlds_cities_water_and_sanitation_in_the_worlds_cities_2010.pdf).
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 1994. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. Estrasburgo: Parlamento Europeo. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex:31994L0062>.
- . 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). Diario Oficial de la Unión Europea. 22.11.2008. Estrasburgo: Parlamento Europeo. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32008L0098>.
- . 2010. Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Estrasburgo: Parlamento Europeo. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex:32010L0075>.
- Pinasseau, A., B. Zerger, J. Roth, M. Canova y S. Roudier. 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113018>.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2016. GEO-6 Regional Assessment for Latin America and the Caribbean. Nairobi: PNUMA. Disponible en: <https://www.unep.org/global-environment-outlook/findings-and-data/assessment-findings/geo-6-regional-summary-latin>.
- . 2018. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y Caribe. Resumen para tomadores de decisiones. Ciudad de Panamá: UNEP, Oficina para América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26448>.
- Popov V., Itoh H., Mander U. y C. A. Brebbia (Eds). 2010. *Waste management and the environment* V. (Vol. 140. Southampton, UK: WIT press.
- Quicker, P., F. Neuerburg, Y. Noël, A. Huras, R. G. Eyssen, H. Seifert, J. Vehlow y K. Thomé-Kozmiensky. 2015. Status of alternative techniques for thermal waste treatment. Final Report. Project N.º Z 6 - 30 345/18 Report N.º 29217. París: CLimate and Clean Air Coalition. Disponible en: <https://www.waste.ccacoalition.org/document/status-alternative-techniques-thermal-waste-treatment>.
- Red LACRE (Red Latinoamericana de Recicladores). 2013. Brochure Red LACRE. Disponible en: <https://www.redrecicladores.net/>.
- Reichenbach, J. 2008. Status and prospects of pay-as-you-throw in Europe - A review of pilot research and implementation studies. *Waste Management*, Vol. 28(12): 2809-2814.
- Rodríguez Becerra, M. y G. Espinoza. 2002. Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: Evolución, tendencias y principales prácticas. Washington, D.C.: BID.
- Saaty, T. L. 2000. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchical Process*. Series, Vol. VI. Pittsburgh: RWS Publications.
- SDP (Secretaría Distrital de Planeación). 2018. Análisis demográfico y proyecciones poblacionales de Bogotá. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Planeación.



- SMV (Servicios Medioambientales de Valencia). 2018. La valorización de residuos: tipos y beneficios. Sección de noticias de la página web de SMV, 31 de enero de 2018. Disponible en: <https://www.smv.es/la-valorizacion-residuos-tipos-beneficios/>.
- SSPD (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios). 2016. Disposición final de residuos sólidos. Informe Nacional 2016. Bogotá: SSPD. Disponible en: <https://www.superservicios.gov.co/publicaciones/acueducto-alcantarillado-y-aseo/disposicion-final-de-residuos-solidos-informe-nacional>.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen y S. Vigil. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. En: G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil y A. García Brage (eds.), *Gestión integral de residuos sólidos* (Vol. 1: 3). Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. 2013. Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Implementation Guide. Revision 1. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy Office of Environmental Management.
- Vives, A., A. Paris, J. Benavides, P. Raymond, D. Quiroga y J. Marcus. 2007. Estructuración financiera de proyectos de infraestructura en asociaciones público-privadas: Una aplicación a proyectos de agua y saneamiento. Washington D.C.: BID.
- Wang, C. y Z. Darendeliler. 2013. Conducting Social Assessments in Urban Solid Waste Management Projects. Documento de trabajo 81989. Social Development Series. Washington D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/228081468326382725/Conducting-social-assessments-in-urban-solid-waste-management-projects>.
- Wilson, D., L. Rodic-Wiersma, P. Modak, R. Soós, A. Rogero, C. Velis, M. Iyer y O. Simonett. 2015. *Global Waste Management Outlook*. Nueva York, NY: UNEP. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>.

# ANEXOS

## Ficha técnica 1: Tratamiento mecánico

La separación y clasificación de los residuos puede realizarse tanto de forma manual como en plantas de recuperación de materiales (MRF, por sus siglas en inglés).<sup>23</sup> La **separación manual** tiene lugar en instalaciones donde los operarios realizan un control selectivo, lo cual permite incrementar la calidad de los materiales separados.

Por su parte, las **MRF** son instalaciones que utilizan alta intensidad mecánica, a través del uso de diferentes unidades de separación, procesamiento y transformación de materiales. Cada una de las unidades aprovecha las características físicas (diámetro, densidad, color, etc.) o químicas de los materiales para clasificarlos por tipo, teniendo en cuenta la clase de material que se va a recuperar y la calidad deseada, los materiales que ingresan y salen durante el proceso y las características requeridas una vez finalizado el proceso. Una de las principales ventajas de esta técnica es la eficiencia en la recuperación de materiales. Actualmente, las plantas de separación se emplean en algunos casos para residuos mezclados no separados en la fuente, así como para separación de envases, fracciones orgánicas y otras fracciones separadas en la fuente.

GRUPO DE TECNOLOGÍA      TRATAMIENTO MECÁNICO	
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 20 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	> 600 (por ejemplo: Bollegraf MRF New York City: 70 - 200 ton./hora).
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	>8.500 h/año.
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS	
Porcentaje de desviación de residuos:	Depende de la composición de los residuos y si vienen separados de la fuente. Si se fabrica CDR, la desviación puede ser de hasta el 70%.
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL	
Salidas del proceso:	Materiales reciclables, CDR, fracción orgánica destinada a tratamiento biológico. Residuos de rechazo que deben ir a disposición final o tratamiento.
Uso del suelo:	Definir las condiciones legales para el uso del suelo que permitan la instalación de esta tecnología.
Requerimiento en área:	0,30 m <sup>2</sup> /TPA.

<sup>23</sup> En algunas ciudades de ALC, la separación manual es realizada por recicladores de oficio, quienes recuperan los residuos, principalmente domésticos, en la fuente, en el punto de generación. Una vez clasificados, los materiales son recolectados y transportados a centros de acopio donde son comercializados.



GRUPO DE TECNOLOGÍA		TRATAMIENTO MECÁNICO
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Mediana.	
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado y capacitado para el manejo de maquinaria y la clasificación de residuos.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Ninguno.	
Requisitos de funcionamiento:	Sistema de recolección de residuos separados en la fuente para garantizar la calidad de los reciclables, mercado para los reciclables.	
CRITERIO 5: COSTOS		
Inversión (CAPEX):	US\$70/TPA - US\$75/TPA.	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	US\$35/Ton. - US\$38/Ton.	
Vida útil (años):	20 años.	
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	Manual: 1.500 TPA o menos. Semimecanizado (con bandas transportadoras y equipos de pesaje y compactación principalmente): Entre 1.500 TPA y 40.000 TPA. Mecanizado (con bandas transportadoras, equipos de pesaje, separación y embalaje): 40.000 TPA o más.	
Tecnología modular:	Sí.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Entradas (insumos requeridos):	Residuos para tratar.	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Depende de la composición de los residuos que ingresan a la planta y si estos vienen separados de la fuente. Rechazos: 0,4 ton./ton. residuos inorgánicos separados.	
Energía:	Consumo de electricidad: 15 kWh/ton. - 20 kWh/ton. de residuos. Consumo de combustible: 8 kWh/ton. - 10 kWh/ton. de residuos. Generación: n/a.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Afectación ambiental por olores, ruido o contaminación visual.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	Los recicladores pueden ser integrados en el proceso de caracterización de los residuos.	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA		
Legislación y regulación de soporte:	Legislación que autorice y reglamente la implementación de sistemas mecanizados de separación de residuos.	
Mercado para subproductos:	Puede crearse o fortalecerse el mercado de los materiales clasificados.	
Inversiones en investigación y desarrollo:	El Estado y el sector privado deben hacer inversiones.	
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ventajas:</b> Recuperación de materiales y reciclaje, alta desviación de residuos que favorece el valor económico de materiales aprovechables.</li><li>• <b>Desventajas:</b> Varios procesos de tratamiento de residuos, los productos pueden no tener un mercado.</li></ul>	

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## Ficha técnica 2: Tratamiento biológico - Digestión anaerobia

La **digestión anaerobia**, también conocida como **metanización, biodigestión o producción de biogás**, es un proceso controlado de descomposición de los residuos en condiciones en las que no hay presencia de oxígeno, a temperaturas adecuadas para la fase anaeróbica mesófila (40°C) o termófila (55°C) de origen natural y con especies de bacterias facultativas que convierten materia orgánica degradable en biogás y lodos (digesta). La digestión puede ser de tipo seca cuando el digestor contiene entre el 15% y el 40% de material seco, y húmeda cuando el contenido seco es inferior al 15% (Pinasseau et al., 2018).

GRUPO DE TECNOLOGÍA DIGESTIÓN ANAEROBIA	
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 25 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	> 120 instalaciones centralizadas de la fracción orgánica de residuos municipales. Existen además más de 2.500 instalaciones individuales en granjas o sitios similares (Pinasseau et al., 2018).
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	>8.000 h/año.
Principales indicadores de desempeño (si están disponibles):	25 - 30 días (tiempo de residencia del material orgánico para su descomposición).
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS	
Porcentaje de desviación de residuos:	Si la fracción sólida de la digesta se utiliza como compost, el residuo que va al relleno sanitario se reduce entre un 50% y un 60%; de lo contrario, disminuye entre un 33% y un 38% (Colturato, 2021).
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL	
Salidas del proceso:	Digesta, agua residual y biogás.
	Rechazos/material no compostable: aprox. 0,2 ton./ton. RSU tratados.
Uso del suelo:	Definir las condiciones legales que permitan la instalación de esta tecnología.
Requerimiento en área:	0,10 m <sup>2</sup> /TPA - 0,25 m <sup>2</sup> /TPA.

GRUPO DE TECNOLOGÍA DIGESTIÓN ANAEROBIA	
<b>CRITERIO 4: COMPLEJIDAD</b>	
<b>Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:</b>	<p>Complejidad: Mediana-alta.</p> <p>Condiciones técnicas: La recolección requiere separación de los residuos en la fuente, temperatura estable para las condiciones óptimas de descomposición y generación de biogás.</p> <p>Los digestores de vía seca de flujo pistón pueden tratar la FORSU obtenida a partir de la separación de la fracción orgánica contenida en los RSU sin selección en la fuente. La obtención de la FORSU a partir de RSU se realiza con una línea de pretratamiento que se compone de una cabina de selección manual de objetos voluminosos, un equipo abrebolsas, un trommel con criba de 80 m/m y un separador magnético. En algunos casos se incluye también un separador balístico de impropios pesados. La fracción que se obtiene es la FORSU con que se alimenta a los digestores de vía seca que admiten hasta un 7% - 8% de impropios pesados (vidrio, cerámica, arena, etc.).</p>
<b>Personal (calificado, no calificado):</b>	Personal calificado para la operación de la maquinaria y realización de monitoreos, y personal no calificado para procesar la materia prima.
<b>Requerimientos de monitoreo y laboratorio:</b>	Tasa de producción de biogás, la temperatura de la materia prima, el pH, la relación C/N, la composición del biogás ( $\text{CH}_4$ , $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ , $\text{O}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$ ), medidos en continuo el contenido de $\text{NH}_3$ - $\text{NH}_4$ y contenido en ácidos grasos.
<b>Condiciones para la implementación exitosa de la tecnología:</b>	<p>Tarifa suficientemente alta para la electricidad generada a partir del biogás.</p> <p>Incorporación del biogás como fuente de energía no convencional dentro del mercado energético.</p> <p>Incentivo para el uso del biometano.</p>
<b>CRITERIO 5: COSTOS</b>	
<b>Inversión (CAPEX):</b>	Entre US\$140/TPA – US\$250/TPA, según escala del proyecto.
<b>Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):</b>	Entre US\$20/Ton. – US\$60/Ton (Kaza et al., 2018).
<b>Vida útil (años):</b>	25 años (con mantenimiento adecuado).
<b>CRITERIO 6: ESCALA</b>	
<b>Capacidad:</b>	20.000 TPA - 240.000 TPA (Banco Mundial, 2011).
<b>Tecnología modular:</b>	Sí.
<b>CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA</b>	
<b>Entradas (insumos requeridos):</b>	Agua: ~0,1 ton./ton. de residuos orgánicos separados en la fuente.
<b>Salidas del proceso:</b>	Biogás: 80 $\text{Nm}^3$ /ton. - 120 $\text{Nm}^3$ /ton. de residuos orgánicos ingresados (Pinasseau et al., 2018).
	Digesta: 0,4 ton./ton. de residuos orgánicos.
	Agua residual: entre 0,1 ton./ton. de residuos orgánicos y 0,5 ton./ton. de residuos orgánicos, según la tecnología.
	Emisiones fugitivas de $\text{CH}_4$ : ~0-411 g/ton. de residuos orgánicos separados en la fuente.
<b>Energía:</b>	Consumo de energía térmica: 20 kWh/ton. - 120 kWh/ton. de residuos orgánicos.
	Consumo de energía eléctrica: 20 kWh/ton. - 55 kWh/ton. de residuos orgánicos, aproximadamente el 15% de la energía producida.
	Generación de electricidad: 200 kWh/ton. - 250 kWh/ton. de residuos orgánicos.
	Generación de calor: 200 kWh/ton. - 250 kWh/ton. de residuos orgánicos.
<b>CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL</b>	
<b>Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:</b>	Impacto por olores. El proceso en sí mismo no genera olores, estos se producen en la zona de recepción y alimentación, así como en la nave de deshidratación de la digesta, por lo cual hay que incluir siempre un sistema de tratamiento de aire de estas dos zonas con un biofiltro final. Afectación ambiental positiva por reducción de emisiones.

GRUPO DE TECNOLOGÍA DIGESTIÓN ANAEROBIA	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES	
Conflictos de interés:	Actividad complementaria y no sustituta de tratamiento para la fracción inorgánica.
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA	
Legislación y regulación de soporte:	Generar/fortalecer la legislación que permita la implementación de esta técnica para el tratamiento de residuos.
Mercado para subproductos:	Participación del biogás en el mercado energético como fuente alternativa de energía.
Inversiones en investigación y desarrollo:	El Estado y el sector privado deben invertir.
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ventajas:</b> Un 25% de reducción de la cantidad de residuos que llega al relleno sanitario; generación de ~100-200 kWh/ton. neta de electricidad.</li> <li>• <b>Desventajas:</b> Tecnología compleja; se requiere la separación y el pretratamiento de la fracción orgánica; postratamiento de los residuos (separación de agua, estabilización de los residuos); altos costos de inversión y operación.</li> </ul>

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).  
 FORSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

## Ficha técnica 3: Tratamiento biológico - Compostaje

Los residuos destinados al compostaje son, preferiblemente, aquellos provenientes de **desperdicios de alimentos o actividades de poda, corte de césped o jardinería**, los cuales están compuestos sobre todo por material orgánico. Además, deben tener bajas concentraciones contaminantes o escasa presencia de materiales de otras características. Esta técnica también se utiliza para **estabilizar lodos provenientes de la digestión anaerobia**, reducir la presencia de patógenos, atenuar olores o menguar su potencial de descomposición.

Los sistemas de **compostaje cerrado** (*in vessel*) o en biorreactor se llevan a cabo en instalaciones donde la materia orgánica se dispone en un ambiente cerrado, con técnicas de aireación y/o mezcla y control de la temperatura y humedad. Una buena mezcla se garantiza al triturar los residuos de forma previa a su tratamiento, y moviendo la pila de forma manual o mecánica. La aireación se logra mediante sopladores y/o succión de aire a través de un piso de rejilla perforada o canales especiales de aireación en el suelo del túnel. El contenido de humedad debe ser equilibrado alimentando las pilas con aserrín u otros elementos secos que eviten la generación de condiciones anaerobias y la proliferación de malos olores (Pinasseau et al., 2018). Actualmente el compostaje con membranas semipermeables se utiliza como forma de compostaje *in vessel*.

GRUPO DE TECNOLOGÍA	COMPOSTAJE
<b>CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS</b>	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 25 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	Existen en operación más de 3.500 instalaciones de compostaje para residuos de jardinería (verdes) o residuos orgánicos domiciliarios (Pinasseau et al., 2018). Ejemplos: Wilp, Países Bajos (225.000 TPA); CEAMSE, Argentina (25.000 TPA); GS Brothers, Estados Unidos (220.000 TPA); Sutton Courtenay Compost Facility, Reino Unido (190.000 TPA).
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	>8.500 h/año.
<b>CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS</b>	
Porcentaje de desviación de residuos:	Si se aprovecha el compost, la cantidad de residuos destinados al relleno sanitario se reduce entre un 25% y un 40%.
<b>CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL</b>	
Salidas del proceso:	Compost, lixiviado, emisiones ( $\text{CH}_4$ , $\text{NH}_3$ , $\text{N}_2\text{O}$ , COV, $\text{CO}_2$ ). Rechazos/material no compostable: aprox. 0,2 ton./ton. que ingresa - 0,5 ton./ton. que ingresa.
Uso del suelo:	Ordenamiento territorial: suelo rural.
Requerimiento en área:	Cerrado: 0,1 - 0,4 m <sup>2</sup> /TPA de residuos orgánicos. Con aireación forzada: 0,4- 0,5 m <sup>2</sup> /TPA de residuos orgánicos. Pilas Estáticas: 0,6 - 1,0 m <sup>2</sup> /TPA de residuos orgánicos. Tchobanoglous, Theisen y Vigil (1994).

GRUPO DE TECNOLOGÍA		COMPOSTAJE
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Complejidad: Baja-media. Condiciones técnicas: Separación y pretratamiento de la fracción orgánica. El contenido de humedad de los residuos debe estar entre el 45% y el 60%.	
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado para la operación de la maquinaria y la realización de monitoreos de temperatura y humedad.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Temperatura, humedad, pH, relación C/N, porosidad (tamaño de la partícula).	
Condiciones para la implementación exitosa de la tecnología:	Mercado para el compost/posibilidades para certificar el compost.	
CRITERIO 5: COSTOS		
Inversión (CAPEX):	Entre US\$75/TPA – US\$80/TPA.	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	Entre US\$40/Ton. - US\$45/Ton.	
Vida útil (años):	20 años.	
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	1.000 TPA - 200.000 TPA.	
Tecnología modular:	Sí.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Entradas (insumos requeridos):	Agua: 0,14 m³/ton. - 0,33 m³/ton. de residuos orgánicos.	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Emisiones: 816 g – 1.132 g de CH₄/ton. de residuos orgánicos; 371 g NH₃/ton. de residuos orgánicos; 0,150 kg N₂O/ton. de residuos orgánicos.	
	Compost: 0,2 ton./ton. de residuos orgánicos - 0,5 ton./ton. de residuos orgánicos.	
	Lixiviado: ~0,03 m³/ton. de residuos - 0,1 m³/ton. de residuos.	
	Rechazos/material no compostable: aprox. 0,1 ton./ton. de residuos orgánicos separados en su origen.	
Combustible:	Consumo de combustibles: 20,6 kWh/ton. de residuos orgánicos separados en la fuente.	
Energía:	Consumo de electricidad: 8,4 kWh/ton. de residuos orgánicos separados en su origen.	
	Generación: n/a.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Afectación ambiental por olores, contaminación visual o ruido.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	Actividad complementaria y no sustituta de sus actividades; posibilidad de emplear recicladores directamente en la planta de tratamiento para la clasificación de residuos.	

GRUPO DE TECNOLOGÍA	COMPOSTAJE
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA	
Legislación y regulación de soporte:	Generar/fortalecer la legislación que permita la implementación de esta técnica para el tratamiento de residuos y comercialización de compost.
Mercado para subproductos:	Mercado incipiente para los subproductos.
Inversiones en investigación y desarrollo:	Se deben hacer inversiones estatales y privadas.
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ventajas:</b> Proceso relativamente simple y robusto; reducción significativa en el volumen de los residuos; menor duración del proceso y menos requisitos de espacio en comparación con el compostaje al aire libre; un mejor control sobre el proceso; menos emisiones.</li> <li>• <b>Desventajas:</b> Mayores costos de tratamiento en comparación con el compostaje al aire libre; el mercado para el compost debe desarrollarse.</li> </ul>

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).

CEAMSE: Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado.



## Ficha técnica 4: Tratamiento biológico - Tratamiento térmico intensivo

Tecnología patentada para el tratamiento de la materia orgánica, cuyo funcionamiento está basado en la deshidratación de los residuos que se van a tratar mediante la aplicación de microondas que secan y reducen el volumen del material introducido hasta en un 90%. Este tratamiento presenta ventajas como las siguientes: i) los tiempos de tratamiento no superan las 24 horas, ii) el espacio ocupado por el reactor es mínimo, iii) no genera olores, iv) no libera metano y v) sus productos pueden ser utilizados como abono orgánico.

GRUPO DE TECNOLOGÍA		TRATAMIENTO TÉRMICO ACELERADO
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS		
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología emergente.	
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.	
Años de utilización comprobada:	5 años.	
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	Hay alrededor de 100 equipos operando en Europa y existen otros operando en Australia, Estados Unidos, Honduras, Irlanda, Japón, Noruega y República de Corea.	
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	8.400 h/año.	
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS		
Porcentaje de desviación de residuos:	Si se aprovecha el compost, la cantidad de residuos destinados al relleno sanitario se reduce alrededor del 52% debido al completo aprovechamiento de la fracción orgánica.	
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL		
Salidas del proceso:	Compost.	
	Agua limpia para reutilizar en riego, lavado o actividades afines.	
Requerimiento en área:	2 m²/unidad.	
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Complejidad: Baja o nula. Condiciones técnicas: Separación previa de la fracción orgánica.	
Personal (calificado, no calificado):	Personal capacitado para la operación del equipo.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Ninguno. La tecnología opera de forma automática.	
CRITERIO 5: COSTOS		
Inversión (CAPEX):	US\$282,5/TPA.	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	US\$1.000 – US\$2.500 por año para un equipo que trata 500 kg de residuos por cada ciclo.	
Vida útil (años):	15 años.	

GRUPO DE TECNOLOGÍA		TRATAMIENTO TÉRMICO ACELERADO
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	36 TPA - 602 TPA.	
Tecnología modular:	No.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Entradas (insumos requeridos):	Residuos orgánicos.	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Agua: 1.200 l/ton. de residuos orgánicos.	
	Compost: 0,1 ton./ton. de residuos orgánicos.	
	Rechazos: 0 ton./ton. de residuos orgánicos separados en la fuente.	
Combustible:	Consumo de combustibles: 20,6 kWh/ton. de residuos orgánicos separados en la fuente.	
Energía:	Consumo de electricidad: 11 kWh/ton. de residuos orgánicos separados en su origen.	
	Generación: n/a.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Aprovechamiento total de la fracción orgánica.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	Actividad complementaria de la gestión integral de residuos sólidos; posibilidad de emplear recicladores directamente en la planta de tratamiento para la clasificación de residuos.	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA		
Legislación y regulación de soporte:	Generar/fortalecer la legislación que permita y regule la comercialización de compost.	
Mercado para subproductos:	Mercado incipiente para los subproductos.	
Inversiones en investigación y desarrollo:	No son necesarias.	
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ventajas:</b> Proceso relativamente simple y completo; reducción significativa en el volumen de los residuos; menor duración del proceso en comparación con las demás técnicas de compostaje y menos requisitos de espacio en comparación con las demás técnicas de compostaje al aire libre; control del proceso completamente automático.</li><li>• <b>Desventajas:</b> Mayores costos de tratamiento, tanto en inversión como en operación, en comparación con las demás técnicas de compostaje.</li></ul>	

Fuentes: DNV GL y MAG Consultoría (2016) y Hevron Group (2018).

## Ficha técnica 5: Tratamiento térmico - Incineración con generación de energía o sin ella

Los materiales combustibles que se encuentran en los residuos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y al entrar en contacto con oxígeno, por lo cual sufren una reacción de oxidación. La temperatura de la reacción está entre 850°C y 1.450°C, y el proceso de combustión ocurre en la fase gaseosa y sólida, liberando simultáneamente energía térmica.

Se requiere un poder calorífico mínimo de los residuos para permitir la reacción térmica en cadena y la combustión autosostenible (llamada combustión autotérmica), es decir, no hay necesidad de agregar otros combustibles. Dentro de la técnica de incineración se emplean tecnologías de hornos rotatorios (*rotary kilns*), lecho fluidizado e incineración de parrillas, siendo esta última la más usada para el tratamiento de residuos sólidos municipales mixtos (en Europa, cerca del 90% de las instalaciones es de parrillas). La tecnología de lecho fluidizado se utiliza para la combustión de CDR, el cual se prepara a través de técnicas de pretratamiento que consisten en la clasificación, el triturado (para lograr partículas de 50 mm de diámetro) y la remoción de materiales ferrosos y no ferrosos (Neuwahl et al., 2019).

GRUPO DE TECNOLOGÍA	TRATAMIENTO TÉRMICO DE INCINERACIÓN
<b>CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS</b>	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 25 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	> 500 Ejemplos: Ámsterdam, Países Bajos, 5 líneas, 1,55 millones de TPA que ingresan a la instalación para tratamiento; Rotterdam, Países Bajos, 7 líneas, 1,25 millones de TPA; London Lakeside, Inglaterra, 0,4 millones de TPA; Palm Beach, Florida, EE.UU., 1 millón de TPA; Sysav, Malmö, Suecia, 3 líneas, 400.000 TPA; Martinica, 2 líneas, 112.000 TPA.
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	>8.000 h/año.
<b>CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS</b>	
Porcentaje de desviación de residuos:	El 75% si no se reciclan las cenizas del fondo para la fabricación de materiales de construcción y el uso de los metales recuperados. El 98% si se reciclan las cenizas del fondo.
<b>CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL</b>	
Salidas del proceso (productos reciclados, residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Las cenizas del fondo, que son los desechos normales y que –dependiendo de las regulaciones locales– pueden ser utilizadas como un material especial de terraplén y como material de subbase de carreteras. Las cenizas volantes, las cuales deben ser consideradas como desechos peligrosos por el contenido de metales pesados y lixiviación. Residuos de tratamiento de gases de combustión, que son el resultado del tratamiento de los gases de combustión y pueden ser peligrosos dependiendo del tipo de tratamiento de gases de combustión (seco o húmedo).
Emisiones al aire:	Los gases deben cumplir con los requisitos más estrictos de la norma. El tratamiento siempre debe estar equipado con sistemas de control y limpieza de emisiones y gases de combustión.
Reutilización de agua y agua residual:	El agua se utiliza para la limpieza de gases de combustión (semiseco o húmedo) y para el enfriamiento de las cenizas y puede ser usado para la refrigeración. Si el agua de enfriamiento se utiliza, la temperatura de descarga puede ser limitada y puede conducir a la superación de los valores permitidos en los días muy calurosos.
Uso del suelo:	Industrial.
Requerimiento de área:	0,1 m <sup>2</sup> /TPA - 1,5 m <sup>2</sup> /TPA, según escala del proyecto.

GRUPO DE TECNOLOGÍA		TRATAMIENTO TÉRMICO DE INCINERACIÓN
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad y condiciones técnicas adicionales:	Media-alta.	
Personal (calificado, no calificado):	El personal debe estar capacitado para operar las plantas de incineración. Los operadores deben disponer de una educación técnica superior en distintas áreas del conocimiento, como ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica e ingeniería química, preferiblemente.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Medición continua de las emisiones de polvo total, TOC, HCl, HF, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO; el muestreo y la medición del contenido de aire para PCDD/F (policlorinados dibenzo-p-dioxinas y furanos) y metales pesados (Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Co, Cu, Mn, Ni). Control periódico de niveles de dioxinas y furanos en la salida de chimenea.	
Requisitos de funcionamiento:	Prehomogeneización de los residuos en la fosa de residuos; homogeneización de aire en el horno; poder calorífico de los residuos superior o igual a 7 MJ/kg; valores inferiores requieren sistemas de secado previo.	
CRITERIO 5: COSTOS		
Escala:	Escalas promedio de 60.000 TPA - 500.000 TPA; escalas eficaces por línea de 80.000 TPA - 220.000 TPA. Se considera una escala pequeña de < 60.000 TPA.	
Inversión (CAPEX):	De US\$500/TPA a US\$700/TPA.	
Vida útil (años):	20 años de vida económica; la vida técnica puede alcanzar 40 años.	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	Entre US\$65/Ton y US\$90/Ton.	
Principales indicadores de desempeño (si están disponibles):	Costos: Uso de químicos, costos de mantenimiento/tonelada, costos de tratamiento de ceniza, costos de uso interno de energía. Ingresos: Producción total de energía eléctrica, producción total de calor, rendimiento total (disponibilidad), costos operativos, <i>gate fee</i> .	
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	50.000 TPA/línea a 350.000 TPA/línea.	
Tecnología modular:	Modular, en escalas superiores (para una instalación de 300.000 toneladas como mínimo).	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Salidas del proceso (producción neta de electricidad y/o calor [kWh/ton.], productos reciclados, residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Dependiendo de la composición de los residuos, 1 tonelada de RSU puede generar 250 kg de cenizas de fondo, entre 15 Kg y 30 kg de cenizas volantes, alrededor de 40 kg de peso seco de tratamiento de gases de combustión de residuos, 20 kg de chatarra y 2 kg de metales ferrosos, dependiendo de la calidad de la entrada y de la elección de la tecnología.	
Gases de combustión:	1 tonelada de RSU genera 5.500 m³ – 6.500 m³ de gases de combustión secos.	
Agua usada y agua residual:	1 tonelada de RSU en tratamiento húmedo de gases de combustión genera 0,15 ton. - 0,3 ton. de efluentes.	
Entradas (insumos requeridos: energía, insumos químicos o biológicos, etc.):	Por lo general los productos químicos de uso por tonelada son: 22 kg de cal (servicio de limpieza en seco de los gases de combustión); 0,3 kg/tonelada de carbón activo (Hg y la eliminación de dioxinas); 5 l/tonelada solución de amoníaco (NO <sub>x</sub> para la reducción selectiva no catalítica - SNCR). Uso de agua potable: alrededor de 0,4 m³/ton. de residuos.	
Energía:	Consumo de energía. Uso de aparatos eléctricos: 10% - 15% de la producción (0,06 MWh/ton. - 0,12 MWh/ton. de residuos incinerados en un valor calorífico normal de 10 MJ/kg). Uso de combustible fósil promedio de 2 l/ton.  Generación. Red eléctrica de salida de 0,5 MWh/ton. - 0,9 MWh/ton. de residuos incinerados en un valor calorífico normal de 10 MJ/kg.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Reducción de disposición final en rellenos sanitarios; reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por descomposición de residuos; fuente alternativa de energía.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	Técnica complementaria y no sustituta de sus actividades.	

GRUPO DE TECNOLOGÍA	
TRATAMIENTO TÉRMICO DE INCINERACIÓN	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA	
Legislación y regulación de soporte:	Requerimiento de instrumentos normativos de control de emisiones, uso de suelo permitido para este tipo de instalaciones y comercialización/uso de sub-productos.
Mercado para subproductos:	Creación de un mercado para la comercialización de cenizas para la industria de la construcción. Comercialización de energía de fuentes no convencionales dentro del mercado energético.
Inversiones en investigación y desarrollo:	El Estado y la empresa privada deben invertir para desarrollar este tipo de tecnologías.
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ventajas:</b> Recuperación de energía con la posible sustitución de los combustibles fósiles; recuperación de metales; reciclaje de cenizas; reducción significativa del volumen de desechos; eliminación completa de los residuos orgánicos; fuente de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; la mayor desviación posible de residuos para disponer en relleno sanitario.</li> <li>• <b>Desventajas:</b> Costos relativamente altos; un gran esfuerzo para la gestión de la aceptación del público; requerimiento de personal especializado.</li> </ul>

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).

## Ficha técnica 6: Tratamiento térmico - Gasificación

La gasificación es la combustión parcial de sustancias orgánicas que produce gases que sirven como materia prima o como combustible (Neuwahl et al., 2019).

En Europa el tratamiento se emplea con una preparación previa del CDR, especialmente en sistemas de combustión de dos etapas (gasificación y combustión posterior de los gases producidos). Sin embargo, esta tecnología suele ofrecer menores eficiencias que la combustión directa y requiere una mayor cantidad de pasos en los que puede originarse un mayor volumen de emisiones y puede aumentar el riesgo de que la operación presente fallas.

Por otra parte, dichos residuos deben tener una alta homogeneización que permita su tratamiento, pues variaciones en su composición alteran drásticamente los gases producidos. A continuación, se presenta la ficha técnica que resume la información de esta tecnología. Los reactores de gasificación empleados son de lecho fluidizado, de flujo de corriente, de ciclón y lecho empacado (Neuwahl et al., 2019).

GRUPO DE TECNOLOGÍA		GASIFICACIÓN
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS		
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada cuando se combina con incineración o cuando sus subproductos se usan como materia prima y existe preparación previa de los residuos como CDR.	
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/ full escala:	9 - full escala.	
Años de utilización comprobada:	> 40 años.	
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	La mayoría de las instalaciones que utilizan gasificación se consideran de incineración, ya que emplean esta técnica para el tratamiento del <i>syngas</i> . Se conoce que existe una instalación únicamente para la gasificación en Finlandia.	
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	85%.	
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS		
Porcentaje de desviación de residuos:	Suponiendo un aprovechamiento de la fracción orgánica, la desviación puede ser del orden del 52%. Pero debe utilizarse la incineración o el aprovechamiento de los gases generados.	
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL		
Salidas del proceso:	600 m³ – 7.000 m³ <i>syngas</i> /ton. de residuo tratado.	
Uso del suelo:	Ordenamiento territorial, preferiblemente en zonas rurales, de modo que mitigue el impacto de la instalación a nivel urbano.	
Requerimiento en área:	Variable. Depende del sistema con el que se combine la tecnología.	
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Complejidad media.	
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado para la operación de la maquinaria y la realización de monitoreos.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Concentraciones de CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O.	

GRUPO DE TECNOLOGÍA		GASIFICACIÓN	
Condiciones para la implementación exitosa de la tecnología:		Los residuos deben tener un 20% de humedad y estar completamente homogeneizados.	
CRITERIO 5: COSTOS			
Inversión (CAPEX):		US\$500/TPA - US\$700/TPA.	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):		US\$45/Ton. - US\$180/Ton.	
Vida útil (años):		No hay información.	
CRITERIO 6: ESCALA			
Capacidad:		250 ton./día - 500 ton./día.	
Tecnología modular:		Sí.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA			
Entradas (insumos requeridos):		Energía, agua, residuos orgánicos.	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):		Emisiones de CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> .	
Combustible:		n/a.	
Energía:		942 MWh/año - 7.971 MWh/año.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL			
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:		Reducción de disposición final en rellenos sanitarios; reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por descomposición de residuos; fuente alternativa de energía; altas inversiones.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES			
Conflictos de interés:		Sin participación.	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA			
Legislación y regulación de soporte:		Requerimiento de instrumentos normativos de control de emisiones y comercialización de subproductos.	
Mercado para subproductos:		Comercialización de energía de fuentes no convencionales dentro del mercado energético, así como para los gases generados que pueden ser utilizados aprovechando su valor químico.	
Inversiones en investigación y desarrollo:		El Estado y la empresa privada deben invertir para desarrollar este tipo de tecnologías.	
Conclusión general:		<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ventajas:</b> Recuperación de energía, con la posible sustitución de los combustibles fósiles; la reducción significativa del volumen de desechos después del tratamiento térmico; la completa eliminación de los residuos orgánicos; la fuerte reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.</li><li>• <b>Desventajas:</b> Necesidad de combinar la técnica con incineración. Problemas de aceptación por parte de las comunidades.</li></ul>	

Fuente: DNV GL y MAG Consultoría (2016).



## Ficha técnica 7: Coprocesamiento en hornos cementeros

El coprocesamiento en hornos cementeros es el procedimiento por el cual se reemplazan combustibles fósiles o recursos minerales por derivados de residuos sólidos para la recuperación de energía (GIZ, 2017).

Requiere flujos de residuos que sean relativamente homogéneos (CDR) para garantizar que la combustión sea controlada y que la salida del producto tenga la calidad esperada, ya que los residuos pueden formar parte de la materia prima para la producción industrial (como en el caso del cemento). A continuación se presenta la ficha técnica que resume la información de esta tecnología.

GRUPO DE TECNOLOGÍA		COPROCESAMIENTO EN HORNOS CEMENTEROS
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS		
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada cuando se combina con incineración o cuando sus subproductos se usan como materia prima.	
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.	
Años de utilización comprobada:	Tecnología utilizada desde el siglo XX.	
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	Utilizada por varias cementeras a nivel mundial. Se desconoce un número aproximado de instalaciones.	
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	100%.	
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS		
Porcentaje de desviación de residuos:	48%, dependiendo de la composición de los residuos tratados.	
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL		
Salidas del proceso:	Emisiones de NOx, CO, SOx, HCl y HF.	
Uso del suelo:	Ordenamiento territorial, preferiblemente en zonas rurales, de modo que mitigue el impacto de la instalación a nivel urbano.	
Requerimiento en área:	Depende del sistema con el que se combine la tecnología.	
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD		
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Complejidad media/alta.	
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado para la operación de la maquinaria y la realización de monitoreos.	
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Concentraciones de NOx, CO, SOx, HCl y HF.	
Condiciones para la implementación exitosa de la tecnología:	Los residuos deben estar homogeneizados de forma de garantizar la continuidad de la combustión y la calidad del producto final.	

GRUPO DE TECNOLOGÍA		COPROCESAMIENTO EN HORNOS CEMENTEROS
CRITERIO 5: COSTOS		
Inversión (CAPEX):	US\$10/TPA - US\$30/TPA. (dependiendo de la finalidad este costo puede variar).	
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	US\$10/Ton. - US\$25/Ton.	
Vida útil (años):	No hay información.	
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	50.000 TPA aprox.	
Tecnología modular:	Sí.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Entradas (insumos requeridos):	Residuos.	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Emisiones de NOx, CO, SOx, HCl y HF.	
Combustible:	n/a.	
Energía:	n/a.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Reducción de disposición final en rellenos sanitarios; reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por descomposición de residuos; fuente alternativa de energía; altas inversiones.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	Sin participación.	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA		
Legislación y regulación de soporte:	Requerimiento de instrumentos normativos de control de emisiones y comercialización de subproductos.	
Mercado para subproductos:	No es necesario.	
Inversiones en investigación y desarrollo:	Mejoramiento de sistemas para evitar fugas de emisiones.	
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ventajas:</b> Recuperación de energía, con la posible sustitución de los combustibles fósiles; la reducción significativa del volumen de desechos después del tratamiento térmico; la completa eliminación de los residuos ingresados al sistema; la fuerte reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.</li><li>• <b>Desventajas:</b> Problemas de aceptación por parte de las comunidades. Altas inversiones requeridas. Fugas de emisiones.</li></ul>	

Fuente: Comisión Europea (2017) y GIZ (2017).

## Ficha técnica 8: Captación y valorización de biogás

El metano generado por la descomposición de los residuos en los rellenos sanitarios se produce bajo condiciones anaeróbicas. La emisión no controlada de metano de los rellenos sanitarios contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero.

La migración y la acumulación de metano encierran un riesgo de explosión que puede afectar poblaciones aledañas. Los sistemas de extracción de biogás son parte de la operación controlada de rellenos sanitarios. El biogás se puede utilizar para la generación de energía o calor, y, previa limpieza, se puede emplear para aumentar la presión para la inyección a una red de gas natural o para uso directo como combustible de transporte.

GRUPO DE TECNOLOGÍA      CAPTACIÓN Y VALORIZACIÓN DE BIOGÁS	
CRITERIO 1: TECNOLOGÍAS PROBADAS	
Estado de desarrollo/arte:	Tecnología probada.
Nivel de desarrollo de la tecnología, escala de laboratorio/full escala:	9 - full escala.
Años de utilización comprobada:	> 25 años.
Número de instalaciones en funcionamiento a nivel mundial:	> 300.
Disponibilidad esperada y confiabilidad de operación (con base en experiencias en operación):	85%.
CRITERIO 2: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN DE RESIDUOS	
Porcentaje de desviación de residuos:	n/a.
CRITERIO 3: IMPACTO AMBIENTAL	
Salidas del proceso:	100 kWh/ton. - 120 kWh/ton. de RSU.
Uso del suelo:	Depende del uso del suelo destinado para la operación del relleno sanitario.
Requerimiento en área:	0,8 m <sup>2</sup> /TPA - 1,5 m <sup>2</sup> /TPA.
CRITERIO 4: COMPLEJIDAD	
Complejidad técnica y condiciones técnicas adicionales:	Complejidad media. Requiere adaptación de la infraestructura del relleno para la implementación o reestructuración de los sistemas de extracción de biogás.
Personal (calificado, no calificado):	Personal calificado para la operación de la maquinaria y la realización de monitoreos.
Requerimientos de monitoreo y laboratorio:	Concentraciones de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , N, H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> .
Condiciones para la implementación exitosa de la tecnología:	Factible para rellenos sanitarios de gran capacidad.
CRITERIO 5: COSTOS	
Inversión (CAPEX):	US\$400.000 por cada 300 KW instalados.
Costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX):	Información no disponible.
Vida útil (años):	20 años.

GRUPO DE TECNOLOGÍA		CAPTACIÓN Y VALORIZACIÓN DE BIOGÁS
CRITERIO 6: ESCALA		
Capacidad:	Ideal para rellenos sanitarios con más de 500.000 toneladas de residuos dispuestas.	
Tecnología modular:	Sí.	
CRITERIO 7: BALANCE DE MASAS Y ENERGÍA		
Entradas (insumos requeridos):	Energía, agua (0,1 m³/ton. de residuos).	
Masa de salidas del proceso (residuos, cenizas, emisiones, etc.):	Emisiones fugitivas de CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> .	
Combustible:	n/a.	
Energía:	942 MWh/año - 7.971 MWh/año.	
CRITERIO 8: EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL		
Beneficios y costos ambientales, económicos y sociales:	Significativa reducción de gases de efecto invernadero. Acceso a fuentes no convencionales de energía.	
CRITERIO 9: PARTICIPACIÓN DE RECICLADORES		
Conflictos de interés:	n/a.	
CRITERIO 10: CONDICIONES PARA LA INTRODUCCIÓN EXITOSA DE LA TECNOLOGÍA		
Legislación y regulación de soporte:	Reglamentación que exija captura y tratamiento activo de biogás en rellenos sanitarios y sitios de disposición final. Reglamentación de emisiones de gases.	
Mercado para subproductos:	Generar/fortalecer el mercado para fuentes de energía no convencionales.	
Inversiones en investigación y desarrollo:	El Estado y el sector privado deben invertir.	
Conclusión general:	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ventajas:</b> Reduce el riesgo de explosión de rellenos sanitarios por acumulación de biogás. La comercialización del biogás puede ser una fuente de ingresos para la sostenibilidad del sistema.</li><li>• <b>Desventajas:</b> Apta para rellenos sanitarios con capacidad mayor de 9.000 toneladas anuales.</li></ul>	

Fuente: Conestoga-Rovers y Associates (2004) y BID (2017).

# Decisiones y directivas de la Unión Europea para la gestión de residuos sólidos

AÑO	DIRECTIVA	MEDIDAS ADOPTADAS
1975	75/442/CEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exige adoptar medidas de prevención y aprovechamiento de los residuos para que no pongan en riesgo la salud del hombre ni el medioambiente.</li> <li>Exige crear o designar una autoridad encargada de la gestión y la vigilancia del manejo de los residuos.</li> <li>Establece la elaboración e implementación de un plan nacional de gestión integral de residuos.</li> <li>Asigna responsabilidades a los generadores y gestores de residuos.</li> <li>Exige elaborar un informe sobre la situación de los residuos cada tres años.</li> </ul>
1994	94/62/CE Normativa de envases y empaques	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relativa a los envases y residuos de envases.</li> <li>Establece las metas obligatorias (porcentaje) de reciclado.</li> </ul>
1999	99/31/CE Disposición final	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece el impuesto a los rellenos sanitarios con el fin de reducir los impactos ambientales generados por la disposición final.</li> <li>Establece metas obligatorias de disminución de la cantidad de residuos biodegradables dispuestos en los rellenos sanitarios.</li> <li>Prohíbe la admisión de residuos líquidos, explosivos, corrosivos, oxidantes, fácilmente inflamables o inflamables, hospitalarios, neumáticos y otros en los rellenos sanitarios.</li> <li>Ordena tomar medidas para asegurar que los costos de diseño, construcción, operación, cierre, clausura y posclausura de al menos 30 años se reflejen en los precios que se van a cobrar por el uso del relleno sanitario.</li> </ul>
2000	2000/532/CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece una clasificación detallada de los tipos de residuos según su peligrosidad y procedencia.</li> </ul>
2003	Decisión 2003/33/CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos.</li> </ul>
2005	2005/20/CE Estrategia temática para la prevención y el reciclado de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica las Directivas 94/62/CE y 2004/12/CE.</li> <li>Aplicación y control de la legislación de residuos vigente a través de medidas de socialización y sensibilización, publicación de directrices y guías, vigilancia y seguimiento del movimiento transfronterizo, financiamiento de proyectos para mejorar la disposición final e impulsar la recolección selectiva.</li> <li>Simplificación de los procesos de control de traslado de residuos y actualización de normativas de acuerdo con normas técnicas.</li> <li>Introducción del concepto de ciclo de vida en la política de residuos y adopción de la jerarquía para el tratamiento de residuos.</li> <li>Fomento de planes de prevención de residuos y emisión de normativas relacionadas con la gestión de residuos de industrias extractivas, el diseño ecológico, entre otras.</li> <li>Mejora de la base de conocimientos a través de mecanismos para recopilar información relativa a los residuos con colaboración de Eurostat y la Agencia Europea de Medio Ambiente.</li> <li>Publicación de un documento sobre mejores técnicas disponibles aplicables a las industrias de tratamiento de residuos, en el que se analizan pros y contras de más de 900 técnicas de tratamiento de residuos.</li> <li>Elaboración más precisa de la política de reciclado de la Unión Europea y definición de nuevos objetivos de reciclaje.</li> </ul>
2006	2006/12/CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Define las medidas que deben adoptar los estados miembros en materia de residuos. Estas son las siguientes:             <ul style="list-style-type: none"> <li>La prevención o la reducción de la producción de residuos y de su nocividad mediante el desarrollo técnico y la comercialización de productos y el desarrollo de técnicas adecuadas para la eliminación de las sustancias peligrosas contenidas en los residuos destinados a la valorización.</li> <li>La valorización de los residuos mediante reciclado, nuevo uso, recuperación o cualquier otra acción destinada a obtener materias primas secundarias.</li> <li>La utilización de los residuos como fuente de energía.</li> </ul> </li> </ul>
2006	2006/66/CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relativa a las pilas y acumuladores, y sus residuos.</li> </ul>

AÑO	DIRECTIVA	MEDIDAS ADOPTADAS
2008	2008/98/CE Directiva marco de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Marco jurídico para el tratamiento de los residuos, en el cual se establece la obligación de adoptar medidas para reducirlos, prepararlos para la reutilización, reciclarlos, o bien para darles otro tipo de valoración (por ejemplo, energética) y eliminar los residuos.</li> <li>Establece que la gestión de los residuos es obligación de quien los produce o los posee y que el Estado coopera, pero la tarea no es su responsabilidad.</li> <li>Extiende la responsabilidad del productor.</li> <li>Determina que todos los residuos deben someterse a procesos de valorización.</li> <li>Fomenta la reutilización y el reciclado de los productos. Establece que antes de 2020 se debe aumentar, como mínimo, hasta un 50% en peso la preparación para la reutilización y el reciclado (papel, metales, plástico y vidrio) de los residuos domésticos y hasta el 70% global del peso de los residuos de construcción y demolición (RCD).</li> <li>El cumplimiento debe ser informado cada tres años a la Comisión.</li> <li>Exige la eliminación de los residuos según las disposiciones técnicas.</li> <li>Exige asegurar que la gestión de los residuos no pone en riesgo la salud humana ni el medioambiente.</li> <li>Establece la recolección selectiva de residuos orgánicos.</li> <li>Exige la elaboración de un plan de gestión de residuos.</li> <li>Exige la elaboración de un programa de prevención de residuos.</li> <li>Exige la entrega de un informe de avances en relación con la prevención de residuos en Europa.</li> <li>Establece la realización de un plan de acción para mejorar los hábitos de consumo.</li> <li>Ordena la creación de un sistema de intercambio de información sobre las mejores prácticas en materia de prevención.</li> <li>Establece requerimientos de diseño ecológico.</li> </ul>
2009	2009/28/CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomenta el uso de energía procedente de fuentes renovables.</li> </ul>
2010	2010/75/UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobre las emisiones industriales.</li> </ul>
2011	Decisión 2011/753/UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece normas y métodos de cálculo para la verificación del cumplimiento de los objetivos previstos en el artículo 11, apartado 2, de la Directiva marco de residuos (DMR).</li> </ul>
2012	Reglamento 1179/2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece criterios para determinar cuándo el vidrio recuperado deja de ser residuo de acuerdo con la DMR.</li> </ul>
2012	Reglamento 493/2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece normas detalladas para el cálculo de los niveles de eficiencia de los procesos de reciclado de los residuos de pilas y acumuladores.</li> </ul>
2012	2012/19/UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.</li> </ul>
2013	2013/2/UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica las Directivas 94/62/CE, 2004/12/CE y 2005/20/CE relativas a los envases y residuos de envases.</li> </ul>
2013	2013/56/UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la Directiva 2006/66/CE en lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio.</li> </ul>
2013	Reglamento 715/2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece criterios para determinar cuándo la chatarra de cobre deja de ser residuo de acuerdo con la DMR.</li> </ul>
2014	COM/2014/0398 Hacia una economía circular: un programa de cero residuos en Europa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener el valor añadido de los productos el mayor tiempo posible y excluir los residuos.</li> <li>Reducir los residuos y disminuir la dependencia sobre las materias primas vírgenes.</li> <li>Impulsar un eje estratégico de diseño e innovación mediante el apoyo a políticas de I+D, la directiva sobre diseño ecológico, entre otras medidas.</li> <li>Impulsar un eje estratégico de financiamiento mediante la aclaración de las obligaciones de las entidades financieras en relación con la sostenibilidad, la elaboración de metodología de "pruebas de resistencia de los recursos", la guía de la contratación pública ecológica y la priorización de proyectos de economía circular en los planes de financiamiento.</li> <li>Promover un eje estratégico de acompañamiento a empresas y consumidores a través de la medición del impacto ambiental sobre el diseño de productos, los procesos, y el suministro y el apoyo financiero.</li> </ul>
2015	Directiva (UE) 2015/720	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la Directiva 94/62/CE en lo que se refiere a la reducción del consumo de bolsas de plástico ligeras.</li> </ul>
2015	Directiva (UE) 2015/1127	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica el anexo II de la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas.</li> </ul>
2018	Directiva (UE) 2018/851	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.</li> </ul>
2018	Directiva (UE) 2018/850	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos, introduce metas para la recolección selectiva de orgánicos e incorpora todos los conceptos de economía circular.</li> </ul>
2018	Directiva (UE) 2018/852	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.</li> </ul>



AÑO	DIRECTIVA	MEDIDAS ADOPTADAS
2019	Comunicación sobre el Pacto Verde Europeo (CE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece el Pacto Verde Europeo.</li> </ul>
2020		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de inversiones del Pacto Verde Europeo y Mecanismo para una Transición Justa (MTJ).</li> </ul>
2020	Propuesta de la CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propuesta de Ley Europea del Clima para garantizar la neutralidad climática de la Unión Europea de aquí a 2050.</li> </ul>
2020		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de acción para una economía circular centrada en el uso sostenible de los recursos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea (2019a).

# Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Conceptos básicos, análisis de viabilidad y  
recomendaciones de políticas públicas

