

Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos

Oportunidades en América Latina



Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos

Oportunidades en América Latina

Título: Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina

Depósito legal: DC2018000591

ISBN: 978-980-422-092-0

Editor: CAF

Vicepresidencia de Desarrollo Sostenible

Julián Suárez, Vicepresidente

Autor: Pietro Graziani

Un agradecimiento especial a Jordi Pon, Coordinador Regional de Químicos y Residuos de ONU Medio Ambiente/ UN Environment de la Oficina para América Latina y el Caribe, por sus valiosos aportes durante la revisión del documento.

Diseño gráfico: Estudio Bilder / Buenos Aires

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de su autor y no comprometen la posición oficial de CAF.

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

© 2018 Corporación Andina de Fomento

Todos los derechos reservados

Índice

Resumen ejecutivo	6
Presentación	8
1 — Introducción	12
Situación global de los residuos sólidos	13
Situación de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe	14
Tecnologías para la gestión de residuos implementadas en América Latina y el Caribe	16
Gestión de los residuos sólidos y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	19
2 — Antecedentes	22
3 — Economía circular, cambio climático y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	24
La economía circular para combatir el cambio climático	25
Manejo de los residuos sólidos y su impacto sobre el cambio climático	26
Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en la gestión de los residuos sólidos	27
Residuos sólidos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	29
Gestión de los residuos sólidos dentro del Acuerdo de París	30
4 — Metodología	32
Identificación de los ejes temáticos prioritarios	33
Entrevistas con especialistas	33
Criterios de análisis de las tecnologías	34
5 — Resultados	36
Tecnologías Innovadoras para Recolección y Transporte de los residuos sólidos	38
Tecnologías de Tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos	39
Tecnologías para la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)	41
Tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos sólidos	42
Tecnologías para el reciclaje de los materiales aprovechables	44
Comparación de las diferentes tecnologías de tratamiento de residuos sólidos	45
6 — Criterios de selección y condiciones de replicabilidad	48
Criterios de selección para las nuevas tecnologías sobre Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS) en América Latina y el Caribe	49
Condiciones para la replicabilidad de las nuevas tecnologías en los países de América Latina y el Caribe	49
7 — Discusión, conclusiones y recomendaciones	54
8 — Referencias bibliográficas	60
9 — Anexos	66

Resumen ejecutivo

Según un reporte realizado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), se estima que en el 2010 el sector de residuos sólidos y aguas residuales aportó aproximadamente el 3 % de las emisiones globales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), con la mayor contribución por emisiones de metano (CH_4) en los rellenos sanitarios, que representan la mayor fuente antropogénica y un importante contribuyente al calentamiento global. Aunque esto pueda parecer una pequeña fracción de las emisiones globales, esta cifra equivale a 1.350 millones de toneladas de CO_2eq (IPCC, 2014), lo cual ofrece importantes oportunidades de mitigación de GEI. Se estima que una reducción entre el 10-15 % en las emisiones globales de los GEI podría lograrse a través de la implementación de nuevas tecnologías y el fortalecimiento de sistemas actuales para ejecutar medidas de mitigación en los rellenos sanitarios, tales como: producción de energía desde los residuos, compostaje de residuos orgánicos y reciclaje. Además, incluyendo la prevención en la generación de residuos se podría incrementar esta contribución hasta el 20 %.

En las grandes ciudades de la región de América Latina y el Caribe se ha alcanzado algunos progresos en la adopción de prácticas modernas de gestión de residuos para uso energético, como en Ciudad de México, Buenos Aires, Sao Paulo y Bogotá, pero el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) es aún deficiente en numerosas ciudades. A pesar de que las estimaciones puedan tener variaciones, según las últimas estadísticas, aproximadamente el 55 % de los residuos sólidos municipales generados en la región se manejan de forma adecuada en los rellenos sanitarios, mientras que el 45 % restante en vertederos y botaderos a cielo abierto.

La base del manejo integral de residuos sólidos es la jerarquía de residuos. Ésta hace énfasis en la prevención, seguido de la minimización, reutilización, reciclaje, recuperación de energía y, por último, la disposición final. Con la jerarquía se reduce la generación de residuos y se optimiza la utilización de recursos. Actualmente, existen diversas tecnologías para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos. Entre éstas se encuentran: la digestión anaerobia y el uso de biodigestores, sistemas modernos de *waste to energy*, procesos como el Tratamiento Mecánico Biológico (MBT por sus siglas en inglés), nuevos sistemas digita-

lizados de recolección en la separación diferenciada en la fuente y estrategias de reciclaje de materiales no biodegradables (PET, llantas usadas, etc.) y biodegradables (papel, cartón, etc.).

La presente investigación se llevó a cabo para identificar y evaluar algunas tecnologías disponibles en distintos países seleccionados de Europa y Asia sobre el tratamiento y aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), y para poder hacer una evaluación general del potencial de replicabilidad de estas tecnologías exitosas, con el fin de adaptarlas a las ciudades grandes y medianas de la región. La investigación se ha enfocado en buscar las tecnologías de gestión de residuos que hayan sido ejecutadas con éxito en los siguientes siete países: España, Italia, Alemania, Suiza, Noruega, Japón y Corea del Sur. Además, se ha considerado también algunos ejemplos modelos de tecnologías emergentes de pequeña escala que se puedan implementar en zonas rurales o dentro de barrios o sectores de grandes ciudades. Las tecnologías identificadas están vinculadas con cuatro ejes temáticos que se consideraron prioritarios para América Latina y el Caribe debido a su impacto ambiental y social, estos ejes son: (i) manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos, (ii) aprovechamiento energético, (iii) gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, (iv) reciclaje del plástico PET, papel y llantas usadas.

Algunos casos de estudio por cada eje temático se han presentado en detalle y la replicabilidad de estas tecnologías se ha analizado en función de distintos parámetros específicos, considerados como requisitos fundamentales para una correcta y exitosa implementación. Una evaluación más profunda de la modalidad de replicabilidad de las tecnologías que más se adecúan al contexto latinoamericano debería ser objeto de futuros estudios.

Presentación

El cambio climático es considerado como uno de los mayores desafíos globales del siglo XXI. Existe un consenso general entre la mayoría de expertos en clima: el calentamiento global es el resultado de las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra. El sector del manejo de los residuos sólidos contribuye al efecto invernadero antropogénico, principalmente a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El Quinto Informe de Evaluación de la IPCC, (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, de acuerdo con sus siglas en inglés) del 2014, expone que la contribución hecha por los residuos sólidos y el sector del manejo de aguas residuales a las emisiones globales de GEI es menor al 5 % (IPCC, 2014), lo que podría parecer, a primera vista, relativamente bajo. Esta cifra, sin embargo, no refleja plenamente el potencial real de reducción de las emisiones de GEI por el sector de manejo de residuos. Las emisiones de GEI producidas por el sector de manejo de residuos en países en desarrollo y economías emergentes son altamente relevantes, en particular por el alto porcentaje de componentes biodegradables contenidos en el flujo de residuos.

Si se pusiera en marcha sistemas sustentables de gestión de residuos, los países en desarrollo y las economías emergentes no solo reducirían considerablemente sus emisiones de GEI a un costo relativamente bajo, sino que también contribuirían significativamente a mejorar las condiciones de salud pública y protección del medio ambiente.

El sistema lineal de la economía, basado en la extracción, fabricación utilización y eliminación, ha alcanzado límites debido al agotamiento de recursos naturales y de combustibles fósiles. Por consiguiente, es cada vez más urgente la implementación de un modelo circular donde se optimice el flujo de materiales, de energía y de residuos con el uso eficiente de los recursos. La economía circular emplea los residuos como materia prima, reduciendo así los desechos generados y minimizando el impacto ambiental. En este sentido, el uso de tecnologías innovadoras y exitosas en el manejo de la basura representa un paso importante en la mitigación al cambio climático, en especial si está enmarcada dentro una estrategia de economía circular que permita considerar y valorizar el residuo como un recurso.

A partir de esta situación, CAF planteó la necesidad de realizar la presente investigación que tiene como objetivo hacer una recopilación sobre la gestión de residuos sólidos y los avances tecnológicos utilizados en algunos países asiáticos y europeos con más desarrollo del tema, como son, Japón, Corea del Sur, Alemania, Noruega, España, Italia y Suiza. Estos avances tecnológicos se deben caracterizar por tener un potencial de replicación en la región de América Latina para su correcta implementación, con el fin de buscar medidas apropiadas de mitigación y adaptación al cambio climático, bajo el concepto de la economía circular.

Además, el estudio fue la base de un webinar internacional realizado en noviembre de 2017, con el apoyo de la plataforma LEDS-LAC y otros organismos internacionales. El webinar tuvo por objeto proponer la implementación de proyectos innovadores de tecnologías de tratamiento de residuos sólidos, en los contextos ambientales e institucionales más adecuados para la región. (link webinar: <https://www.youtube.com/watch?v=dp-h0OL1s0A>)

El documento consta de las siguientes partes:

- En el **capítulo 1-Introducción**, se presenta el contexto general de la situación global y de América Latina y el Caribe de los residuos sólidos, para la generación actual y las previsiones futuras; además se revisa la situación general de las tecnologías utilizadas actualmente en el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos en la región.
- En el **capítulo 2-Antecedentes**, se hace referencia al interés de CAF en la mitigación y adaptación del cambio climático y la economía circular, y cuáles son sus futuros intereses en implementar nuevas tecnologías para el manejo de los residuos en América Latina, bajo una visión de economía circular.
- En el **capítulo 3- Economía circular**, cambio climático y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se presentan los conceptos básicos generales y sus relaciones con los residuos sólidos, dando particular énfasis al contexto latinoamericano.
- En el **capítulo 4- Metodología**, se describen los procesos metodológicos utilizados durante esta investigación y los criterios de selección y análisis de

las diferentes tecnologías por cada eje temático prioritario.

- En el **capítulo 5- Resultados**, se exponen los resultados obtenidos, separados por cada eje temático identificado, presentando las diferentes experiencias de los países europeos y asiáticos, objeto del análisis. Algunos casos de estudio son puestos en mayor detalle y presentados en 12 fichas técnicas en anexos.

Finalmente se comparan las distintas tecnologías con los criterios de análisis considerados.

- En el **capítulo 6- Criterios de selección y condiciones de replicabilidad**, se presentan los criterios para seleccionar la tecnología más adecuada y las condiciones para poder implementar la tecnología en los países de América Latina y el Caribe.
- En el **capítulo 7- Discusión, conclusiones y recomendaciones**, se presenta una breve discusión de los resultados obtenidos en función de la bibliografía internacional relevante y se concluye el análisis de la presente investigación, dando algunas recomendaciones de carácter general, con el fin de tomarlas en cuenta en futuros proyectos sobre gestión de residuos de los países de la región.



1

Introducción

Situación global de los residuos sólidos

El manejo de los residuos sólidos en las grandes ciudades es un reto debido a la cantidad de residuos generados y a su disposición final. La creciente producción de residuos es causada por diferentes factores, entre estos están el aumento de la población, la urbanización, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial y los cambios en patrones de consumo (Ojeda y Quintero, 2008; AIDI-IDRC, 2006). La población mundial actualmente es de 7,3 mil millones, y se estima que al final del siglo XXI llegue a los 11 mil millones; alrededor del 80 % de esta creciente población vivirá en las ciudades. Por consiguiente, es esencial dirigirse hacia un modelo de desarrollo circular, que trabaja para reducir los residuos antes de que sean generados y que trata un residuo como un recurso. Además, una gestión sostenible e integrada de los residuos será crucial en el futuro (UNEP, 2015).

En el mundo, las ciudades generan alrededor de 1,3 mil millones de toneladas de residuos sólidos por año (1,2 kg/habitante/día); se estima que este volumen se incrementará a 2,2 mil millones de toneladas (1,42 kg/

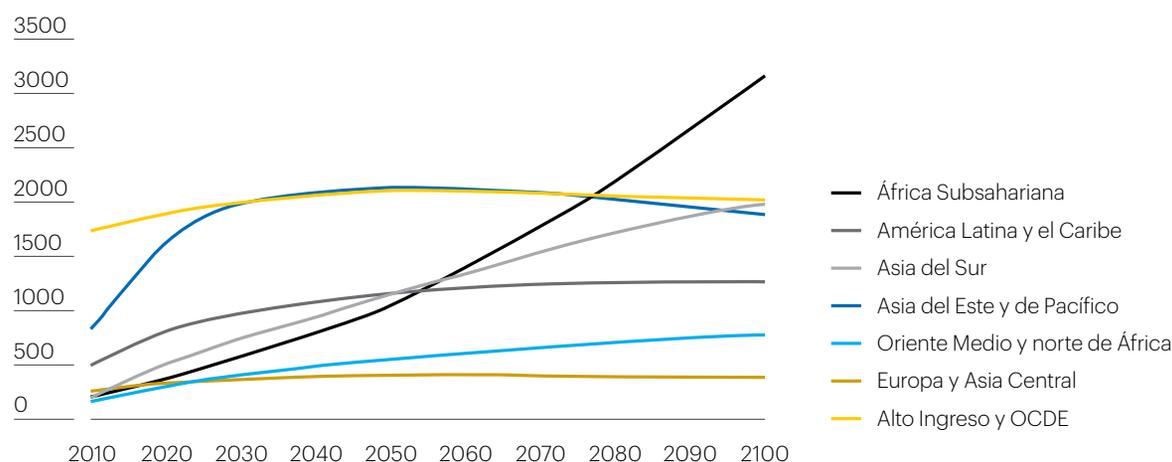
habitante/día) para el 2025, con tasas de generación que serán más del doble del valor actual en los próximos 20 años en los países en desarrollo (Hoornweg, 2012). La generación de RSM en el mundo está íntimamente vinculada a la producción per cápita, y esta, a su vez, es modificada por fenómenos macroeconómicos y/o comportamientos sectoriales que dependen de los hábitos de consumo, capacidad de adquisición y/o nivel socioeconómico de determinadas comunidades. El aumento en la producción de residuos sólidos, junto a la presión que se genera en el medioambiente, impone la necesidad de introducir tecnologías avanzadas para manejarlos eficientemente (Golomeova et al., 2013).

En los aspectos ambientales, la Conferencia de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible de 1992 estableció la Agenda 21, que en su capítulo 21 recomienda que en materia de residuos sólidos se debe minimizar su generación, reciclarlos y reutilizarlos al máximo, tratarlos y disponerlos adecuadamente y aumentar la cobertura de recolección y otros elementos del servicio (Agenda 21, 1993). En América Latina y el Caribe, hay un gran potencial de acción en la minimización de la generación de residuos, al igual que en la reutilización y el reciclaje, lo cual genera oportunidades de inversión.

FIGURA 1

Previsiones de la generación global de RSM por región (UNEP, 2015)

Generación total de RSM (Ton/día)



Situación de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe

En la región, varias autoridades gubernamentales consideran la gestión de residuos sólidos como una actividad que genera costos y no es rentable. La financiación de los sistemas de gestión de residuos sólidos es un desafío, así como lo son el fortalecimiento de las instituciones que regulan este sector y la atracción de inversionistas del sector privado. Un hallazgo importante de la EVAL 2010 (OPS/AIDIS/BID) fue reconocer que varios países han hecho progresos significativos en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en los últimos años; sin embargo, la recuperación de costos es insuficiente, dado que las ciudades a lo largo de la región solo logran facturar y cobrar a los usuarios (a través de aranceles y cuotas) cerca de la mitad de los costos medios actuales. La región no tiene avances significativos en áreas tales como recolección selectiva, compostaje, reciclaje de materiales y tratamiento térmico de residuos para la recuperación de energía.

En América Latina y el Caribe, donde la generación de residuos municipales corresponde cerca del 12 % de la generación global (160 millones de toneladas), la tasa total de generación y per cápita de residuos han au-

mentado progresivamente principalmente debido a la expansión de la urbanización, al aumento del consumo y a los cambios en los estilos de vida de los habitantes.

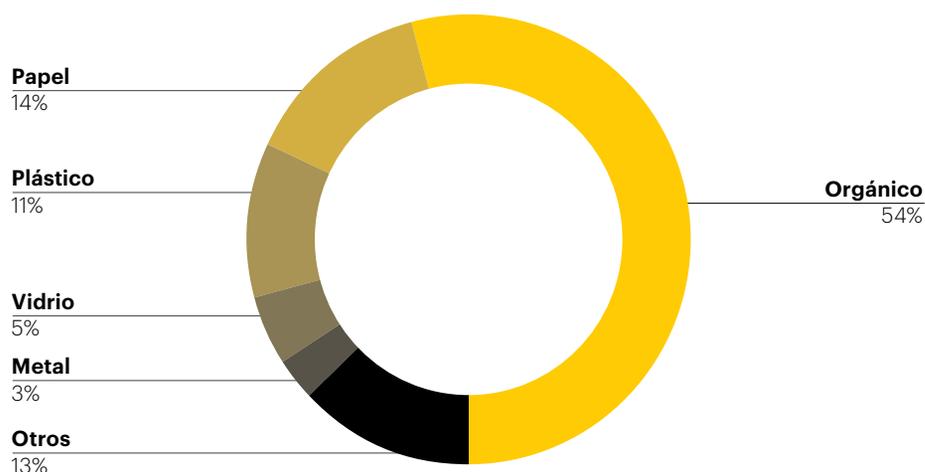
América Latina y Caribe, de forma parecida al resto del mundo, está enfrentando el desafío del rápido cambio en la composición de los residuos; incluso en países en vías de desarrollo, la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales está disminuyendo, mientras que los residuos peligrosos (baterías, medicamentos, etc.) están aumentando. Algunos residuos específicos como residuos electrónicos, neumáticos, plástico, son una seria amenaza a la salud pública y un adverso impacto al ambiente.

En la región (Figura 2), la composición promedio de los residuos municipales todavía es dominada por la fracción orgánica (54 %), seguido por papel (16 %) y plástico (12 %), lo cual se asemeja a la composición promedio a nivel global (Banco Mundial, 2012).

El promedio regional de generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios (RSD: de origen exclusivamente residencial, generados por la actividad humana dentro de la vivienda) es de 0,6 kg/hab/día y de residuos sólidos urbanos (RSU: incluyen los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucional, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en las oficinas de las industrias, en

FIGURA 2

Composición de los residuos en América Latina y el Caribe (Banco Mundial, 2012)



el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos) es de 0,9 kg/hab/día (BID, 2015). El promedio regional de cobertura de recolección de los RSU es de 89,9 % (medido como porcentaje de población). Comparando este dato con el promedio mundial de 73,6 %, la región latinoamericana tiene un alto nivel de cobertura, que refleja la prioridad que le ha dado la región a este servicio. En el ámbito del manejo de residuos, el Banco Mundial (2011) afirma que se caracteriza por:

- estar altamente urbanizada (79 % de los 510 millones de población que vive en las ciudades),
- tener una sustancial desigualdad de ingresos (USD 22.000/persona/año en los países de altos ingresos, USD 370/persona/año en los países de bajo ingresos),
- tener una significativa disparidad en la tasa de generación de los residuos entre los diferentes países (600 kg/persona/año en los países de altos ingresos, 200 kg/persona/año en los países de bajos ingresos).

En América Latina y El Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final”, dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos (AIDIS-IDRC, 2006). En varios países de la región se utilizan aún los vertederos y/o botaderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas y se continúa con la práctica de recolección sin clasificación y/o separación en la fuente. Adicionalmente, existe un enorme número de recicladores trabajando en las calles y en los vertederos, buscando sobrevivir del aprovechamiento de materiales reciclables a pesar del riesgo al que exponen su salud e integridad física. Esto, unido a la deficiencia en la administración tanto pública como privada, revela la crisis de la región en el manejo de residuos sólidos (AIDIS-IDRC, 2006). Adicionalmente, la falta de infraestructura para el procesamiento de los residuos orgánicos obliga a que la mayor parte de éstos sean enviados a los rellenos sanitarios, lo que intensifica problemas como la generación de lixiviados y de GEI.

En los últimos años, varios países de la región han adoptado medidas para hacer frente a esta situación, tales

TABLA 1

Factores limitantes para la implementación de nuevas tecnologías de compostaje e incineración en la región latinoamericana

FACTORES LIMITANTES	
Compostaje	Inadecuada definición de mercados
	Altos costos de operación y transporte
	Mala calidad del producto terminado
	Poca aceptación para lograr la separación en origen, su recolección selectiva y la tolerancia de los olores emanados de las instalaciones
	Falta de mantenimiento de equipos
	Tecnologías inadecuadas
	Falta de vinculación con proyectos estratégicos de recuperación de suelos
	Poca participación de los sectores formales
Incineración	Alta humedad de los residuos
	Bajo poder calorífico
	Falta de recurso para la inversión inicial
	Falta de capacidades

como el fortalecimiento de marcos legales, aumento en la cobertura de recolección de residuos y cierre de vertederos a cielo abierto. También, hay un creciente interés en la implementación de tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, principalmente debido a los altos niveles de urbanización y al agotamiento de la vida útil de los rellenos sanitarios actualmente utilizados. Sin embargo, los gobiernos municipales, quienes son generalmente los responsables de proveer el servicio de gestión de residuos, carecen de planes de gestión y tienen inadecuados sistemas costo-beneficio que puedan asegurar la sostenibilidad del servicio. Para un manejo adecuado de los RSM, se requiere un cambio de paradigma: esto implica alejarse de un manejo de residuos enfocado únicamente en su recolección y disposición final, y pasar a priorizar las opciones de conversión de los residuos en recursos materiales y de energía.

Es importante recalcar que, respecto al procesamiento de residuos en las actividades de compostaje e incineración, la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005) señaló que apenas el 0,6 % de los residuos orgánicos generados son transformados en abono, mientras que el porcentaje de residuos incinerados en la región es tan solo del 1 %, con el agravante de que una mínima proporción de estos procesos cumplen con las normas vigentes, es decir, no son sistemas adecuados para el ambiente. Adicionalmente, la OPS ha indicado los factores que dificultan la implementación del compostaje y la incineración en América Latina y el Caribe (Tabla 1) los cuales quedan reducidos a las limitaciones económicas para el desarrollo de proyectos técnica y económicamente factibles (Sáez y Urdaneta, 2014). Uno de los principales factores que determinan la viabilidad de la incineración es el poder calorífico de los residuos sólidos. Éste debe ser mayor a 7 MJ/kg (ISWA, 2013), lo que es difícil de lograr debido al alto componente de materia orgánica y humedad respectiva de los RSU de América Latina y el Caribe. Además, la región presenta dificultades para usar esta tecnología debido a los altos costos de inversión, de operación y de mantenimiento.

Para lograr mejoras en el manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe se requiere voluntad por parte de los gobiernos, fuertes inversiones para la realización de estudios y en el desarrollo de proyectos de ingeniería, y educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos (Sáez y Urdaneta, 2014).

Tecnologías para la gestión de residuos implementadas en América Latina y el Caribe

En la región de América Latina y el Caribe se observa una mayor concienciación de la importancia del buen manejo de los residuos y avances en la cobertura de los servicios de limpieza, recolección y disposición final. Sin embargo, las actividades de reducción, recuperación, reciclaje y aprovechamiento todavía son insuficientes. Además, persisten amplias diferencias entre países y ciudades, lo que perjudica especialmente a la población pobre (ONU-HABITAT, 2012).

La escasez de recursos financieros, humanos y tecnológicos son un obstáculo frecuente para la buena gestión de los residuos y la implementación de tecnologías innovadoras. No obstante, se puede mejorar notablemente y contribuir a ciudades más limpias, saludables y sostenibles ambientalmente con una mayor planificación y con estrategias encaminadas a cubrir todos los aspectos del ciclo de los residuos (ONU-HABITAT, 2012).

Manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos

La composición de los residuos en la región, a pesar de que varía entre los países y ciudades, mantiene un fuerte componente orgánico, en un rango entre el 50-70 %, mientras que alrededor del 25 % está constituido por papel, metales, textiles y otros. Los residuos orgánicos municipales comprenden los restos de plantas de las áreas verdes, jardines, comida y restos de cocina de las viviendas, restaurantes y locales. Normalmente estos residuos se dividen en dos categorías: a) restos de comida y cocina; b) residuos de poda de las áreas verdes públicas y jardines privados (EC, 2016). El peso volumétrico *in situ* es un factor importante cuando se analizan las tecnologías alternativas de la gestión de los residuos sólidos, éste puede variar entre 170-330 kg/m³ sin compactación y depende en gran medida del contenido de la materia orgánica y de su nivel de humedad. En cuanto a las características fisicoquímicas, los residuos tienen un alto porcen-

TABLA 2

Compostaje de RSM en Colombia, Ecuador, México

(¹Jaramillo Henao, 2011². Fundación Natura et al., 1998. ³Rodríguez M., 2006)

PAÍSES	NÚMERO DE INSTALACIONES	CAPACIDAD (TONELADAS/AÑO)	TIPO DE COMPOSTAJE
Colombia¹	30	28-2800	Estándar, vermicultura
Ecuador²	12	Pequeña escala	Estándar
México³	60	24-3300	Estándar, vermicultura

taje de humedad (40-60 %) y un bajo poder calorífico (menor a 1.381 kcal/kg) que define el bajo valor energético de los residuos de la región latinoamericana. El alto contenido de humedad y el bajo poder calorífico, por lo general, dificulta el aprovechamiento de los residuos sin otro procesamiento para obtener energía utilizable desde la incineración.

Según cifras de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), ningún país latinoamericano logra recuperar más del 15 % de material reciclado, y sería necesario imitar las buenas prácticas de otras naciones como Suecia, Alemania, Holanda y Japón, donde la producción de energía a partir de residuos sólidos urbanos se ha popularizado y representa importantes ahorros económicos para esos países.

Para lograr este objetivo, una de las primeras propuestas es usar tecnologías modernas que hagan posible un manejo adecuado y eficiente de residuos y que permitan reducir la contaminación local y generar energía de manera sostenible; además se requiere de un marco claro de políticas públicas e inversión.

Existen dos tratamientos comunes que se utilizan para la gestión de los residuos orgánicos: compostaje y digestión anaerobia:

1. El compostaje es la opción de tratamiento biológico más común en Europa (alrededor del 95 % de las operaciones de tratamiento biológico actuales). El compostaje consta de una fase de digestión aerobia (con presencia de oxígeno) y una de digestión anaerobia (sin oxígeno); la primera generalmente se obtiene en un ambiente abierto donde

los gases ácidos como CH₄ y CO₂ del proceso de tratamiento son emitidos a la atmósfera, mientras que en la fase anaerobia las emisiones son controladas y utilizadas en forma efectiva.

2. La digestión anaerobia es especialmente adecuada para el tratamiento de bio-residuos húmedos, incluidas las grasas (ej. residuos de cocina). Produce una mezcla de gases (principalmente CH₄-entre un 50% y un 75%- y CO₂) en reactores controlados. Gracias al biogás se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular si se utiliza como biocombustible para el transporte o se inyecta directamente en la red de distribución de gas.

En América Latina y el Caribe el compostaje de los componentes orgánicos de los RSM es una práctica común en varios países, pero ha sido limitado principalmente a instalaciones de pequeña escala, al igual que el uso del compostaje a través de la vermicultura.

Se reporta que el compostaje en la región en general ha sido obstaculizado por los altos costos y las dificultades en el marketing del producto final. (Banco Mundial, 2011). Otros factores relevantes que limitan el éxito de los proyectos de compostaje en América Latina y el Caribe son: la inadecuada planificación y el mal dimensionamiento de las plantas de tratamiento, la falta de capacitación y la ausencia de un ente para la certificación del compost (USAID, 2013).

Por otro lado, la digestión anaerobia se presenta como una alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos. Con ésta, se puede generar CH₄ para

su aprovechamiento energético y tiene un menor tiempo de retención. Sin embargo, los costos de implementación son elevados y hay un mayor número de requerimientos técnicos.

Aprovechamiento energético de los residuos

El aprovechamiento energético de biogás en los rellenos sanitarios permite reducir las emisiones de GEI y desplazar el uso de combustibles fósiles, además de traer consigo ventajas económicas por la venta de energía. Sin embargo, en la región el número de proyectos que implementan este tipo de tecnologías es relativamente bajo.

El uso moderno de la biomasa para generar energía renovable es uno de los nuevos desafíos que la región puede asumir para hacer frente al cambio climático. Según lo reportado por el BID (2015), el proyecto en etapa más avanzada en América Latina y el Caribe se encuentra actualmente en Brasil (Barueri-Sao Paulo) y contará con tecnología de incineración de los RSU y aprovechamiento energético. Adicionalmente, existen ya proyectos implementados de captura y uso de biogás de relleno sanitario en algunas ciudades como: Buenos Aires, Santiago de Chile, Sao Paulo y Monterrey.

Un ejemplo de la región es Ciudad de México, donde una empresa privada extranjera construirá y gestionará la primera unidad de aprovechamiento energético de residuos de América Latina para el tratamiento de 1,6 millones de toneladas de residuos domésticos al año. Además, la producción de 965 mil MWh eléctricos anuales alimentará directamente el metro de la ciudad

Gestión y reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Actualmente, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) tienen un papel importante en el desarrollo económico, productivo y social de los países. Según el informe *Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016*, en el 2015 el 54,4 % de la

población de América Latina y el Caribe contaba con acceso a Internet, lo que indica un crecimiento del 20 % en comparación con el 2010 (CEPAL, 2016). Con la expansión del Internet y el aumento de la demanda las TIC, hay un aumento significativo en la producción de RAEE. De acuerdo con la definición de la OCDE, se considera residuo electrónico todo aparato que utiliza un suministro de energía eléctrica y que ha llegado al fin de su vida útil (OCDE 2001). En América Latina, el total de RAEE generados en el 2014 fue de 4,8 millones de toneladas métricas según las estimaciones de la Universidad de Naciones Unidas, los mayores generadores en la región son: Brasil, México y Argentina (Baldè et al., 2015).

Varios elementos fundamentales deben ser considerados al analizar los desafíos de la gestión de los RAEE: los residuos electrónicos a menudo contienen materiales considerados tóxicos que son potencialmente perjudiciales para el ambiente y la salud de las personas. Los residuos electrónicos contienen materiales valiosos y escasos, y la recuperación de estos materiales puede reducir la minería de materia prima. Solo unos pocos países de América Latina y el Caribe tienen proyectos de ley específicos sobre la gestión de este tipo de residuos. En la mayoría de los casos, su gestión está regulada en la legislación general de residuos peligrosos. Actualmente, se debaten políticas públicas específicas o directrices técnicas, que aún deben pasar por un proceso legislativo o de implementación. Existen infraestructuras básicas de gestión y reciclaje de residuos – fundamentalmente vinculadas al tratamiento de chatarra– pero se espera que el desarrollo de instalaciones de procesamiento específico de residuos electrónicos crezca en los próximos años.

Reciclaje de llantas usadas, PET y papel

En materia de reciclaje se estima que en América Latina y el Caribe únicamente el 2,2 % de los RSU se recicla dentro de esquemas formales, y muy pocos países cuentan con infraestructura formal para la clasificación de RSU y su reciclaje (IRR, 2015); la recuperación de materiales reciclables es realizada mayormente por el sector informal, a través de recuperadores o re-

cicladores urbanos, y existe un aproximado de cuatro millones de hombres y mujeres que basan su sustento económico en la recuperación de residuos sólidos potencialmente reciclables, como papel, cartón, plástico y metal. La mayoría de los países de la región no dispone de datos oficiales sobre tasas de reciclaje.

Sólo algunos países que han empezado a implementar metas de reciclaje, como Brasil, tienen cuantificados estos índices para materiales específicos. En el 2012, Brasil reportó índices de reciclaje de aluminio de 97,9 %; de papel de 45,7 %; y de plástico (PET) de 58,9 % (respecto a la producción industrial). Los anteriores son índices elevados, que han sido fomentados por un marco de política nacional y provincial que proporcionan incentivos para la actividad y para la inclusión de recicladores informales (o catadores) en los sistemas de gestión de RSU. En Ecuador, con el incentivo tributario directo llamado impuesto redimible de botellas PET, se ha logrado una recuperación del 109 % de botellas PET (dato de recuperación del Ministerio del Ambiente, estimado con respecto a la cantidad de botellas PET puestas en el mercado en el 2014) (BID, 2015).

Por otro lado, la disposición final de las llantas usadas es un reto importante principalmente debido a su difícil degradación, a la dificultad de compactarlas y al manejo inadecuado al final de su vida útil. Los neumáticos son considerados desechos especiales ya que su combustión genera gases peligrosos y su inapropiada disposición promueve la propagación de epidemias transmitidas por vectores. Además, los neumáticos acumulados tienen un alto riesgo de incendio.

Actualmente, hay varias opciones para el tratamiento y aprovechamiento de las llantas usadas. Entre éstas se encuentran: el recubrimiento con caucho de llantas desgastadas para su nuevo uso, la producción de granulado para uso industrial a partir de la molienda de los neumáticos, el reprocesamiento del caucho mediante procesos físicos y químicos, el uso en construcciones y la pirolisis para producción de energía (UNEP, 2011).

Disminuir los desechos y reciclar no solamente ayuda a disminuir la contaminación, sino que además aporta a mitigar el cambio climático en el planeta. Esta contribución se observa en los siguientes tres puntos básicos:

1. Reducción directa de emisiones de GEI, al reducir las toneladas de residuos no depositados en vertederos, que son grandes productores de CH₄.
2. Reducción del consumo de energía de tratamiento, comparando los consumos de energía final de los residuos no reciclados respecto al consumo de tratamiento de reciclaje.
3. Reducción y ahorro del consumo de energía asociado a la extracción, proceso y transporte de materias primas.

Gestión de los residuos sólidos y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

Los países en desarrollo tienen oportunidades para aprender de las experiencias de otros países y dar un salto a procesos de desarrollo más eficientes y ecológicos en cuanto al consumo de energía y uso de los recursos, aprovechando las nuevas tecnologías y el *know-how*. Los países miembros y los no miembros de la OCDE necesitan trabajar juntos para difundir a escala mundial el conocimiento, las mejores prácticas y tecnologías para beneficiarse mutuamente de patrones de producción y consumo más sostenibles (OCDE, 2008). La OCDE estableció una estrategia de crecimiento verde en 2011, como parte de un mandato que buscaba la recuperación económica con un crecimiento sostenible desde el punto de vista social y ambiental. Los países miembros de la OCDE y sus asociados, han definido políticas y planes que promueven la integración de políticas ambientales y económicas.

Chile, por ejemplo, ha adoptado medidas frente a las presiones crecientes sobre el ambiente derivadas del rápido crecimiento económico. Esto, fortaleciendo sus instituciones ambientales e introduciendo instrumentos nuevos, como el impuesto al carbono. Por medio del concurso y liderazgo del sector productivo, Colombia ha venido creando desde el 2007 programas colectivos de pos consumo, en representación

de compañías fabricantes e importadoras, bajo los principios del concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP).

La REP permite un cambio de enfoque hacia la responsabilidad del productor, lo que modela las decisiones sobre el diseño, la composición y la comercialización de los productos. Con este concepto, se beneficia la durabilidad y facilidad de reciclaje ya que es más fácil y económico para el productor gestionar residuos que son amigables con el ambiente. El principio REP está integrado en la legislación de varios países de América Latina y el Caribe, entre estos: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador y Perú.

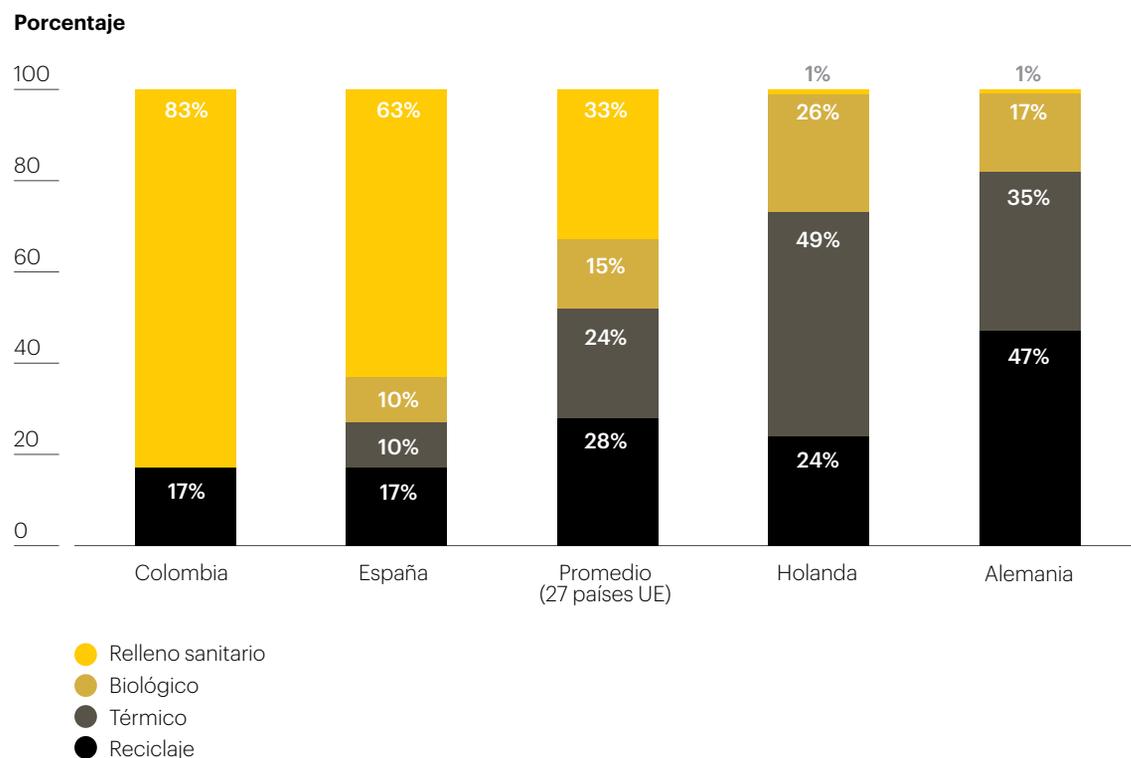
Más de 500 compañías en Colombia participan en los programas de pos consumo colectivo de productos usados: pilas, llantas de carro, computadores, lámparas, envases de farmacéuticos, envases de plaguicidas y baterías plomo—ácido. Según el Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia tuvo una tasa de reciclaje del 17 % en el 2016. El país, bajo las orientaciones de la OCDE y del Gobierno nacional, se aboca a un nuevo reto para la gestión integral de envases y empaques no peligrosos, de aparatos electrónicos y de escombros (MinAmbiente, 2016). Esto conllevará un compromiso nacional para que los objetivos priorizados en materia ambiental estén alineados con la competitividad, productividad y desarrollo. El país busca orientar su modelo de desarrollo hacia el crecimiento verde.

Colombia consumió 1,3 veces menos materiales para generar USD 1 que los países de ingreso medio alto y 2,8 veces más que la OCDE, mientras que la gestión de los residuos sólidos y las industrias del reciclaje en la Unión Europea presentaron retornos de aproximadamente USD 169 mil millones en el 2010, equivalente a la mitad del PIB de Colombia de 2015 (European Commission, 2010).

FIGURA 3

Tratamiento de residuos en el mundo (DNP, 2017)



Los propósitos del crecimiento verde tienen una dependencia crítica de la integración de la innovación en el sector de los residuos sólidos. La ciencia, la tecnología y la innovación deben constituirse en un pilar alineado con la planeación, la implementación y la viabilidad de las acciones a seguir en el futuro. Además, estos tres pilares impulsan oportunidades para nuevos negocios y puestos de trabajo. Es necesario el desarrollo de competencias para los nuevos requerimientos de empleo. También, son necesarios esquemas que faciliten la transferencia de tecnologías y mecanismos de financiamiento que las apoye.



2

—

Antecedentes

CAF es una institución financiera multilateral que promueve el desarrollo sostenible y la integración de la región. Reconociendo que el concepto de desarrollo sostenible es multidimensional, la institución otorga una gran importancia al aspecto ambiental y climático, considerando prioritario el apoyo que requiere la región para las transformaciones que permitan hacer una transición hacia una economía resiliente al cambio climático y baja en carbono.

CAF, en el marco de su visión institucional y a través de la Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático, incluyó en su Plan Estratégico el apoyo transversal a los diferentes sectores socioeconómicos incluyendo el de residuos a través de la movilización de recursos financieros internacionales que promuevan la economía verde.

En ese sentido, CAF busca convertirse en un agente que acompañe e impulse a los países de la región a lograr cambios significativos en la calidad de vida de sus habitantes, en la generación de capacidades de las instituciones públicas, así como en la reducción de los impactos y efectos del cambio climático a través de varias estrategias, incluida la de gestión integral de los residuos sólidos.

Por otro lado, la publicación *Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos* (UNEP, 2015) sentó un marco para la gestión de los residuos, posicionando el manejo de residuos sólidos como un área de atención urgente, además de demostrar la relación directa de los residuos con otras problemáticas ambientales, sociales, económicas y de salud pública.

Adicionalmente, con el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible se hace imperativo el trabajo integral por la mitigación de gases de efecto invernadero; de acuerdo con el IPCC, 1,5 GtCO₂eq en 2010 fueron producto del manejo inadecuado de residuos. Por ende, un adecuado manejo de éstos, así como la incorporación del modelo de economía circular tiene efectos en la reducción del uso de materias primas, y por lo tanto reducción de gases de efecto invernadero.

Todo lo anterior le ofrece a la región de América Latina y el Caribe la oportunidad de identificar opciones de mejora, a partir de las experiencias exitosas de los países más desarrollados en materia de residuos sólidos y adecuarlas a su contexto local.



3

—
**Economía circular,
cambio climático y
Objetivos de Desarrollo
Sostenible (ODS)**

La economía circular para combatir el cambio climático

En el 2017, la población de América Latina y el Caribe llegó a 625 millones de personas y se estima que el 80 % de la población se concentrará en áreas urbanas en los próximos años. En ese sentido, para alimentar a una población en crecimiento se debería producir un 50 % más de alimentos, 45 % más de energía y un 30 % más de agua en 2030. Sin embargo, el sistema económico actual no contempla los límites naturales del planeta, por lo que surgen consecuencias ambientales graves como la degradación del suelo, la contaminación de cuerpos hídricos y el aumento de emisiones de GEI, lo que contribuye al cambio climático global (FOMIN, 2017). Entonces, la lucha contra el cambio climático es cada vez más urgente y con ésta se pueden encontrar nuevas formas de producir y consumir bajo el concepto de econo-

mía circular. Dicho concepto está basado en el principio de que en la naturaleza nada se desperdicia, todo se transforma.

Para manejar la gestión municipal de los residuos se requiere de un cambio de paradigma (Figura 4): eso implica alejarse del concepto de un manejo de residuos enfocado únicamente en su disposición final y pasar a priorizar las opciones de conversión de los residuos en recursos y de energía. Adoptando esta idea en términos económicos y sociales, significa que estamos construyendo un futuro donde la palabra “residuo” es reemplazada por el término “materia prima secundaria”.

Teniendo en cuenta la escasez de recursos naturales y el crecimiento exponencial de la población, es necesario el cambio del modelo lineal de “extraer, producir y desechar” al modelo de la economía circular donde el concepto de ‘desecho’ no existe. La transición hacia la economía circular es posible si se implementan medidas de reducción y eliminación de resi-

FIGURA 4

Diagrama del sistema de la economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

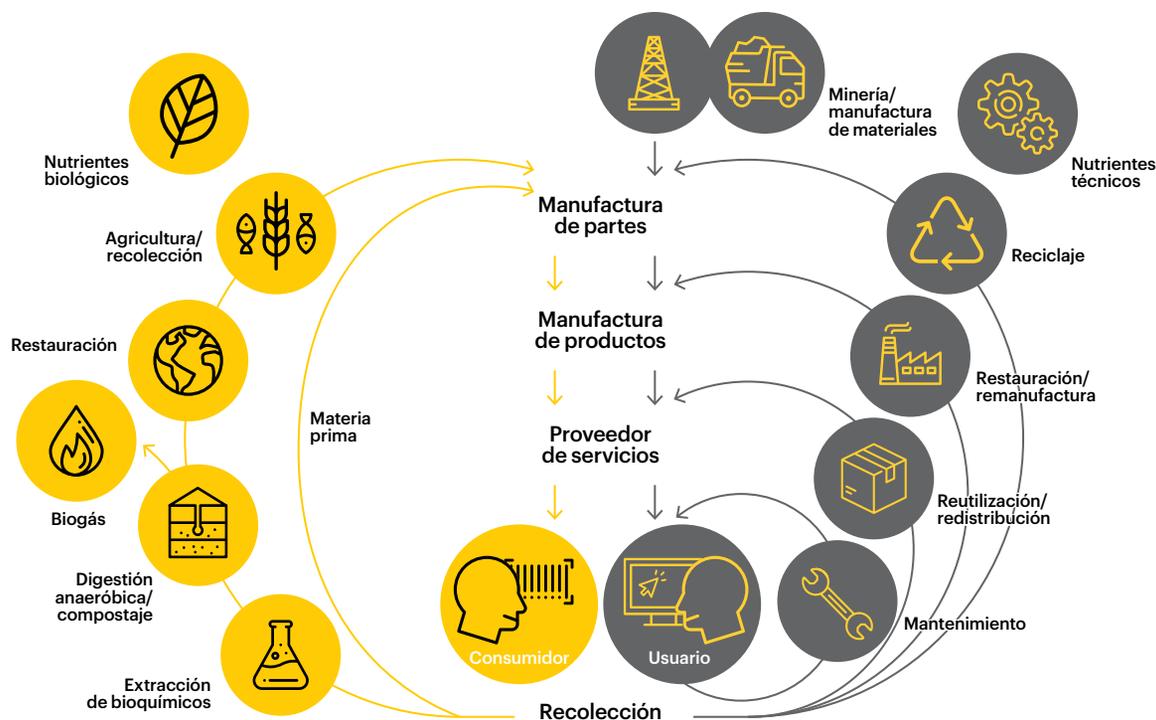


TABLA 3

Causas para definición de modelo de economía circular en sistemas de aprovechamiento de residuos
(Jaron & Bergs, 2013)

N	CAUSAS	DETALLE
1	Ambientales	Cuidado de suelo, agua y aire
2	Recursos	Residuos de materiales y energía
3	Climáticas	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)
4	Económicas	Disponibilidad de servicios de aprovechamiento de residuos
5	Económicas	Competencia regulada para oferta de servicios de residuos
6	Económicas	Creación de empleos, inversiones públicas y privadas, tecnología

duos, de reutilización y de reciclaje. La economía circular permite ahorrar energía, reducir costos para productores y consumidores, aliviar la presión antrópica frente a los recursos naturales, fomentar la innovación tecnológica, creatividad y competitividad y crear nuevos ejemplos y sectores en la economía. Un giro hacia un modelo circular podría generar en los próximos cinco años, según el World Economic Forum (2017), un trillón de dólares solo en ahorros de materiales, generar más de 100.000 nuevos empleos y evitar hasta 100 millones de toneladas de residuos. Estas cifras justifican replantear la transición a un modelo circular y deberían atraer la atención del sector público y del sector privado por igual.

Es importante indicar que, aunque el reciclaje es esencial en la economía circular, hay un límite en la capacidad de recirculación de los recursos. Esto, ya que siempre habrá pérdidas de material y utilidad por diversos factores como el desgaste, la corrosión y la contaminación de los componentes.

En América Latina y el Caribe se dan circunstancias que se pueden considerar positivas para esta transición hacia un modelo circular. En este contexto, la innovación tecnológica juega un rol relevante. La economía circular exige el aprovechamiento de los residuos como materia prima y energía, como se indica en la Tabla 3.

Manejo de los residuos sólidos y su impacto sobre el cambio climático

Las manifestaciones naturales extremas del proceso de cambio climático son consecuencias principalmente del aumento de la temperatura global del planeta, causados por el incremento de la generación de GEI resultante de las actividades humanas. En 2017, los países de la región participaban del 8,6 % de la población mundial, el 7,66 % del PIB mundial y el 5 % de las emisiones totales de GEI (woldometers, 2018; estadista, 2018; ONU, 2017).

En el 2010, el IPCC estimó que la gestión de los residuos sólidos conformó el 3 % de las emisiones globales de los GEI, con la mayor contribución proveniente de emisiones de CH₄ en los rellenos sanitarios, los cuales representan la mayor fuente antropogénica de CH₄ y un importante contribuyente al calentamiento global (Chalvatzaki et al., 2010; IPCC, 1996; Mackie and Cooper, 2009; Paraskaki et al., 2005). Aunque esto pueda parecer una pequeña fracción de las emisiones globales, esta cifra equivale a 1.350 millones de toneladas de CO₂eq, lo cual ofrece importantes oportunidades de mitigación de GEI (IPCC, 2010).

Las emisiones de los rellenos sanitarios en los países en desarrollo y en las economías en transición son altamente significativas, especialmente debido al alto

porcentaje de componentes biodegradables contenidos en los residuos (Daul, 2014; Shirley et al., 2009). Se estima que estas emisiones aumentarán en el futuro a causa del incremento de la población urbana y de la mayor generación de RSM (Frøiland Jensen and Pippatti, 2002, Weitz et al., 2008). Las emisiones en los rellenos sanitarios (Landfill Gas, LFG) se generan por la descomposición de la materia orgánica en los sitios de disposición final de los RSM; este gas está compuesto de aproximadamente 50 % de CH₄ y 50 % de CO₂, además de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos no metálicos (Johnson, 2007; Thorneloe S et al., 1990). El CH₄ es el segundo GEI más importante (después del CO₂) en cuanto a su potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) que es 21-25 veces más grande que la del CO₂ (Forster et al., 2007; IPCC, 2006). El concepto de GWP es una medida de cuanta energía puede absorber una tonelada de un gas en un determinado período de tiempo, generalmente 100 años, relativo a las emisiones de una tonelada de CO₂.

El CH₄ es un GEI que proviene principalmente de fuentes antropogénicas y su mitigación es crucial para controlar el cambio climático en el corto-mediano plazo (Hoglund-Isaksson, 2012, Shindell et al., 2012). En la mayoría de los países, por lo menos el 4 % de las actuales emisiones anuales de GEI podrían ser mitigadas si las prácticas de gestión de los residuos se pudieran optimizar con mejores tecnologías (OECD, 2012). Se estimó que una reducción entre el 10-15 % en las emisiones globales de los GEI podría lograrse a través la implementación de nuevas tecnologías y el fortalecimiento de sistemas actuales para ejecutar medidas de mitigación en los rellenos sanitarios como: producción de energía desde los residuos, compostaje de residuos orgánicos y reciclaje. Además, incluyendo la prevención de la generación de residuos se podría incrementar esta contribución hasta el 20 % (UNEP, 2015).

A escala global, las emisiones totales de los rellenos sanitarios tienen un potencial de reducción aproximadamente del 30 %, con una inversión mínima de USD 15 /TCO₂eq, pero en este sector otra reducción potencial de emisiones existe para distintas actividades de mitigación con un costo de USD 60 /TCO₂eq, alcanzando alrededor de 76 % más de la línea base actual y representando la mayor reducción potencial

total entre todos los sectores generadores de emisiones GEI (Global Methane Initiative, 2010). Para reducir el impacto de los rellenos sanitarios en las emisiones de GEI, las medidas de producción de compost y de recuperación del CH₄ son fundamentales (Daul, 2014; Thompson et al., 2009).

También el reciclaje y la minimización de residuos resultan medidas muy efectivas por cada tonelada métrica de RSM manejada con estas opciones. El IPCC (Bogner et al., 2007) estima que el reciclaje puede contribuir notablemente en la reducción de las emisiones de los GEI, utilizando materiales secundarios, gracias a dos factores:

1. reducción directa del consumo de energía en el proceso de producción (-35 % por el vidrio, -50 % por el papel, - 70 % por el plástico)
2. evitar la extracción, transporte y procesamiento de las materias primarias

De igual manera, la incineración puede contribuir a esta reducción por cantidades mayores de RSM (OECD, 2012); finalmente, la digestión anaerobia y los sistemas de *Waste to Energy* (WTE) tienen el significativo potencial para la reducción de emisiones de GEI

Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en la gestión de los residuos sólidos

En el futuro, el cambio climático incrementará la frecuencia e intensidad de los desastres naturales tales como ciclones, huracanes y tifones, inundaciones, sequías y fuertes precipitaciones; también con un incremento la temperatura promedio (UNFCCC, 2007). Las emisiones de gases de efecto invernadero de origen humano están cambiando los patrones de precipitaciones en el planeta, los cambios observados no se pueden explicar atendiendo únicamente a la variabilidad natural del clima (Zhang et al., 2007). El cambio climático produce cambios en las temperaturas globales, cobertura de las nubes, patrones de las precipi-

TABLA 4

Resumen de las relaciones entre el cambio climático y el impacto en el manejo de los residuos.

VARIABLE CLIMÁTICA	POTENCIAL CAMBIO CLIMÁTICO	IMPACTO SOBRE LOS RESIDUOS
Temperatura	Calentamiento global entre 1- 5° C	Aumento de la demanda de agua para los sitios de operaciones
	Incremento del número de días secos	Deterioro de la calidad del aire
	Reducción del número de días fríos	Impactos en los procesos biológicos (compostaje, digestión anaerobia)
Precipitaciones	Días más húmedos	Aumento del riesgo de inundaciones
	Aumento de la intensidad de las precipitaciones	Destrucción de las infraestructuras
		Afectación de la estabilidad de los sitios de disposición final
		Impactos en los procesos biológicos (compostaje, digestión anaerobia)
Nubosidad	Reducción de la nubosidad	Riesgos para la salud de los trabajadores
Humedad	Aumento de la humedad específica	Impacto sobre los procesos biológicos realizados al aire libre
Nivel del mar	Incremento del nivel promedio del mar	Inundaciones de las instalaciones para la gestión de los residuos
		Aumento de la erosión de las zonas costeras

taciones, velocidad del viento, todos factores que podrían generar un impacto futuro en las infraestructuras e instalaciones de la gestión de residuos sólidos (Tabla 4).

Existen varias medidas de adaptación al cambio climático en el sector de los residuos sólidos: las opciones tecnológicas (nuevas alternativas de la disposición final de residuos), el cambio de comportamiento (reciclaje y separación en la fuente) y otras estrategias que incluyen una gestión adecuada de residuos sólidos.

El tipo de residuos y las diferentes actividades de gestión tienen distintos impactos en el consumo de energía, emisiones de CH₄, almacenamiento del carbono, y además tienen distintos grados de vulnerabilidad frente al cambio climático. Los sitios de disposición final de los residuos sólidos (rellenos sanitarios, botaderos a cielo abierto) son muy vulnerables a las inundaciones causadas por el aumento de los eventos extremos de las precipitaciones (EPA, 2017). Las inundaciones representan una de las mayores amenazas a las infraestructuras de los residuos sólidos, porque si no se provee de un sistema de canalización eficiente de las aguas alrededor del relleno sanitario los eventos de fuertes lluvias pueden degradar la instalación, cau-

sando la ruptura de la estructura y permitiendo la salida de los residuos y de los lixiviados que pueden contaminar el entorno.

Entre las posibles medidas de adaptación, la reducción de la vulnerabilidad a las inundaciones relacionadas con el manejo de los residuos sólidos en las ciudades representa una de las acciones prioritarias y requiere grandes mejoras. Una primera etapa sería el desarrollo de una recolección regular y eficiente de los residuos en las carreteras, vías y canales (Simply Green, 2009). Las autoridades que manejan los residuos sólidos pueden reducir los riesgos de inundaciones relacionadas con los residuos también optimizando la ubicación de los sitios de disposición final utilizando información sobre geología, hidrografía, riesgos de inundaciones, cercanía a la superficie acuática y a las poblaciones vulnerables (UN-HABITAT, 2011).

El potencial de mitigación al cambio climático en el sector de la gestión de residuos sólidos es también significativo (Umwelt Bundesamt, 2015). Las tecnologías de mitigación actuales incluyen la recuperación de gases desde los rellenos sanitarios y prácticas mejoradas de los sitios de disposición final.

Además, se disminuye la generación de GEI a través del compostaje controlado, de la incineración y de una mayor cobertura del servicio de recolección de los residuos sólidos. La reducción de la generación de residuos y la explotación de energía a partir de éstos produce una reducción indirecta de las emisiones de GEI mediante la conservación de las materias primas, la mejora de la eficiencia energética y de los recursos, y la disminución del uso de combustibles fósiles.

Las estrategias flexibles y los incentivos financieros pueden ampliar las opciones de gestión de residuos para lograr los objetivos de mitigación de los GEI; la decisión del uso de una tecnología específica está influenciada por una variedad de factores tales como la cantidad y las características de los residuos, los costos y las cuestiones de financiación, los requisitos de la infraestructura, incluida la superficie terrestre disponible, los aspectos de recolección y transporte, las limitaciones legislativas y del marco regulatorio (Bogner et al, 2008).

Residuos sólidos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El Capítulo 21 de la Agenda 21 establece las bases para un manejo integral de los residuos sólidos municipales como parte del desarrollo sostenible (Agenda 21, 1993). Se establece que el manejo de los residuos debe contemplar la minimización de su generación, el reciclaje, la recolección y el tratamiento, y disposición final adecuados. También, se indica que cada país y ciudad establecerán sus programas para lograr lo anterior de acuerdo con sus condiciones locales y a sus capacidades económicas.

Las metas y los esfuerzos requeridos en temáticas como pobreza, equidad de género y oportunidades, educación, salud y medio ambiente, ya identificados en las conferencias específicas sobre cada tópico durante la década de 1990 se enunciaron dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el año 2000 (OPS/AIDIS/BID, 2010). El 25 de septiembre

TABLA 5

Objetivos mundiales en materia de gestión de residuos y ODS (UNEP, 2015)

OBJETIVOS MUNDIALES EN MATERIA DE GESTIÓN DE RESIDUOS	ODS CONEXOS	
Garantizar para el año 2020	W.1 Generalizar el acceso a servicios adecuados, seguros y asequibles de recolección de residuos sólidos	3- Salud y bienestar 11- Ciudades seguras
	W.2 Poner fin a los vertederos no controlados y la quema a cielo abierto	3- Salud y bienestar 11- Ciudades seguras 12- Producción y consumo responsables 6- Agua limpia y saneamiento 14- Recursos marinos 15- Ecosistemas terrestres
Garantizar para el año 2030	W.3 Lograr una gestión de todos los residuos, en particular los residuos peligrosos, que sea sostenible y respetuosa con el medio ambiente	12.4- Gestión de todos los residuos 13- Cambio climático 7- Acceso a la energía
	W.4 Reducir sustancialmente la generación de residuos a través de la prevención y de las "3R" (reducir, reutilizar y reciclar), y crear así empleos verdes	12.5- las "3R" 8- Crecimiento y empleo 1- Fin de la pobreza 9- Industria sostenible
	W.5 Reducir a la mitad la cantidad de residuos alimentarios per cápita a escala mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores, y disminuir las pérdidas de alimentos en la cadena de distribución	12.3- Residuos alimentarios 2- Lucha contra el hambre; logro de la seguridad alimentaria

de 2015 los líderes mundiales adoptaron un conjunto de 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años (UN, 2015). Los ODS, también conocidos como Objetivos Mundiales, son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.

La gestión de residuos está vinculada a una gran parte de las metas y objetivos que los países han establecido para los próximos años, como la salud, la calidad de las ciudades, el empleo, los procesos de producción y consumo, la lucha contra el hambre y la mitigación del cambio climático. En definitiva, la sostenibilidad, está comprometida en función de cómo, a nivel local, nacional y global, se logren gestionar los residuos. Como indica el informe *Global Waste Management Outlook (2015)*, la gestión de los residuos sigue siendo un reto mundial en el Siglo XXI.

La gestión de residuos sólidos está relacionada con los ODS definidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, siendo incluido tanto explícita como implícitamente en la mayoría de los 17 objetivos (Tabla 5).

Gestión de los residuos sólidos dentro del Acuerdo de París

Los países que firmaron el Acuerdo de París el 12 de diciembre de 2015 durante la vigésima primera Conferencia de las Partes (COP) de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMMUCC), se comprometen a limitar el calentamiento global muy por debajo de 2°C, concentrando sus esfuerzos para limitar el aumento incluso por debajo de 1,5°C, con lo cual se reducirá significativamente los riesgos y el impacto del cambio climático sobre el planeta. El Acuerdo de París busca reducir las emisiones de GEI y alcanzar un equilibrio entre las emisiones y la capacidad del planeta de absorberlas. A través de este acuerdo, los gobier-

nos locales y sub-nacionales son reconocidos como actores clave para la implementación de acciones transformadoras en el ambiente urbano. Para lograr el objetivo pactado es importante tener en cuenta, entre otros, la gestión de residuos sólidos y la adopción de medidas de producción y consumo sustentables.

En el marco del Acuerdo de París, los países presentaron las contribuciones determinadas a escala nacional (NDC, por sus siglas en inglés), que detallan los planes mediante los cuales cada país contribuye a reducir las emisiones globales de GEI. Los NDCs, que son de carácter público, en la mayoría de los países de ALC consideran la adecuada gestión de residuos sólidos como una oportunidad para contribuir a mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, con respecto a los niveles preindustriales.

Los NDCs presentan las políticas climáticas de los países y sus acciones para reducir las emisiones y adaptarse al cambio climático en numerosos sectores, como por ejemplo, la descarbonización del suministro de energía, apostando por la energía renovable; mejoras en la eficiencia energética, una gestión adecuada del uso del suelo y de los residuos sólidos, la planificación urbana y el transporte, entre otros.

América Latina y el Caribe es una región especialmente vulnerable al cambio climático, a pesar de que los países que la conforman no son grandes emisores de GEI, deben afrontar importantes consecuencias si la temperatura del planeta continúa en aumento. Para evitar que los GEI sigan incrementándose –y prevenir desastres– se espera que los países continúen transitando hacia matrices energéticas cada vez más limpias, en particular sustituyendo combustibles fósiles por fuentes de energía renovable.

Una de las vías poco usadas para la producción de energía a través de una fuente renovable es la conversión adecuada de la biomasa, entendida según la Agencia Internacional de la Energía (IEA) como la producción de energía a partir de materiales no fósiles de origen biológico, tales como los residuos orgánicos municipales.

4

—

Metodología



Identificación de los ejes temáticos prioritarios

La presente investigación se realizó a través de una búsqueda y de un análisis de datos hallados en publicaciones de carácter local, regional e internacional, vinculados a las tecnologías innovadoras para la gestión de residuos sólidos y vinculados a la mitigación y adaptación del cambio climático. Inicialmente se buscaron datos e información sobre el contexto de la gestión de los residuos sólidos en los países de América Latina y el Caribe, que representa el área de interés del presente estudio para tener una visión general de la situación actual en la región y sus prioridades. Posteriormente, la investigación se enfocó en la búsqueda de casos de estudio de implementación de tecnologías innovadoras y sistemas exitosos de gestión de residuos sólidos en Europa y Asia, con efectos en la mitigación de las emisiones de los GEI.

Varios estudios (Acurio et al., 1997; BID, 2015 ECLAC, 2009; GSMA, 2014; Hernández-Berriel et al., 2016; Hoornweg et al., 2007; UNEP, 2010; UNEP, 2015; UNESCO, 2010) coinciden en que los Países de la región tienen distintas necesidades para mejorar los sistemas actuales de gestión de residuos sólidos, entre las cuales existen las siguientes:

- Manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos
- Manejo de residuos eléctricos y electrónicos
- Aumentar separación en la fuente
- Aumentar tasas de reciclaje
- Promover el uso de tecnologías limpias
- Implementar sistemas de aprovechamiento energético
- Buscar usos y mercado para el compost
- Mejorar educación y participación ciudadana
- Financiamiento y esquema tarifario
- Eliminar quemas y disposición ilegal
- Fortalecimiento institucional y de capacidades
- Mejorar asociación entre municipios (mancomunidades)
- Mejora del marco normativo

A partir de este análisis se seleccionaron los cuatro ejes temáticos principales que se consideran estratégicos para América Latina y el Caribe y que fue-

ron objeto de la investigación en la búsqueda de tecnologías innovadoras aplicadas en los países desarrollados (Alemania, España, Italia, Suiza, Noruega, Japón y Corea del Sur) y que podrían tener una potencial replicabilidad en la región. Estos cuatro ejes son:

- a. Manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos
- b. Aprovechamiento energético de los residuos
- c. Gestión y reciclaje de los residuos eléctricos y electrónicos (RAEE)
- d. Reciclaje de llantas usadas, PET y papel

Entrevistas con especialistas

A partir de los ejes prioritarios mencionados anteriormente, las tecnologías encontradas a través de la información de la literatura internacional han sido analizadas y cruzadas con la información recolectada a través de varias entrevistas y comunicaciones con expertos y especialistas europeos y latinoamericanos en el sector de residuos sólidos.

Gracias al intercambio de opiniones y comentarios de los expertos y a la profundización de los aspectos técnicos, fue posible afinar la información recolectada para identificar las tecnologías más adecuadas para los países de la región, tomando en cuenta los factores limitantes y los requisitos mínimos para poder ser implementadas con éxito.

Por cada eje temático se buscaron experiencias y casos de estudio que han resultado exitosos en Europa y Asia, que serán presentados en los próximos capítulos con una descripción detallada de las características principales y las referencias correspondientes.

Criterios de análisis de las tecnologías

Las diferentes tecnologías identificadas para el tratamiento y la disposición de los RSM se analizaron en función de los siguientes parámetros técnicos:

- **Recuperación de recursos:** recuperación de energía (electricidad, agua caliente, combustibles líquidos) o materiales de otro beneficio (compost, químicos, etc.). La recuperación de la energía es expresada en unidad de kilovatio-hora de energía producida por la tecnología para cada tonelada de RSM procesada (kWh/ton). Se considera también la recuperación de materiales de diferentes tipos.
- **Alternativas a los rellenos sanitarios:** la fracción de los RSM pueden ser procesados y tratados en formas alternativas a la disposición final en los rellenos sanitarios.
- **Emisiones de los GEI:** el grado al cual la tecnología causa una reducción o un incremento en las emisiones de los GEI.
- **Consumo de los recursos de la tierra:** la cantidad relativa de la superficie de tierra requerida para la ubicación y la operación de la tecnología
- **Uso de agua:** la cantidad de agua consumida en la operación de la tecnología.

5

—

Resultados



La lógica general que guía la política europea en la gestión de los residuos sólidos es la jerarquía de residuos (*waste hierarchy*), que prioriza la prevención, minimización, reuso, reciclaje, otras recuperaciones y finalmente la disposición final como última opción deseable (EEA, 2015), cuyo objetivo es extraer los máximos beneficios de los productos y generar la cantidad mínima de residuos, con un orden descendente de preferencias (Figura 5).

Fundamentalmente, es un listado de prioridad para el uso eficiente de los recursos que prevé:

- la reducción en la fuente de la cantidad de residuos generados (prevención y minimización), gracias también a una mayor atención en el eco-diseño de los productos que deben ser concebidos de manera que permitan una fácil separación de las partes y con materiales reciclables;
- la recuperación y aprovechamiento de los recursos (reuso, reciclaje, recuperación de energía) una vez terminada su función principal, introduciendo iniciativas de adaptación para nuevos usos y de incentivo a los mercados del usado, el reuso de las materias primarias y la producción/captación de energía;

→ y finalmente el último recurso es la disposición final (que incluye todas las posibles opciones con la forma más compatible con el medioambiente), incluyendo los rellenos sanitarios.

En el 2015 la generación anual per cápita de RSM de los países europeos tuvo un amplio rango que estuvo entre 247 kg per cápita en Rumania, hasta 789 kg per cápita en Dinamarca. Este rango refleja las diferencias en los patrones de consumo, de bienestar económico, pero dependen también de cómo los RSM son recolectados y manejados (EUROSTAT, 2017). A pesar de que la generación de residuos ha aumentado en estos últimos años, según la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2015) el número de países que utilizan rellenos sanitarios para la disposición final de residuos ha disminuido (Tabla 6), con una reducción anual promedio de 4,2 % (la producción per cápita (PPC) bajó de 503 kg/hab/año hasta 478 kg/hab/año en promedio). La reducción de la cantidad de rellenos sanitarios en Europa se debe principalmente a la legislación que regula la disposición final de residuos biodegradables en rellenos sanitarios mediante la penalización con un costo por tonelada dispuesta. Este desincentivo económico explica gran parte de los esfuerzos que hicieron los países europeos para adecuar sus sistemas de gestión de residuos a la normativa vigente (Directiva 1999/31/EC del 26 abril 1999).

FIGURA 5

Jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos (Recytrans, 2013)



TABLA 6

Tendencias de la gestión de residuos en los países en estudio entre 2001-2010

(European Enviromnet Agency, 2013; * M. Niyati, 2015; **Y. Seo, s.f.).

PAÍS	VARIACIÓN PORCENTUAL DE GENERACIÓN (2001-2010)	VARIACIÓN PORCENTUAL DE RECICLAJE (2001-2010)	% RSM ENVIADOS A RELLENOS SANITARIOS (2001-2010)	TASA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO (2010)
Alemania	-8,44 %	22,5 %	Desde el 2006 no hay	32 %
Italia	Se mantuvo constante	18 %	-25 %	12 %
España	-15,3 %	13 %	8 %	7 %
Noruega	70 %	-2 %	Se utilizaron solo en 6 % en el 2010	50 % de los residuos son incinerados
Suiza	16 %	2 %	Desde el 2006 no hay	50 % de los residuos son incinerados
Japón*	-17 %	2,7 %	-4,4 %	79 % de los residuos son incinerados
Corea del Sur**	5 %	17 %	-69 %	18 % de los residuos son incinerados

Existe un amplio rango de tecnologías disponibles para mitigar las emisiones provenientes de la gestión de los residuos sólidos; estas tecnologías incluyen la recuperación de metano en rellenos sanitarios, la elaboración de compost con una fracción de residuos (evita generación de emisión de GEI) y procesos térmicos (Incineración, co-generación), MBT, digestión anaerobia. Finalmente, existen también tecnologías más complejas como la pirólisis y la gasificación.

A continuación, se presentan los principales resultados del estudio en materia de identificación de tecnologías:

Tecnologías Innovadoras para Recolección y Transporte de los residuos sólidos

En Europa, las políticas de gestión de los residuos están enfocadas principalmente en la reducción de los impactos ambientales y sociales, mejorando la eficiencia de los recursos, fomentando el reciclaje y mi-

nimizando la extracción de nuevos recursos naturales (Unión Europea, 2010). La GIRS es un elemento clave para lograr estos resultados y el crecimiento sostenible en Europa. Por el marco normativo, en los últimos años la mayoría de países europeos han mejorado la recolección diferenciada en la fuente, aplicando nuevas tecnologías y sistemas participativos más eficientes. Las nuevas tecnologías para la recolección selectiva buscan facilitar al usuario la clasificación del residuo a través de colores identificativos, textos sencillos y formas amigables que motiven al ciudadano a colaborar con el ambiente. Los contenedores para la recolección diferenciada son cada vez más modernos para mejorar la cantidad y calidad de material reciclado y facilitar la participación de los ciudadanos.

Varias tecnologías de recolección se están implementando actualmente en Europa, en Asia y en otros países en materia de residuos sólidos. Por ejemplo, existen sistemas que reconocen a la persona que recicla y el tipo de residuos, sistemas que avisan cuando los contenedores están llenos y compactan automáticamente la basura y sistemas especializados para las personas con discapacidad. También, hay sistemas que fomentan el reciclaje, como máquinas que dan dinero a cambio de la entrega de materiales recicla-

bles y pantallas luminosas en los contenedores para dar información al usuario sobre la clasificación de los residuos. Algunos ejemplos de tecnologías y sistemas destinados a la GIRS se detallan a continuación:

En España hay contenedores inteligentes que se abren solo cuando reconocen al usuario, gracias a un lector RFID (Radio Frequency Identification) en la tapa, lo que disminuye la posibilidad de prácticas indebidas. En algunas ciudades, se instaló un contenedor solo para materia orgánica con el fin de producir compost de alta calidad, de premiar a quien recicle, y de incrementar los impuestos a quien no lo hace, además de producir un importante ahorro de uso de combustible y de recursos humanos. En Barcelona se instalaron contenedores inteligentes capaces de compactar automáticamente la basura a través de energía solar, para optimizar el control y la recolección de los residuos, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

En Alemania, los envases reciclables llevan una información para que el consumidor pueda devolverlos en los contenedores específicos y estos los puedan validar, para que la máquina reembolse directamente al consumidor los centavos equivalentes al depósito que había pagado como parte del envase (SDDR- Sistema de Depósito, Devolución y Retorno).

En Italia varias ciudades medianas y pequeñas del centro-norte han instalado desde el 2011 diferentes tipos de contenedores inteligentes para la recolección separada en la fuente de los residuos orgánicos, papel, plástico, que funcionan solamente a través de una tarjeta personalizada para el reconocimiento de cada usuario, incrementando la tasa de reciclaje en muy pocos años.

En Corea del Sur se instalaron más de 2.500 contenedores inteligentes, solares y con compactación automática de los residuos, en distintas ciudades, campus universitarios, parques y restaurantes, con una reducción de los costos de gestión hasta del 80 % (Anexo-caso de estudio N.º1).

En Tokio (Japón) se remplazaron los antiguos contenedores con otros nuevos con pantalla LCD, en donde se muestran las últimas noticias, la información del tráfico entre otros, con lo cual se logró vincular más usuarios al uso de los contenedores y con ello hacer una más efectiva separación en la fuente.

Además de mejorar la tecnología de los contenedores para la recolección separada de los residuos sólidos, en muchas grandes ciudades europeas se implementaron nuevas tecnologías para optimizar los sistemas de transporte de los residuos sólidos, como por ejemplo el uso del biometano, producido con el tratamiento de la basura, en los vehículos del servicio público, reduciendo considerablemente las emisiones de CO₂.

En Madrid (España) la Empresa Metropolitana de Transporte ha apostado en los últimos años por una renovación hacia una flota más verde: 400 autobuses se están incorporando entre 2017 y 2018 y serán todos propulsados por biogas comprimido generado de la descomposición de los residuos orgánicos domésticos, de manera análoga al GNC (Gas Natural Comprimido).

En Berlín (Alemania) desde el 2013 operan 150 camiones recolectores de residuos sólidos Mercedes-Benz con combustible biogás producido en la planta de generación Berliner Stadtreinigung, que permite el ahorro de aproximadamente 2,5 millones de litros de diésel por año, con una consecuente reducción de 6.200 toneladas de CO₂ por año (Anexo- caso de estudio N.º 2).

Tecnologías de Tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos

Países como Suiza, Alemania, Noruega (Anexo- caso de estudio N.º 4) e Italia (Anexo- caso de estudio N.º 3) se han basado en sistemas de separación en la fuente por más de 15 años. Países como Reino Unido, Francia, Estonia y Finlandia están en periodos avanzados de implementación de estas prácticas. Existe un considerable potencial para aplicar estos sistemas en países como España y Portugal (ECN, 2016).

De forma similar, varios estudios en estas regiones donde la recolección diferenciada de residuos orgánicos está establecida desde hace varios años, indican que una alta proporción de estos residuos permanecen con un elevado potencial de mejora (UEC, 2010).

TABLA 7

Instalaciones de digestión anaerobia de RSM en Europa (Arsova L., 2010)

PAÍS	NÚMERO DE PLANTAS	CAPACIDAD DEL PAÍS (TON/AÑO)
Alemania	55	1.250.000
España	23	1.800.000
Suiza	13	130.000
Francia	6	400.000
Holanda	5	300.000
Bélgica	5	200.000
Italia	5	160.000
Austria	4	70.000
Suecia	3	35.000
Portugal	3	100.000
Inglaterra	2	100.000
Dinamarca	2	40.000
Polonia	1	20.000
TOTAL	127	4.605.000

Tecnologías para la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)

La producción global de aparatos eléctricos y electrónicos, particularmente de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), está en crecimiento. En el 2014, el sector de las TIC en Europa alcanzó el 6,41 % en Suecia, seguido de UK con el 5,79 % y Hungría con el 5,69 % (Datamarket, 2014). Con el aumento en la producción de equipos y aparatos electrónicos, aumenta la producción de los RAEE. La disposición y generación de este tipo de residuos son un riesgo para el ambiente debido a la toxicidad de sus componentes, pero también representan una oportunidad comercial dado su composición. En Europa, los RAEE son uno de los tipos de residuos con mayor crecimiento (3-5 % por año), con nueve millones de toneladas generadas en el 2005, y un crecimiento esperado de más de 12 millones de toneladas para el 2020 (EU, 2017).

La Directiva RAEE en Europa (2012/19/EU) ha sido incorporada en las normativas nacionales de los países miembros de la Unión Europea, designando los productores de los equipos financieramente y físicamente responsables de sus aparatos hasta el final de ciclo de vida (Responsabilidad Extendida del Productor – REP). La incineración y la disposición final en rellenos sanitarios son los métodos que se han utilizado tradicionalmente para el manejo de los RAEE. Sin embargo, se han desarrollado diferentes estrategias para la clasificación y aprovechamiento de este tipo de residuos. La capacidad de procesamiento tiene una gran dependencia de la infraestructura disponible para transporte, recolección, recuperación y re-venta. La infraestructura se ve afectada principalmente por la regulación gubernamental, la cantidad de residuos generados y factores económicos vinculados con el aprovechamiento de los residuos.

En Suiza, el primer sistema de reciclaje de los RAEE fue implementado en 1991, a partir de la recolección de los refrigeradores usados a lo largo de los años todos los

aparatos han sido paulatinamente incluidos en el sistema, gracias a los puntos de recolección gratuita.

En Alemania, antiguamente el manejo de residuos, incluyendo los electrónicos, era responsabilidad única de los municipios, y no existía una conciencia colectiva sobre las implicaciones de la contaminación generada por el mal manejo de ellos. El uso de aparatos eléctricos domésticos, tales como lavadoras y refrigeradores, empezó en los años 50 y aumentó en la década siguiente. Hasta marzo de 2006 los residuos electrónicos eran tratados por las autoridades de manejo de residuos públicos (AMRPARMP) y desde entonces esa responsabilidad es compartida con los productores. Desde noviembre de 2005 todo productor o distribuidor que desee comercializar aparatos eléctricos o electrónicos en el mercado alemán debe estar registrado en la Stiftung Elektro-Altgerate Register (Fundación para el Registro de Electrónicos, EAR), una entidad privada operada y financiada por los fabricantes de aparatos eléctricos y electrónicos. Al registrarse, los productores deben aportar una garantía para cubrir los costos de reciclaje de RAEE domésticos. Los aparatos eléctricos y electrónicos utilizados en hogares alemanes son alrededor de 900 millones. Esta situación lleva a generar cerca de 1,8 millones de toneladas de RAEE con materiales valiosos como cobre o acero. Cada año se recolectan, reciclan y/o tratan cerca de 40.000 toneladas (INE, 2011).

La gestión de los RAEE en Noruega fue introducida por el Ministerio del Ambiente en el 1998 con la normativa sobre Protección contra la contaminación. Esta regulación obliga a los productores, distribuidores e importadores a financiar y organizar la recolección y el tratamiento sostenible en línea con los requisitos de la normativa (Anexos- caso de estudio N° 5).

Japón ha sido uno de los primeros países en el mundo en implementar programas de reciclaje de los RAEE. Desde la década de los 90 la generación de residuos electrónicos en Japón se ha incrementado de manera importante. Específicamente, los residuos provenientes de la industria eléctrica y electrónica (incluyendo equipo eléctrico y electrónico, de comunicaciones, control, instrumentos de medición eléctrica, pilas secas, bombillas eléctricas, entre otros) en el año 2006 tuvieron un incremento del 105,8 % con respecto al 2005. En lo relativo a las computadoras, se estimó

que en 1995 llegaron al final de su vida útil aproximadamente 30.000 toneladas de estos equipos, de lo cual se estimó que este volumen aumentó a 100.000 toneladas en el 2010. A pesar de eso, en el 2013 aproximadamente 550.000 toneladas de aparatos eléctricos y electrónicos fueron recolectados y tratados a escala nacional, equivalentes aproximadamente al 25-30 % del total. En los últimos años Japón desarrolló varios programas seguros y eficientes de manejo de los RAEE (Anexos- caso de estudio N° 6).

Tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos sólidos

Los RSM son considerados como una fuente de energía renovable porque contienen una alta proporción de biomasa como papel/cartón, madera y comida. Desde un punto de vista de la gestión sostenible de residuos, las prioridades son la reducción de la generación de los residuos y el reciclaje de los materiales, ambas de gran beneficio en términos de mitigación y de ahorro de recursos para la producción de nuevos productos (Ryu, 2010). También, el aprovechamiento de energía de los residuos sólidos no reciclables es esencial para reducir el uso de los combustibles fósiles. La extracción de gas en un relleno sanitario utilizando pozos verticales o colectores horizontales es la medida de mitigación más importante para este sector. Algunos estudios muestran que la mitigación por esta técnica puede llegar a más del 90 % (Spokas et al. 2006).

WTE: la tecnología de la Waste to Energy utiliza los RSM para generar energía eléctrica y calórica a través de varios métodos complejos de conversión. Esta tecnología puede ser aplicada a diferentes tipos de residuos: semi-sólidos, líquidos y gaseosos.

Incineración: Assamoi and Lawryshyn (2012) definen la incineración de los residuos como una tecnología de tratamiento térmico asociado con la combustión de sustancias orgánicas presentes en el material de residuos. La mayor diferencia entre la incineración y las otras tecnologías es la presencia de oxígeno. La

tecnología convencional de WTE es la combustión directa (incineración) de los residuos, pero ahora están disponibles tecnologías más avanzadas como la producción de RDF (refuse-derived-fuel). El RDF se obtiene al procesar mecánicamente los RSM separando la parte combustible de la no combustible y preparar la porción combustible para su uso. El potencial de la

WTE y su impacto en la reducción de las emisiones GEI son muy significativos. En el 2005, 431 plantas WTE operaban en Europa y Francia, Alemania, Italia y Noruega (Anexos- caso de estudio N° 8) tenían la mayoría de las instalaciones (Banco Mundial, 2011). En los últimos años varios otros países de Europa y de Asia implementaron distintas tecnologías de WTE: en

TABLA 8

Principales tecnologías modernas para el tratamiento de RSM (Banco Mundial, 2011)

TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO (TONELADAS/DÍA)	EXPERIENCIAS PREVIAS
WTE	Los RSM son quemados en alta temperatura y la energía se recupera (electricidad o calor). La ceniza es depositada en los rellenos o utilizada como agregado en otras aplicaciones, dependiendo del marco normativo y de las facilidades disponibles.	Variable (5,1-1.000)	Amplia experiencia en Alemania, Suiza, Italia, España, Noruega, Corea del Sur y Japón
Gasificación térmica	Los RSM son pre-procesados, después gasificados en presencia de poco oxígeno. El gas de síntesis resultante es utilizado como combustible para generar energía. La ceniza es depositada en los rellenos o se puede usar como agregado en otras aplicaciones.	Variable (40-900)	Amplia experiencia en Alemania, Suiza, Italia, España, Noruega, Corea del Sur y Japón
Pirólisis	Los RSM son pre-procesados, depositados en un contenedor cerrado y después gasificados en ausencia de oxígeno, calentando externamente el contenedor. El gas de pirólisis resultante es utilizado como combustible para generar energía. Los residuos de carbón o aceitosos son depositados en los rellenos o utilizados como materia prima en otros procesos.	Variable (100-700)	Experiencia en Alemania, Suiza, Italia, España, Noruega, Corea del Sur y Japón
Gasificación por arco de plasma	Los RSM son pre-procesados, después gasificados a temperaturas extremadamente altas, utilizando un arco eléctrico. El gas de síntesis resultante se utiliza como combustible para generar energía. Las escorias residuales son inertes y se pueden usar como agregado en otras aplicaciones.	Variable (200-500)	Limitada experiencia en Japón
MBT- Tratamiento Mecánico Biológico	El concepto de tratamiento mecánico-biológico consiste en el procesamiento mecánico parcial de los RSM mediante la remoción de ciertos componentes y el proceso biológico de las partes restantes, con el fin de que ocupen un menor volumen y sean más aptos para ser aprovechados en otras actividades. Se obtienen de tres a cuatro productos: una fracción orgánica estabilizada, productos sólidos combustibles recuperados, materiales ferrosos/no ferrosos y biogás.	Variable (50-1.000)	Amplia experiencia en Alemania, norte de Europa, España, Suiza e Italia. Presente en Corea y Japón.
Digestión Anaerobia	Los residuos de jardín, restos de comida o los RSM mixtos son pre-procesados y depositados en un contenedor cerrado, donde biológicamente se degradan en ausencia de oxígeno. Un biogás rico en metano se produce y se utiliza como combustible para generar energía. El compost residual es comercializado para aplicarlo en el suelo. Los materiales eliminados por los RSM durante el pre-procesamiento se depositan en el relleno.	Variable (60-700)	Amplia experiencia en Alemania, Suiza, Italia, España, Noruega
Compostaje	Los residuos de jardín, restos de comida o los RSM mixtos son pre-procesados, depositados en filas, pilas o en un contenedor cerrado, luego son degradados biológicamente en presencia de oxígeno. El compost es comercializado. Los materiales eliminados por los RSM durante el pre-procesamiento se depositan en el relleno.	Variable (6-270)	Amplia experiencia en Alemania, Suiza, Italia, España, Noruega, Corea del Sur y Japón

Corea del Sur la más común es la incineración (Ryu, 2010), Japón depende enteramente de la WTE; en Suiza también se registran alrededor de 30 incineradores de materiales no reciclables. WTE tiene el potencial para reducir la cantidad de RSM depositados en los rellenos sanitarios, produciendo al mismo tiempo electricidad y reduciendo las emisiones de GEI (Chandel et al., 2012).

MBT: Europa tiene un total aproximado de 570 plantas activas con una capacidad de tratamiento de 55 millones de toneladas. El tratamiento mecánico-biológico (MBT por sus siglas en inglés), es usado en un 51 % en España para el procesamiento de los RSU. En 2013, España contaba con 118 plantas de MBT; de ellas, 69 corresponden a plantas de recuperación y compostaje, 25 a plantas de bio-metanización y compostaje y 24 a plantas de compostaje de la fracción orgánica recogida selectivamente (Gallardo et al., 2014). El concepto de la tecnología MBT se ha desarrollado ampliamente en las últimas dos décadas en toda Europa, donde actualmente operan más de 100 plantas; solo en Alemania hay casi 50 plantas operativas con una capacidad mayor a 6,6 millones toneladas/año de capacidad de procesamiento (caso de estudio N° 7).

Gasificación Térmica: es una tecnología del siglo XX, con una larga historia de aplicación comercial. Los gasificadores térmicos utilizan calor intenso para convertir materia prima sólida en gas sintético, el cual es quemado en una caldera para generar electricidad o energía térmica, o procesado como combustible líquido (etanol, diésel). La gasificación convencional prevé la descomposición térmica de los residuos orgánicos en un ambiente limitado de oxígeno. Esta tecnología opera dentro una temperatura de 540-1540°C. El gas de síntesis producido contiene principalmente hidrógeno y monóxido de carbono con otros gases ácidos como los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, diferentemente a la gasificación por arco de plasma donde la alta temperatura neutraliza los efectos de los gases tóxicos.

Pirólisis: como descrito por Stringfellow and Witherell (2014), la pirólisis prevé una descomposición termoquímica del material orgánico con una temperatura de 800°C en ausencia de oxígeno. Esta tecnología genera una pequeña cantidad de

gas de síntesis con alta concentración de alquitrán, que en la mayoría de los casos necesita un tratamiento adicional antes del uso. Martínez et al. (2013) argumentan que el producto de gas de síntesis recuperado en el proceso no es una buena opción para la operación de un motor a combustión interna debido al alto porcentaje de alquitrán presente en la fase de gas.

Gasificación por arco de plasma: La gasificación por arco de plasma requiere una pirólisis de alta temperatura donde los materiales de los residuos sólidos orgánicos se convierten en un gas de síntesis, mientras que los materiales de los residuos sólidos inorgánicos producen un subproducto sólido vítreo, conocido como escoria vitrificada. Esta tecnología utiliza pequeñas cantidades de aire, y opera a una temperatura entre 4.000-7.000°C. Aunque el método tenga poco impacto sobre el ambiente, hay una experiencia limitada en Europa y en Japón (Ikechukwu, 2016).

Tecnologías para el reciclaje de los materiales aprovechables

Una de las más exitosas experiencias de políticas ambientales en Europa es el incremento de la tasa de reciclaje de los RSM; los países europeos lograron un promedio de tasa de reciclaje total del 45,9 % en el 2016, comparado con el 30,6 % del 2004. Para el 2016, varios países tuvieron una tasa de reciclaje superior al 50 %, tales como: Alemania (66,1 %), Austria (57,6 %), Bélgica (53,5 %), Suiza (52,5 %) y Holanda (53,1 %), mientras que otros tuvieron tasas inferiores al 20 %, por ejemplo: Grecia (17 %), Malta (7,1 %), Rumania (13,3 %) y Turquía (9,2 %). (Eurostat, 2016)

España en el 2016 fue líder mundial en reciclaje de papel y cartón (Anexo- caso de estudio N° 9), reciclando 5,2 millones de toneladas (68 % de procedencia local) con un incremento significativo respecto al 2015 que generó un considerable ahorro energético, evitando la emisión a la atmósfera de más de cuatro millones

de toneladas de CO₂, un 11 % menos de CO₂ emitido en comparación con el 2015.

Corea del Sur utiliza aproximadamente cinco millones de toneladas de plástico por año, y debido a su poca superficie y alta densidad de población, la disposición del plástico crea un problema significativo. Esto se ha convertido en una oportunidad para desarrollar rápidamente sistemas de reciclaje efectivos.

En Europa, hay una relación directa entre el costo de operación de los rellenos sanitarios por impuestos y el porcentaje de reciclaje: entre mayor sea el costo, mayor será la proporción de residuos reciclados. Además, la mayoría de los países europeos con un costo superior a €100 por tonelada enviada a disposición final en rellenos, tienen un porcentaje de reciclaje superior al 50 %, lo que indica que este tipo de impuestos fomentan la implementación de alternativas al relleno sanitario. (EEA, 2013)

Comparación de las diferentes tecnologías de tratamiento de residuos sólidos

La recuperación de energía se maximiza con los procesos de alto calor (WTE y gasificación) debido a que éste libera el contenido energético de todos los constituyentes de los RSM, a excepción de los inertes (vidrio y metales). La digestión anaerobia, que produce biogás, también recupera energía cuando el biogás es quemado como combustible, pero el resultado es menor que las tecnologías anteriores ya que actúa solamente sobre los componentes biodegradables. Los rellenos sanitarios producen gases por la degradación de la fracción orgánica, pero en forma menos eficiente que la digestión anaerobia. Finalmente, el compostaje es menos favorable porque es una tecnología que no produce recuperación de energía.

Desde el punto de vista de la recuperación de materiales para su uso benéfico, el compostaje y la digestión anaerobia son los más favorables debido a que

producen cantidades significativas de compost que puede ser vendido en el mercado como fertilizante. Con la WTE y la gasificación se pueden utilizar las cenizas y otras escorias como agregados para construcciones o, de lo contrario, son depositadas en rellenos sanitarios.

Entre las alternativas a la disposición final en rellenos sanitarios, las tecnologías más favorables son las que prevén procesos de alto calor (WTE y gasificación), ya que evitan la deposición final de residuos sólidos en los rellenos sanitarios, excepto un pequeño porcentaje de cenizas y escorias. Estas tecnologías pueden evitar del 70 al 99 % la disposición de los RSM en rellenos. La digestión anaerobia y el compostaje tienen un resultado menor (60 - 75 %) debido a que generan cantidades significativas de material de rechazo.

Sobre las emisiones de los GEI, el método menos favorable es el uso de rellenos sanitarios, puesto que del 20 al 30 % de los gases generados escapan a la atmósfera, principalmente el CH₄. Para reducir las emisiones GEI, las tecnologías más eficientes son la WTE y la gasificación, debido a que reducen la cantidad de residuos que se depositan en los rellenos sanitarios (y reducen las emisiones consecuentes), además recuperan la mayoría de la energía renovable evitando el uso de combustibles fósiles. La digestión anaerobia también resulta favorable para la reducción de las emisiones GEI, pero no recupera la misma cantidad de energía. Por último, a pesar de que el compostaje desvía el componente orgánico del relleno sanitario, no produce energía, por lo que no ofrece muchas ventajas en la reducción de las emisiones GEI.

El relleno sanitario es el método menos favorable en relación a la minimización del uso de la tierra. Lo anterior, ya que requiere una superficie significativamente mayor que la requerida por otras tecnologías, y el terreno queda inhabilitado para otros usos futuros durante decenas de años. La WTE y gasificación son tecnologías muy favorables en este aspecto a pesar de que puedan requerir nuevas superficies para los equipos de generación de energía. La digestión anaerobia y el compostaje requieren más superficie de tierra que las tecnologías de alto calor, debido a que necesitan apilar en líneas los residuos para su procesamiento.

TABLA 9

Comparación entre las distintas tecnologías de tratamiento de RSM y criterios de análisis

(Banco Mundial, 2011)

TECNOLOGÍA	RECUPERACIÓN DE RECURSOS		ALTERNATIVAS DEL RELLENO SANITARIO	GEI	CONSUMO DE RECURSOS DE LA TIERRA	USO DE AGUA
	RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	RECUPERACIÓN DE MATERIALES				
Relleno sanitario	Favorable (40-80kWh/ton)	No favorable	No favorable	No favorable	No favorable	Muy favorable
WTE	Muy favorable (-600kWh/ton)	No favorable	Muy favorable (75-90 %)	Muy favorable	Favorable	No favorable
Gasificación	Muy favorable (400-700 kWh/ton)	No favorable	Muy favorable (72-99 %)	Muy favorable	Favorable	Variable
Digestión Anaerobia	Favorable (100-245 kWh/ton)	Favorable	Favorable (60-75 %)	Favorable	No favorable	Variable
Compostaje	No favorable	Favorable	Favorable (60-75 %)	Parcialmente favorable	No favorable	Muy favorable

Los rellenos sanitarios y el compostaje son más favorables desde el punto de vista del consumo de agua, puesto que normalmente no requieren agua durante las fases operativas. También, la digestión anaerobia puede considerarse favorable, ya que necesita una pequeña cantidad de agua, mientras que la WTE y la gasificación son las menos favorables por su alto uso de agua para la producción de vapor durante la recuperación de energía.

Para las grandes ciudades resulta favorable el uso de la WTE si existe una capacidad de inversión adecuada, si es necesaria la generación de energía renovable y si se desea obtener beneficios ambientales para la comunidad. También, la implementación del compostaje resulta favorable para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de los restos de comida y de los residuos de poda, debido a que las grandes ciudades ofrecen menores costos de implementación y operación y una gran capacidad de volúmenes. Finalmente, la digestión anaerobia se considera aceptable si hay necesidad de generar localmente energía y si el uso de la WTE presenta una fuerte oposición local. Las otras tecnologías tratadas en este documento no son una opción factible en la GIRS debido al impacto ambiental (relleno) y al riesgo de implementación (gasificación).

Es aceptable que las ciudades pequeñas y medianas usen el relleno sanitario como una alternativa hasta que la capacidad de inversión crezca, y el compostaje es muy favorable debido al alto contenido de residuos orgánicos y a los bajos costos de implementación. Las otras tecnologías (WTE, gasificación y digestión anaerobia) no resultan favorables a menos que no haya un involucramiento del sector privado.

De forma similar, las ciudades rurales presentan solamente el relleno sanitario y el compostaje como opciones de tecnologías aceptables y muy favorables respectivamente. Las otras no son favorables en cuanto no hay suficiente cantidad de residuos para justificar la WTE, la gasificación y la digestión anaerobia.



6

—
6
**Criterios de selección
y condiciones de
replicabilidad**

A continuación, se presentan los criterios de selección y las condiciones de replicabilidad de la tecnología manejo y tratamiento de residuos sólidos en los países de América Latina y el Caribe.

Criterios de selección para las nuevas tecnologías sobre Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS) en América Latina y el Caribe

Varios factores y parámetros deberían ser considerados en la identificación y selección de la tecnología más adecuada para el tratamiento y la disposición final de los RSM para los distintos países de la región. Los principales son:

- 1. Densidad de la población:** la densidad de la población determina la cantidad de residuos generados dentro de una ciudad/provincia/región/país. Algunas de las tecnologías complejas (ej. WTE) requieren de un amplio volumen de RSM para garantizar su viabilidad económica.
- 2. Composición de los residuos sólidos:** en la región, los RSM contienen por lo general menos papel y plástico y una mayor proporción de residuos orgánicos (en especial restos de comida). Este tipo de residuos, al tener un mayor porcentaje de humedad, son más apropiados para el tratamiento biológico (ej. compostaje, digestión anaerobia). Algunas de las grandes ciudades de América Latina y el Caribe generan una composición de RSM más similar a la de los países desarrollados, con una mayor fracción de papel y plásticos que de residuos orgánicos.
- 3. Capacidad económica y financiera municipal:** según la capacidad de inversión y el nivel de ingresos de los municipios se puede considerar cuán compleja y costosa puede ser la tecnología que se quiere implementar.

4. Nivel de capacitación técnica: entre más compleja sea la tecnología (WTE, gasificación, digestión anaerobia) se requiere más personal y especialistas capacitados para la operatividad.

5. Alianzas público-privadas: cuando las empresas privadas tienen interés en la gestión de los residuos de una determinada ciudad o provincia, se presenta una oportunidad para implementar nuevas tecnologías de tratamiento de los RSM, migrando la responsabilidad de las inversiones significativas al sector privado. Este modelo podría ser de gran interés para las ciudades que tienen una limitada capacidad de inversión.

6. Limitaciones geográficas: los países ubicados en islas se ven limitados por la disponibilidad de la tierra y no desean consumirla con rellenos sanitarios. Al mismo tiempo, pueden ser incentivados en generar energía con combustibles locales, a pesar del alto costo. También, se dificulta la construcción de rellenos en los países con una orografía montañosa del territorio, por lo que es necesario emplear tecnologías alternativas.

Condiciones para la replicabilidad de las nuevas tecnologías en los países de América Latina y el Caribe

En el presente estudio se realizó un análisis sobre la replicabilidad en América Latina y el Caribe de las tecnologías presentadas anteriormente para el tratamiento de los RSM. Es necesaria la adaptación de estas tecnologías en el contexto de la región para su correcta implementación. Antes de la construcción, de la adquisición de tecnologías y equipos y/o del inicio de operación de los sistemas, es recomendable que los tomadores de decisión a nivel municipal o subregional vinculados al servicio público de aseo urbano o a programas y proyectos de residuos sólidos tengan presentes los diferentes aspectos que se relacionan más adelante.

La tecnología por sí sola no puede ser la solución al manejo de los residuos sólidos si no se enmarca dentro de un contexto más amplio que prevea un sólido respaldo normativo, económico y de la gestión. En este sentido, se sugiere el cumplimiento de los siguientes factores:

Marco Normativo-Legal

Las regulaciones en materia de medio ambiente y residuos sólidos son cada vez más exigentes; sin embargo, la adopción de las normas de los países desarrollados puede constituir un obstáculo para dinamizar los procesos en los países en vía de desarrollo, o impedir el avance de la gestión de residuos sólidos si no se adaptan a las condiciones locales. Dentro del marco normativo nacional, las obligaciones, responsabilidades y competencias sobre el manejo de los residuos sólidos de los municipios, departamentos, provincias y ciudadanos deben ser definidas claramente, para poder planificar e implementar nuevas tecnologías.

Las herramientas económicas pueden actuar como incentivos o generar penalidades hacia los generadores y los actores claves para favorecer el reciclaje, la sostenibilidad y la compatibilidad con el medioambiente. Los bienes obtenidos del reciclaje y del aprovechamiento de los residuos orgánicos necesitan ser dirigidos y regulados por una legislación apropiada:

- **Legislación sobre compost, digestato y fertilizantes:** enfocarse y dirigir todos los esfuerzos hacia la producción de compost puede resultar poco conveniente si no existe en el país un marco regulatorio sobre los costos, certificaciones de calidad, estructura del mercado del mismo producto, etc.
- ® **Legislación sobre los materiales reciclados:** reciclar los diferentes materiales aprovechables y diseñar, planificar, estructurar todo un sistema de manejo de residuos con el objetivo de maximizar la recuperación de materias primarias es muy apreciable y sostenible cuando la ley nacional y local asegure un marco regulatorio favorable.

- **Un marco claro para la producción y el uso del biogás:** de igual forma, la producción de biogás debería estar regulada por ley y prever la posibilidad de vender la electricidad producida, incentivos para su producción, costos de venta claros y convenientes y subsidios para la implementación de nuevas tecnologías de producción de energía limpia

La situación normativa en tema de manejo de residuos en los países de la región es muy diversificada. En general, los marcos legales y jurídicos sobre el manejo de los residuos sólidos no están completos o presentan vacíos normativos, lo que dificulta el diseño y la implementación de tecnologías innovadoras. En algunos países de América Latina y el Caribe no existe una ley específica sobre la gestión de residuos, y ninguna regulación del mercado de materiales reciclados. En Ecuador, por ejemplo, no existe una ley nacional específica sobre la gestión de residuos sólidos, mientras que Colombia cuenta con una de las legislaciones más desarrolladas y mejor concebidas desde el punto de vista regulatorio.

Fortalecimiento institucional

El fortalecimiento institucional es el proceso mediante el cual la administración municipal o la entidad responsable de operar el servicio público adoptan las decisiones y realiza acciones con miras a elevar su capacidad de gestión para cumplir eficaz y eficientemente con su objetivo social.

Es importante que la organización encargada del manejo y disposición de los residuos sólidos tenga la suficiente autonomía administrativa, financiera y la flexibilidad para adaptarse a los cambios, tanto a escala institucional como operativa para el buen desempeño de su gestión. Factores tales como: nuevas políticas y estrategias gerenciales, cambios en las cantidades y composición de los residuos, en las especificaciones y mercado de los materiales reciclables, desarrollos tecnológicos rápidos, una legislación ambiental más exigente, entre otros, deben ser considerados en la gestión integral.

Calidad e incertidumbre de los datos

La calidad de los datos de generación y tratamiento de los residuos sólidos es un factor fundamental para poder planificar y diseñar cualquier estrategia sostenible y efectiva en la gestión de los residuos sólidos, que incluye también la implementación de nuevas tecnologías. Contar con una calidad de datos de la línea base confiable permite tomar decisiones más precisas y adecuadas en la respectiva gestión.

En América Latina y el Caribe hay gran incertidumbre en los datos nacionales disponibles debido a que:

- se utilizan métodos diferentes de estimación o medición dentro del mismo país
- a escala nacional hay varias instituciones que se hacen cargo de las estimaciones y manejan diferentes líneas bases, sin tener una sola que sea la oficial
- falta de capacidades de las instituciones competentes sobre la metodología de estimación y la análisis de datos
- hay vacíos en varias bases de datos, tanto actuales como históricas

El desarrollo de sistemas eficaces para la GIRS dependerá en buena parte de la disponibilidad de datos confiables sobre la generación de residuos, de las especificaciones y rendimiento de las alternativas tecnológicas, y fundamentalmente de la información sobre los costos y capacidad económica local para garantizar la sostenibilidad del sistema. Sin embargo, en muchos de los municipios de América Latina y el Caribe no se cuenta con datos confiables y en la mayoría no hay registros suficientes; es decir, existe un gran desconocimiento de la información básica, que permita orientar la toma de decisiones.

Conciencia ambiental y participación ciudadana

Cualquier tecnología, por óptima que sea, puede resultar ineficaz sin la colaboración y participación activa de los ciudadanos. Las instituciones deberían facilitar el involucramiento activo de la población, a través de campañas de comunicación constantes, socializaciones, educación ambiental formal e informal, talleres y capacitaciones. La implementación de un nuevo sistema o tecnología debe incluir la etapa de socialización y educación ciudadana, que permite dar conocimiento de las modalidades de funcionamiento y de los objetivos y beneficios del nuevo sistema.

Es fundamental que la población sea consciente de su responsabilidad de contribuir al manejo adecuado de los residuos, garantizando la sostenibilidad de la gestión que obliga al servicio público a generar los recursos para pagar los costos de administración, operación y mantenimiento. La sostenibilidad del servicio de aseo urbano solo puede ser garantizada por la población usuaria, que es responsable de la mayor parte de la generación de residuos sólidos. La actitud de los usuarios debe modificarse para reducir el impacto ambiental y económico que soporta la sociedad por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, mediante un programa permanente de educación ambiental.

Lo anterior implica un cambio de conciencia en la población en todos los niveles para garantizar la sostenibilidad de los sistemas. Una sociedad cambia el nivel de vida mediante el cambio de la cantidad y calidad de los productos que consume. En consecuencia, es urgente promulgar un cambio en los hábitos de consumo, que por años se han arraigado en la sociedad, debido a la presión publicitaria que idealiza el mayor consumo.

Costos

Tradicionalmente, el presupuesto para la gestión, infraestructura y equipos necesarios para garantizar una buena operación y mantenimiento de los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos es limitado en América Latina y el Caribe; sin embargo, los usuarios exigen cada vez una mejor calidad del servicio, lo que implica un incremento en las tarifas.

Actualmente, los costos unitarios promedio de recolección en la región se estiman en USD 34,2 por tonelada recolectada, con una alta variabilidad de costo entre países. El costo en Argentina, por ejemplo, es de USD 54, mientras que en Paraguay es de USD 6,6 (USD 47 de diferencia). Estas variaciones reflejan generalmente diferencias asociadas a la calidad del servicio (BID, 2015).

Generalmente, los costos asociados a la gestión de RSM los cubre directamente el municipio, siendo el promedio de la recuperación de costos del 51,6 %. El impuesto predial es el mecanismo de cobro más usado por los municipios; el cual constituye el 52,1 %, seguido por el cobro vía factura periódica directa al usuario con el 20,2 %, luego mediante la factura de electricidad, con el 15,3 %, y finalmente con la factura del agua potable y alcantarillado (12,4 %) (BID, 2015).

Las tecnologías innovadoras utilizadas en los países europeos o asiáticos muchas veces son costosas si se considera el total de gastos: compra, transporte, importación, instalación, uso y mantenimiento; por esta razón hay una cierta desconfianza e incertidumbre en el análisis de la replicabilidad de estas tecnologías debido a las diferencias socio-económicas con América Latina y el Caribe en términos de: a) costos de vida; b) costos por tonelada del manejo de residuos sólidos; c) capacidad de inversión de las instituciones públicas; d) facilidad de alianzas público-privadas; e) presencia de mercados sostenibles de materiales reciclados o de productos de aprovechamiento.

De igual forma, sería oportuno utilizar la mano de obra local (en la región) para la construcción de los componentes secundarios de la tecnología importada, para reducir costos y aumentar la accesibilidad al mercado.

El análisis de las tendencias a largo plazo considera la disposición final de los residuos siempre como la opción ambientalmente más costosa, por lo cual el aumento de los costos de disposición final favorece las opciones alternativas: la recolección diferenciada, el reciclaje y el aprovechamiento energético.

Sostenibilidad

La gestión integrada y sostenible de los RSM se caracteriza por el flujo de los residuos en las etapas consecutivas de la gestión, acondicionamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final, teniendo en cuenta a todos los sectores, agentes y aspectos involucrados desde la fuente generadora hasta la disposición final, de forma segura. En este flujo, los residuos se valorizan mediante mecanismos de reciclaje y de recuperación energética y su cantidad inicial es minimizada, de modo que se pueda reducir al máximo la fracción encaminada a rellenos sanitarios, lo que solo debe ocurrir después de que se agoten todas las posibilidades de recuperación de los residuos, procurando incluso, incorporar cambios en los patrones no sostenibles de producción y consumo, mediante educación ambiental para sensibilizar, generar conciencia y hacer participar a la sociedad.

Los aspectos para alcanzar la sostenibilidad ambiental, económica y social se detallan a continuación:

Ambiental

La garantía de la sostenibilidad ambiental presupone la efectiva implementación de las recomendaciones de la Agenda 21, priorizar los principios de las 3 R: reducción de la generación, reutilización – haciendo énfasis en la minimización de la generación de residuos y en una estrategia circular de los materiales– y reciclaje de materiales, con posterior tratamiento y/o disposición final adecuada de los residuos no aprovechados. El actual modelo de producción y consumo de América Latina y el Caribe, que resulta en una creciente generación de residuos, debería evaluarse dentro del proceso productivo con el objetivo de reducir la generación de residuos pos consumo, principalmente en lo que se refiere a los empaques desechables y productos de corta vida útil. Además de lo dicho anteriormente, es importante que se creen incentivos para que la reducción de la generación de residuos resulte en menores tasas municipales, reafirmando el principio de responsabilidad, “quien contamina paga”.

Económica

La sostenibilidad económica de los sistemas de la gestión de RSM puede garantizarse por mecanismos de tributación, financiación y de valorización de los residuos mediante la recuperación de materiales orgánicos e inorgánicos, recuperación energética por medio de modalidades de tratamiento y la disposición final de los mismos. Adicionalmente, otra fuente de financiación puede venir de las medidas de Responsabilidad Extendida del Productor y de incentivos a la energía renovable.

Respecto a los mecanismos de cobro de servicios de recolección es recomendable que se instituya un sistema de evaluación efectiva de costos, de acuerdo con la realidad de los países de América Latina y el Caribe. Es aconsejable también establecer tasas socialmente justas, ajustando las tasas a la capacidad de pago de cada sector. Para que haya aceptación por parte de la población, es imprescindible sensibilizar a la opinión pública sobre la importancia del pago por los servicios prestados, además, en la medida en que se mejora la calidad del servicio el usuario está dispuesto a pagar y esto puede dar inicio a un círculo virtuoso. De la misma forma, es importante que las autoridades asuman el compromiso de aplicar mecanismos de cobro para hacer efectiva la gestión integrada de residuos sólidos urbanos y por consiguiente garantizar la calidad de los servicios. Es necesario implementar sistemas de recaudo efectivo, por ejemplo la facturación dentro de la factura/planilla de otros servicios públicos como la energía o el acueducto.

Por lo general, asegurar y garantizar la sostenibilidad económica para la instalación y el funcionamiento de nuevas tecnologías en el sector de residuos es un reto debido a la fragmentación y dispersión de los municipios en América Latina y el Caribe. Una opción para la adecuada asimilación de dichas tecnologías es la gestión mancomunada (unión de varios municipios) de los residuos sólidos, que ofrece varios beneficios: i) menores costos de inversión por cada institución participante; ii) optimización de los recursos humanos y económicos; iii) costos reducidos de mantenimiento y operación del sistema; iv) mayor control para una buena gestión de manejo de residuos; v) tarifas de recaudación más bajas. La ges-

ción mancomunada tiene como pre requisito fundamental contar con una baja y limitada barrera política de los municipios de diferente pertenencia, para permitir la creación y el eficiente funcionamiento de la mancomunidad.

Social

La sostenibilidad social de la gestión de los residuos abarca tres aspectos: la integración de los recicladores informales, la participación de la sociedad y el control ciudadano. La gestión integrada y sostenible de residuos sólidos reconoce el valor económico, social, ambiental y organizativo del trabajo de los recicladores en América Latina y Caribe como agentes integrantes de sistemas de reaprovechamiento.

7

—

Discusión, conclusiones y recomendaciones



Debido al incremento de la población y del PIB, a cambios en patrones de producción y consumo asociados a la economía lineal, y al crecimiento en el porcentaje de urbanización, la generación de residuos está en aumento, lo que incrementa las emisiones de GEI. Sin embargo, varias opciones costo-efectivas para mitigación del cambio climático están disponibles en el mercado.

Al incrementar la cantidad de residuos sólidos generados y la presión que estos causan al medio ambiente, es necesario introducir nuevas tecnologías para gestionar los residuos de forma más eficaz. La actual situación social, económica y política de los países de América Latina y el Caribe en general ofrece una oportunidad de acción para la implementación de nuevas tecnologías en el sector de gestión de los RSM. Desde la perspectiva de las políticas públicas, este cambio se puede lograr generando estrategias para una gestión integrada, creando y operando sistemas de información sobre el manejo de residuos, promocionando la minimización, el consumo responsable, la producción limpia, la separación en la fuente, el reciclaje y el aprovechamiento.

En Europa, la gestión de los RSM muestra una marcada tendencia hacia la reducción del uso de los rellenos sanitarios (desde el 63,8 % en el 1995 hasta el 25,3 % en el 2015), debido a que los países se están moviendo fuertemente hacia formas alternativas de tratamiento y aprovechamiento de los residuos (Eurostat, 2017), en gran parte resultado del marco normativo de dicho continente.

Alrededor del 80 % de los residuos generados en el mundo se disponen aún en rellenos sanitarios (Kumar et al., 2014), los cuales son una fuente antropogénica importante de generación de CH₄ (He et al., 2011). Otras tecnologías de tratamiento y valorización de residuos, diferentes a rellenos sanitarios, permiten evitar dichas emisiones.

No existe una única combinación de técnicas que universalmente puedan construir la solución, la opción más factible depende de distintos factores locales. En varios países desarrollados, la disposición final en botaderos o vertederos a cielo abierto desapareció hace varias décadas para dar espacio al uso de nuevas tecnologías que ofrecen beneficios como la minimiza-

ción de los residuos y la generación de energía. Se recomiendan tecnologías de tratamiento térmico a partir de las cuales se puede generar energía. Por otro lado, tecnologías como la digestión anaerobia son eficientes para tratar residuos orgánicos y no requieren de una alta inversión. También, la gasificación convencional no requiere de una alta inversión pero es necesario un mayor desarrollo para mejorar su versatilidad (Aniekan et al., 2016). Si bien es cierto que implementar una tecnología ambientalmente efectiva es un reto, las operaciones controladas de tratamiento de RSM son una opción para la recuperación energética y la reducción de emisiones de GEI (Ofori-Boateng et al., 2013).

La gestión de residuos en la región puede mejorarse con la implementación de tecnologías que han sido efectivas en países desarrollados para la minimización de los residuos, el reciclaje, la recuperación de los recursos y la disposición final. Entre las potenciales tecnologías alternativas identificadas en los países desarrollados que fueron objeto de este estudio se encuentran: el compostaje y la digestión anaerobia (digestores), la WTE y sistemas eficientes de reciclaje.

En las grandes ciudades de la región de América Latina y el Caribe se ha alcanzado algunos progresos en la adopción de prácticas modernas de gestión de residuos para uso energético, como en Ciudad de México, Buenos Aires, Sao Paulo y Bogotá, pero el manejo de los RSM aún es deficiente en varias ciudades. La gestión de los residuos sólidos en la región puede mejorarse a través de la implementación de tecnologías y sistemas de manejo de residuos que han sido efectivos en varios países desarrollados para reducir la producción de residuos y para fomentar el reciclaje y el uso eficiente de recursos.

Actualmente, la WTE, a pesar de que resulta costosa, puede ser una alternativa valiosa por múltiples razones: a) la generación de energía renovable es necesaria y deseada; b) menor requerimiento de terreno en comparación a los rellenos sanitarios; c) las nuevas políticas ambientales favorecen la recuperación de los recursos en lugar de la disposición en los rellenos. La gasificación puede ser favorable para las mismas razones de la WTE, si la apertura al sector privado es facilitada. Los biodigestores son una opción recurrente cuando la WTE no es aceptada. Finalmente, el com-

postaje centralizado de los residuos orgánicos (restos de comida y residuos de poda de los parques y jardines) podría ser muy favorable por el bajo costo de la tecnología, siempre y cuando se pueda hacer una competitiva separación en la fuente para tener una alta calidad del producto que tenga buenos niveles de aceptación en el mercado. Esta última tecnología no es una alternativa competitiva para tratar grandes cantidades de residuos.

Lograr mejoras en el manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe requiere voluntad por parte de los gobiernos, fuertes inversiones y educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos (Sáez y Urdaneta, 2014). Un progreso rápido requerirá una implementación más eficaz de los sistemas de recolección de los RSM y de una tecnología factible para el tratamiento, disposición y aprovechamiento de los RSM. Para cumplir e implementar eficazmente estas políticas es necesario garantizar la participación social; la educación ambiental formal e informal hace posible esta participación, así como la acción del sector de las ONG y de las asociaciones. De igual modo, la presencia activa del sector privado es clave, ya que puede facilitar la posibilidad de utilizar e implementar nuevas tecnologías aprovechando las alternativas como medidas de mitigación del cambio climático. Para esta participación, es necesario que haya un contexto de seguridad jurídica y financiera, que se reflejen en fuentes de ingreso ciertas, reglas jurídicas estables y acogidas por las partes y plazos contractuales que permitan recuperar las inversiones en periodos de tiempo competitivos.

A medida que evolucionan las prácticas vinculadas con la gestión de residuos y que aumenta la conciencia respecto de la escasez de los recursos naturales se necesita un cambio de paradigma hacia una economía circular: de una filosofía de gestión de residuos a una filosofía de gestión de recursos. A través de la recuperación de materiales y de energía se considera cada vez más que los residuos son un recurso que pueden aprovecharse.

Estas actividades tienen un potencial importante para la reducción de las emisiones de GEI (Rollandi R., 2012). Se estima que una reducción entre el 10-15 % en las emisiones globales de los GEI podría lograrse a través de la implementación de nuevas tecnologías y

el fortalecimiento de sistemas actuales para ejecutar medidas de mitigación en los rellenos sanitarios como: producción de energía a partir de residuos sólidos, compostaje de residuos orgánicos y reciclaje. Además, la prevención de la generación de residuos podría incrementar esta contribución hasta el 20 %.

En línea general, la gestión de los residuos sólidos en la región está avanzando y mejorando, pero aún son necesarias mejoras significativas. Algunas recomendaciones para la adecuada gestión de RSM se presentan adelante:

1. Mejorar la recolección diferenciada de los RSM:

en varios países de Europa y Asia se han implementado exitosos sistemas de recolección y separación en la fuente de los residuos, utilizando herramientas de última tecnología para reducir los costos, incrementar el aprovechamiento y disminuir las emisiones de los GEI. En América Latina y el Caribe la separación en la fuente requiere recolección selectiva y equipamientos apropiados para cada tipo de desecho recogido, además se requiere información, sensibilización y capacitación de los generadores para efectuar la clasificación de residuos sólidos en su fracción orgánica e inorgánica. También, es necesario divulgar información referente a la segregación y programas de educación ambiental. Para hacer una recolección diferenciada la administración pública puede contratar empresas privadas prestadoras de servicios o hacer convenios con organizaciones de recicladores. La aplicación de cada uno de los aspectos mencionados, dependerá de las características propias de cada ciudad.

2. Incrementar el aprovechamiento energético de los residuos:

la economía circular incrementa el potencial de inversión para desarrollar e implementar sistemas de aprovechamiento energético que permita la reducción de las emisiones GEI y al mismo tiempo la producción de energía limpia con la reducción del volumen de residuos sólidos enviados a disposición final. Es recomendable incentivar el uso de nuevas tecnologías (tecnologías más limpias) para el reaprovechamiento de biogás como una fuente de energía si su uso es viable económicamente teniendo en cuenta el tamaño de la ciudad y que para pequeñas ciudades podría no ser viable.

3. Implementar alternativas de disposición final:

Las tecnologías innovadoras de gestión de RSM aseguran una mayor sostenibilidad ambiental, económica y social, y constituyen una medida de mitigación al cambio climático. A su vez, se debe encaminar al cierre de los botaderos a cielo abierto y a la construcción de rellenos sanitarios regionales para aprovechar economías de escala y disminuir los puntos impactados por residuos, y se recomienda implementar la recuperación de biogás para generar energía en los rellenos donde sea financieramente viable.

4. Implementar una gestión adecuada de los RAEE y reciclaje del plástico PET, papel y llantas usadas:

Según los casos presentados, se recomienda el uso de medidas como la Responsabilidad Extendida del Productor y programas de reciclaje para alcanzar una gestión adecuada de los RAEE. Del mismo modo, podría ser efectivo, establecer mecanismos de incentivos y/o penalizaciones para promover la mejora de programas de reciclaje de materiales como el plástico y el papel. También, es importante mencionar que hay varias opciones para el tratamiento y aprovechamiento de las llantas usadas. Entre éstas se encuentran: el recubrimiento con caucho de llantas desgastadas para su nuevo uso, la producción de granulado para uso industrial a partir de la molienda de los neumáticos, el reprocesamiento del caucho mediante procesos físicos y químicos, el uso en construcciones y la pirólisis para producción de energía. La capacidad de procesamiento de cada tipo de residuo tiene una gran dependencia de la infraestructura disponible para transporte, recolección, recuperación y re-venta. La infraestructura se ve afectada principalmente por la regulación gubernamental, la cantidad de residuos generados y factores económicos y de mercado vinculados con el aprovechamiento de los residuos.

5. Diseñar y realizar proyectos pilotos: En la medida de lo posible, es recomendable que haya una fase preliminar de experimentación con proyectos piloto para la correcta implementación de tecnologías exitosas en otros países, debido a las diferencias sociales, ambientales y económicas. El éxito de las tecnologías de gestión de residuos sólidos puede variar dependiendo de la composición de éstos. En

América Latina y el Caribe los residuos están conformados principalmente por la fracción orgánica, mientras que en países de Europa y Asia la fracción inorgánica es la más relevante. Un proyecto piloto permite adaptar y modificar la tecnología según el contexto local, analizando los resultados en pequeña escala y permite también un análisis de sostenibilidad económica. Además, los proyectos piloto son una oportunidad para fortalecer la capacitación de las autoridades, equipo técnico municipal y de otros actores sociales involucrados en la gestión integrada de los RSM.

6. Las nuevas tecnologías resuelven parte de la gestión:

pensar que la sola implementación de tecnologías innovadoras y exitosas de otros países pueda solucionar los problemas de los contextos específicos de la región es erróneo; la nueva tecnología es una herramienta para facilitar y mejorar la situación actual de la gestión de los residuos, y es importante que esté enmarcada dentro de una estrategia de gestión integral municipal que prevea las siguientes etapas: planificación, diseño, realización, monitoreo, sostenibilidad. Es crucial desarrollar tecnologías apropiadas para las diferentes etapas de la gestión integrada de residuos sólidos urbanos (recolección, transferencia, reciclaje, tratamiento y disposición final) y para el aprovechamiento de biogás generado en rellenos sanitarios o sistemas de digestión anaeróbica de residuos. La adopción de un modelo sostenible de gestión integrada de RSM requiere primordialmente voluntad política de los representantes del poder público. Son estos los que deben coordinar el proceso de elaboración de la política pública de gestión de los RSM, desarrollada de manera que integre a todos los actores involucrados con la cuestión. Así, es necesario implementar esquemas institucionales y de prestación basados en operadores especializados, que tengan la experiencia y capacidad de realizar el servicio. Del mismo modo, es importante establecer tarifas o tasas a los usuarios que permitan recuperar los costos de la gestión, para tener una buena calidad del servicio y generar un círculo virtuoso.

7. Fomentar la participación ciudadana y del sector privado: la idea común de que la gestión de los residuos sólidos sea solamente una responsabilidad de las instituciones (en particular de los muni-

cipios) debería cambiar, concientizando e involucrando en forma activa y sostenida a la sociedad civil para que participe en la planificación y ejecución de la gestión, con el fin de obtener mejores resultados y mayor conciencia ambiental. Es importante contribuir con la formación de la opinión pública en lo que se refiere a la cuestión de los RSM, principalmente, a los impactos ambientales y de salud, y a la necesidad de minimizar los residuos generados, enfatizando el principio de las 4 R –reducción, reutilización, reciclaje, recuperación de materia y energía– e incentivando la participación de la sociedad. La presencia activa del sector privado es importante en la implementación de nuevas tecnologías para la mitigación del cambio climático. Para facilitar esta presencia, es conveniente tener un contexto de seguridad jurídica y financiera, que se reflejen en fuentes de ingreso ciertas, reglas jurídicas estables y acogidas por las partes y plazos contractuales que permitan recuperar las inversiones en periodos de tiempo atractivos.

8. Mejorar el marco normativo: las tecnologías provenientes de países desarrollados necesitan ser implementadas donde el marco normativo nacional lo permita. En varios países de la región hay leyes o reglamentos que prohíben el uso de algunas metodologías de gestión o tratamiento, a pesar de que el manejo actual demuestre ineficiencia y debilidades. La reforma o actualización del marco normativo debería involucrar todos los niveles institucionales (municipal, provincial, departamental regional y nacional) correspondiente a las respectivas responsabilidades. Es fundamental establecer un marco legal y regulatorio en los diferentes niveles de la administración pública, que contemple desde la política de residuos sólidos hasta las leyes específicas y las normas técnicas. El marco legal debe establecer mecanismos para la participación de la comunidad y el control social sobre la gestión ejecutada, además de instituir este marco legal y regulatorio a través de una amplia discusión con la sociedad, para implementar las directrices que minimicen la generación de residuos con vistas a la gestión integrada y sostenible de los residuos sólidos. Se recomienda también la elaboración de leyes que inciten a reducir la generación excesiva de envases y empaques con medidas como la Responsabilidad Extendida del Productor.

9. Promover la economía circular: Un cambio de paradigma es necesario y fundamental para poder mejorar el nivel de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. La visión de considerar los residuos como potenciales recursos puede ayudar a crear sistemas sostenibles y más eficientes de manejo de residuos, disminuyendo los impactos ambientales, creando mercados económicos nuevos, apoyando a los grupos más vulnerables e implementando nuevas tecnologías en todas las etapas del ciclo de la GIRS. El modelo de gestión integrada de RSM para la región debe buscar la minimización de los residuos en la fuente generadora, la optimización de la reutilización y reciclaje de los materiales reciclables, el tratamiento mediante el método de compostaje– inclusive compostaje casero para pequeños municipios y la disposición adecuada en rellenos sanitarios, con recuperación energética del biogás. Es preciso producir un balance para saber qué productos y materiales son ambientalmente sostenibles y socialmente aprobados como necesarios, para poder instituir por ley el análisis del ciclo de vida de los productos.

10. Implementar tecnologías económicamente sostenibles: la factibilidad y sostenibilidad económica de las tecnologías emergentes de los países desarrollados es una de las principales inquietudes y críticas cuando se propone la implementación de las mismas en América Latina y el Caribe. Lo anterior, debido a las diferencias del costo de vida, el tipo de residuos, la inversión del sector privado, entre otros. A pesar de esto, es posible adaptar la tecnología según las necesidades de cada región. Por ejemplo, se puede fomentar el manejo de residuos en mancomunidades (varios municipios en conjunto) con el fin de optimizar los costos de inversión y de mantenimiento de la tecnología seleccionada; además, es oportuno promover las alianzas público-privadas para aprovechar el interés y disponibilidad del sector privado en el manejo de los residuos, reduciendo así el riesgo económico de las instituciones públicas. Finalmente, la sostenibilidad económica depende de la adaptación de la tecnología extranjera en el contexto local de América Latina y el Caribe en todos los niveles de ejecución: desde el diseño hasta su uso.

La gestión sostenible de los RSM se desarrolla en la perspectiva de una visión integrada interinstitucional e intersectorial, lo que requiere una decisión política para movilizar a las distintas competencias de la administración para hacerle frente a los desafíos con participación de la sociedad.

bientales que contribuyan a la toma de decisiones. Se debe incluir datos sobre la recolección total de RSM, la porción de RSM tratados según cada tipo de tratamiento, el número de facilidades de tratamiento y disposición final y la capacidad de tratamiento de RSM (United Nations, 2017).

11. Aplicar los principios ambientales internacionales: para que la nueva tecnología pueda funcionar exitosamente y ser aceptada por la sociedad civil, es recomendable que la implementación respete los principales principios ambientales internacionales:

- a. **principio de precaución:** la adopción de medidas protectoras ante las sospechas de que ciertos productos o tecnologías crean un riesgo grave para la salud pública o el medio ambiente, pero sin que se cuente todavía con una prueba científica definitiva de tal riesgo.
- b. **principio de prevención:** adoptar medidas de neutralización de un daño ambiental que puede ser conocido anticipadamente.
- c. **principio de quien contamina paga:** el contaminador tiene que cubrir los costos de restauración, descontaminación y reposición del ambiente al mismo estado en que se encontraba antes de la agresión.
- d. **principio de quien bota paga (PAYT- pay as you throw):** los usuarios pagan el valor correspondiente a la cantidad de basura que genera en los contenedores.
- e. **principio de responsabilidad extendida del productor (REP):** los generadores de productos son responsables de la organización y financiamiento de la gestión adecuada de los residuos de aquellos productos que se hayan comercializado en el país

12. Crear un sistema de recolección de datos: un sistema de información estándar con datos recolectados de los países de la región permitiría realizar comparaciones y seguimiento periódico a la gestión de residuos sólidos. Para esto, también es necesario desarrollar una serie de indicadores am-

8

—

Referencias bibliográficas



Acurio G., Rossin A., P.F. Teixeira, F. Zepeda, 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C., julio de 1997.

Agenda 21 (1993): programme of action for sustainable development; Rio Declaration on Environment and Development; Statement of Forest Principles: The final text of agreements negotiated by governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 3-14 June 1992, Rio de Janeiro, Brazil. New York, NY: United Nations Dept. of Public Information.

Aniekan I and O. Ikechukwu, 2016. Review of municipal solid waste management technologies and its practices in China and Germany. International Journal of Technology Enhancement and Emerging Engineering Research, Vol.4 (5): 1-7

Arsova L., 2010. Anaerobic digestion of food waste: current status, problems and an alternative product. Thesis, Columbia University, New York City. http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/arsova_thesis.pdf

ASCE Committe on Sanitary Engineering Research, 1959. Refuse volume reduction in a sanitary landfill. ASCE J. Sanitary Eng. Div. 85: 37-50

Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-AIDIS; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo-IDRC (2006). Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe. Sao Paolo: AIDIS-IDRC.

Assamoi B. and Y. Lawryshyn, 2012. The environmental comparison of landfilling vs incineration of MSW accounting for waste diversion. Journal of Waste management, 32 (5): 1019-1030

Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015), The global e-waste monitor - 2014, United Nations University, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany.

Banco Mundial, 2011. Viability of Current and Emerging Technologies for Domestic Solid Waste Treatment and Disposal: Implications on Dioxin and Furan Emissions.

BID, 2015. Situación de la gestión de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe.

Boeni, H. Silva, U. Ott, D. (2008) E-Waste Recycling in Latin America: Overview, Challenges and Potential. Proceedings Article, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Cancun, Mexico

Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang, Waste. Management, In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bogner, Jean, Riitta Pipatti, Seiji Hashimoto, Cristobal Diaz, Katarina Mareckova, Luis Diaz, Peter Kjeldsen, Suvi Monni, Andre Faaij, Qingxian Gao, Tianzhu Zhang, Mohammed Abdelrafie Ahmed, R.T.M. Sutamihardja, Robert Gregory (2008), Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation).

CEPAL/BID, 2010. Cambio climático, una perspectiva regional.

CEPAL, 2015. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe- Una revisión general. Ed. Naciones Unidas, Santiago de Chile

CEPAL, 2016 Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016, Naciones Unidas

- Chalvatzaki E. and M. Lazaridis, 2010. Estimation of Greenhouse gas emissions from landfills application to the Akrotiri landfill site (Chania, Greece). *Global NEST Journal*, Vol12, No 1, pp 108-116.
- Datamarket (2014) Percentage of the ICT sector in GDP <https://datamarket.com/data/set/19r3/percentage-of-the-ict-sector-in-gdp#!ds=19r3!6hv9=1.2.3.4.5.7.8.d.e.6.9.f.g.h.k.i.j.l.m.n.o.r.q.a.p.s:90!l=1&display=choropleth&map=europe&classifier=natural&numclasses=5>
- Daul MC (2014) Comparison of WM Strategies and its Influence on GHG Emissions in Federation of Bosnia and Herzegovina. *J Geol Geosci* 3:157
- DNP,2017. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/eventos/Simposio/Presentaciones%20dia%202/20170719_Juan%20Felipe%20Quintero.pdf
- ECLAC, 2009. Sustainable consumption and production, mining, transport, chemicals and waste management. Report to the eighteenth session of the commission on sustainable development of the United Nations. Edition:United Nations
- EEA, 2013,Managing municipal solid waste — A review of achievements in 32 European countries, EEA Report No 2/2013, European Environment Agency
- Ellen MacArthur Foundation (2013) (<http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular874economy/interactive-system-diagram>). Global Waste Management Outlook (GWMO), Et Al.
- European Commission, 2010. Being wise with waste: the EU's approach to waste management European Commission, 2016. <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm> European Commission, 2017. http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm
- European Compost Network (ECN), 2016. <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/separate-collection/>
- European Compost Network (ECN), 2016a. Factsheet- Biowaste generates jobs.
- European Environment Agency (2013) Managing municipal solid waste — a review of achievements in 32 European countries <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/download>
- EEA, 2015. <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/waste>
- EPA, 2017. <https://www.epa.gov/arc-x/climate-adaptation-and-waste-management-emergency-response>
- Eurostat, 2016. Recycling rate of municipal waste http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_rt120&plugin=1
- FOMIN, 2017. Más allá del reciclaje: un modelo de economía circular para América Latina y el Caribe
- Frøiland-Jensen, J. y R. Pipatti, 2002. CH4 emissions from Solid Waste Disposal, en: background papers. IPCC expert
- Meeting on Good practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC- IGeS, Hayama, Japan. 419-439
- Fundación Natura, REPAMAR, CEPIS, GTZ, 1998. Compost projects evaluation in Ecuador. <http://www.bvsde.paho.org/eswww/repamar/gtzproye/compost/compost.html>
- Gallardo A., Edo N., Colomer F.J., 2014. Análisis de la evolución de las plantas de tratamiento mecánico-biológico de residuos en España. RETEMA, julio/agosto.
- Global Methane Initiative, 2010. Global Methane Emissions and Mitigation Opportunities
- Golomeova S., V. Srebrenkoska, S. Krstevs, S. Spasova, 2013. Solid waste treatment technologies. *Machines, Technologies, Materials* (9). pp. 59-61
- GSMA, 2014. E-Waste en Latinoamérica- El aporte de los operadores móviles en la reducción de la basura electrónica - Estudio de casos.

- He L., G.H. Huang, Hongwei Lu, 2011. Greenhouse gas emissions control in integrated municipal solid waste management through mixed integer bilevel decision-making. *Journal of Hazardous Materials*, 193: 112-119.
- Hernández-Berriel, M.C., Q.Aguilar-Virgen, P. Taboada-González, R. Lima-Mora, M. Eljaiek-Urzola, L. Márquez- Benavides, O. Buenrostro-Delgado, 2016. Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. *Rev. Int. Contam. Ambien.* 32: 11-22
- Höglund-Isaksson L 2012 Global anthropogenic methane emissions 2005–2030: technical mitigation potentials and costs *Atmos. Chem. Phys.* 12:9079–96
- Hoornweg D. and N. Giannelli, 2007. Managing municipal solid waste in Latin America and the Caribbean.
- GRIDLINES, Note N° 28, October 2007.
- Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. 2012. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series;knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank
- Ikechukwu, O. (2016) Review Of Municipal Solid Waste Management Technologies And Its Practices In China And Germany <http://www.ijteee.org/final-print/may2016/Review-Of-Municipal-Solid-Waste-Management-Technologies-And-Its-Practices-In-China-And-Germany-.pdf>
- INE, 2011. Los residuos electrónicos en México y el mundo. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional
- IPCC, 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton., J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- IPCC 2006. Fugitive emissions from oil and natural gas systems *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2* (Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change)
- IPCC, 2007. Climate Change- Fourth Assessment Report (AR4). United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- IRR, 2015. Iniciativa regional para el Reciclaje Inclusivo. (Consulta: 1 junio 2015)
- ISWA, 2013. Waste to Energy in Low and Middle Income Countries.
- Jaramillo Henao G., L.M. Zapata Marquez, S.M. Puerta Echeverri, 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis, Universidad de Antioquia.
- Johnson S., 2007. Methane Emissions from Waste Management in Developing Nations. *Sustainable Development Law & Policiy*, 7 (2): 29-30.
- Kumar A. and Sharma M.P., 2014. Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 5: 50-61.
- Mackie K.R. And C.D. Cooper, 2009. Landfill gas emission prediction using Voronoi diagrams and importance sampling. *Environmental Modelling & Software*, 24: 1223-1232.
- Martinez J., N. Puy, R. Murillo, T. Garcia, M. Navarro and A. Mastral, 2013. Waste tyre pyrolysis- A review. *Journal of renewable and sustainable Energy Reviews*, 23: 179-213
- MiniAmbiente, 2016. A 2018 Colombia tendrá una tasa de reciclaje del 20 %. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2291-a-2018-colombia-tendra-una-tasa-de-reciclaje-del-20>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 2001. *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*. París: OECD.
- OECD, 2008. *OECD ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2030*, ISBN 978-92-64-04048-9
- OECD, 2012. *GreenHouse Gas emissions and the potential for mitigation from materials management within OECD countries*. Paris. 1-10
- OECD, 2016. *Environmental Performance Reviews: Chile 2016*.
- Ofori-Boateng C., Lee K and Mensah M., 2013. The prospect of electricity generation from municipal solid waste (MSW) in Ghana: a better waste management option. *Journal of fuel processing technology*, 110: 94-102
- Ojeda, Lozano, y Quintero, Whitty (2008). *Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: el caso de una ciudad mexicana*. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón
- ONU-medio ambiente, 2017. *GEO-6 Evaluación regional para América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente mundial*.
- ONU, 2014. *La situación demográfica en el mundo- Informe conciso*. Nueva York, 2014.
- ONU-HABITAT, 2012. *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe- Rumbo a una nueva transición urbana*. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud: División de Salud y Ambiente (2005). Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, DC
- OPS-AIDIS-BID (Organización Panamericana de la Salud-Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-Banco Interamericano de Desarrollo). (2010). *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010*. 23 pp
- Paraskaki I. And M. Lazaridis, 2005. Quantification of landfill emissions to air: a case study of the Ano Liosia landfill site in the greater Athens area. *Waste Management*, 23: 199-208.
- PNUMA, 2016- Nota conceptual y agenda provisional. Taller sobre gestión de residuos en América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay.
- Recytrans, 2913- Disponible en: <https://www.recytrans.com/blog/jerarquia-de-residuos/>
- Rodriguez M.A. Y A. Córdova, 2006. *Manual de compostaje municipal, tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rollandi, R. 2012. *Problemática de la gestión de residuos sólidos urbanos en las megaciudades*. Argentina
- Ryu, 2010. *Potential of Municipal Solid Waste for Renewable Energy production and Reduction of Greenhouse Gas Emissions in South Korea*
- Sáez A. y J.A. Urdaneta, 2014. *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. OMNIA, año 20, N°3:121-135 Shindell D, Kuylensstierna JCI, Vignati E, et al. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science*. 2012;335:183-189
- Seo, Yoonjung *Current MSW Management and Waste to Energy Status in the Republic of Korea*. http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/YS%20Thesis_final_Nov3.pdf
- Simply Green, 2009. *The Cape prepares for extreme weather and flooding*, May3
- Slimak KM, 1978. *Landfill disposal system*. *Environmental Health Perspective*, Dec, 27: 309-316
- Spokas K., J. Bogner, J.P. Chanton, M. Morcet, C. Aran, C. Graff, G. Moreau-Le, I.HebeMethane Mass Balance at Three Landfill Sites: What is the Efficiency of Capture by Gas Collection Systems? *Waste Management*, 26 (5) (2006), pp. 516-525

- Statista, Share of global regions in the gross domestic product (adjusted for purchasing power) in 2017. <https://www.statista.com/statistics/256340/share-of-global-regions-in-the-gross-domestic-product/>
- Stringfellow T. and R. Witherell, 2014. An independent engineering evaluation of waste to energy technologies. CHM Hill Engineers Inc.
- Thompson S, Sawyer J, Bonam R, Valdivia JE, 2009). Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. *Waste Management* 29: 2085–2091
- Thorneloe, S. and R. Peer, 1990. Landfill gas and the greenhouse effect. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- UEC, 2010. Bewertung der vorhandenen Bioabfallbehandlungsstandorte in Schleswig-Holstein im Hinblick auf eine Ergänzung um Vergärungsstufen. Oetjen - Dehne & Partner Umwelt und Energie - Consult GmbH
- Umwelt Bundesamt, 2015. The climate change mitigation potential of waste sector. Germany
- UN, 2017 FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT STATISTICS. Department of Economic and Social Affairs, New York
- UN, 2015. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- UNEP, 2010. Proposal for the Regional Action Plan (RAP) 2010-2011 of the Forum of Ministers of Environment of Latin America and the Caribbean. Seventeenth Meeting of the Forum of Ministers of Environment of Latin America and the Caribbean. Panama City, 26-30 April 2010.
- UNEP, 2015. Global Waste Management Outlook. United Nations Environment Programme
- UNEP, 2015 Perspectiva mundial de la gestión de residuos, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: http://web.unep.org/ietc/sites/unep.org.ietc/files/GWMO_summary_Spanish_1.pdf
- UNEP, 2011. Convenio de Basilea. Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho.
- UNESCO, 2010. Los residuos electrónicos: un desafío para la sociedad del conocimiento en América Latina y el Caribe. Editores: Unesco Montevideo/ RELAC Sur.
- UNFCCC, 2007. Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. Bonn, Germany.
- UN-HABITAT, 2011. Collection of Municipal Solid Waste, Key issues for decision-makers in developing countries. Pp. 38.
- Unión Europea, 2010. Being wise with waste: the EU's approach to waste management. Environment, European Union.
- USAID, 2013. Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. México.
- Weitz M., J.B. Coburn and E. Salinas, 2008. Estimating national landfill methane emissions? An application of the 2006 IPCC waste model in Panama. *J. Air Waste Management Assoc.*, 58(5): 636-640.
- World Economic Forum, 2017. Annual Report 2016-2017.
- Worldometers, Latin America and the Caribbean Population. <http://www.worldometers.info/world-population/latin-america-and-the-caribbean-population/>
- Zhang, X. et al. 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448, 461–465

Anexo 1

Casos de Estudio

Recolección y transporte

Contenedores solares inteligentes para la recolección diferenciada de la basura

DATO	INFORMACIÓN																
Tecnología/estrategia	ECO CUBE LABS																
Ubicación	Seul (Corea Del Sur)																
Contexto	Capital de Corea del Sur, es la segunda área metropolitana más grande del mundo según su población (-10 millones de personas).																
Año de inicio	2014																
Problemática	Pocos contenedores de residuos en la ciudad y con capacidad insuficiente que generaba el desborde de la basura en las calles de Seúl. Altos costos de recolección de la basura para el municipio.																
Características	<table border="1"> <tr> <td>Volumen con basura compactada:</td> <td>100L</td> <td>120L</td> <td>240L</td> </tr> <tr> <td>Tamaño (alto, ancho, largo):</td> <td>610x610x1167mm</td> <td>624x762x1440mm</td> <td>740x840x1536mm</td> </tr> <tr> <td>Peso:</td> <td>140kg</td> <td>155kg</td> <td>190kg</td> </tr> <tr> <td>Volumen con basura no compactada:</td> <td>500L</td> <td>600L</td> <td>1200L</td> </tr> </table> <p>Recarga batería: solar, eléctrica, híbrida (puede durar hasta cuatro semanas), 12V DC Compactación: automática, hasta ocho veces los contenedores tradicionales, ciclo de 40 segundos Fuerza de compactación: hasta 500kgf Monitoreo: automático y en tiempo real sobre el estado del contenedor, el nivel de la basura, para el análisis y la optimización de las rutas de recolección Comunicación: wireless con sistemas WCDMA/GSM</p>	Volumen con basura compactada:	100L	120L	240L	Tamaño (alto, ancho, largo):	610x610x1167mm	624x762x1440mm	740x840x1536mm	Peso:	140kg	155kg	190kg	Volumen con basura no compactada:	500L	600L	1200L
Volumen con basura compactada:	100L	120L	240L														
Tamaño (alto, ancho, largo):	610x610x1167mm	624x762x1440mm	740x840x1536mm														
Peso:	140kg	155kg	190kg														
Volumen con basura no compactada:	500L	600L	1200L														
Forma de funcionamiento	Una vez instalados los Clean Cubes para la recolección de la basura común o para los materiales reciclables, los contenedores se comunican constantemente con la central operativa para indicar los niveles de la basura y el estado del mismo (si hay daños u otros), gracias a un sistema wireless 2G o 3G. Esta comunicación constante permite analizar los datos y diseñar cada día la ruta de recolección más adecuada, optimizando y ahorrando los recursos humanos y económicos. Los Clean Cubes tienen un sistema automático de compactación de basura que permite, a través de sensores, compactar hasta ocho veces más que los contenedores comunes, incrementando el tiempo para llenarlos.																
Costos	USD 3.000 por contenedor (dependiendo del modelo)																
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → Reducción en la frecuencia de recolección del -66 % (reducción de las emisiones de CO₂) → Costos operativos de recolección de la basura reducidos del -83 % → Aumento del porcentaje de reciclaje del +46 % (ahorro energético y del uso de materia prima) 																
Impactos	En solo tres meses de uso de los contenedores en la ciudad, Seúl pudo ver la evidente mejora en el saneamiento público. A partir de la instalación de 85 Clean Cubes, el desborde de la basura fue eliminado y se registró una fuerte reducción de la presencia de basura en las calles. Debido al éxito obtenido se instalaron otros 144 contenedores en cuatro universidades en Corea: Universidad Nacional de Seúl, Universidad de Corea, Univ. Yonsei y Universidad Dongguk.																
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → No funcionan eficientemente en lugares cerrados donde no hay suficiente luz, a menos que se recarguen con electricidad de la red → Suficiente disponibilidad de una inversión inicial 																

Continúa →

DATO	INFORMACIÓN
Marco normativo	Las políticas de reducción de los residuos orgánicos en Corea están consideradas entre las más avanzadas del mundo en promover las prácticas sostenibles en el campo, registrando un éxito considerable. Este enfoque sería aplicable también en la región latinoamericana.
Sostenibilidad	Para promover esta forma de reciclaje, el Gobierno de Corea del Sur está financiando y apoyando todas las medidas y facilidades a escala nacional para favorecer el aprovechamiento de los residuos orgánicos y producir compost y biomasa. En el 2015, 130 contenedores Eco cube Labs han sido instalados en Ibagué y Santa Marta en Colombia.
Lecciones aprendidas	Las distintas medidas de reducción de los residuos orgánicos (restos de comida) han tenido un gran impacto sobre el aumento de la conciencia del consumidor y sobre el medioambiente. La tasa de reciclaje de los residuos orgánicos (restos de comida) se incrementó a escala nacional del 2 % hasta el 95 % en entre el 1995-2009, y la disposición de estos residuos en el relleno sanitario disminuyó drásticamente.
Referencias	1. https://www.ecubelabs.com/ 2. http://www.buykorea.org/product-details/solar-powered-compaction-bin--3013962.html

Vehículos para recolección de la basura con combustible de biogás autoproducido

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	MERCEDES BENZ ECONIC
Ubicación	Berlin (Alemania)
Contexto	Capital de Alemania, es una de las ciudades más pobladas de Europa (3,5 millones de habitantes)
Año de inicio	2013
Problemática	Altos costos del transporte para el consumo de gasolina durante las rutas de recolección de residuos. Consistentes emisiones de CO ₂ producidas por los camiones recolectores tradicionales durante sus normales operaciones
Características	<p>Número de vehículos: 150 (alrededor del 50 % de la flota total)</p> <p>Área de intervención: 890 km²</p> <p>Generación residuos urbanos: 1.300.000 toneladas por año</p> <p>Número de contenedores: > 400.000</p> <p>Recolección de residuos orgánicos: ~ 3.2 millones de recolecciones por año (de los casi 83.000 contenedores)</p> <p>Recolección de reciclables: ~ 0.7 millones de descargas por año (de los casi 40.000 contenedores)</p> <p>El convertidor de par patentado de Allison compensa la respuesta de aceleración de los motores de gas natural, multiplica el par del motor en el lanzamiento del vehículo y transfiere suavemente la potencia a las ruedas motrices. Como resultado, ya sea utilizando gas natural renovable o gas natural derivado de combustibles fósiles, los vehículos ofrecen un rendimiento superior, al tiempo que aumentan la eficiencia del combustible. Además, el engranaje helicoidal combinado con el motor Mercedes OM 906 LAG contribuye a un funcionamiento más silencioso.</p>
Forma de funcionamiento	<p>En el 2013 se inauguró la planta de biogás Berliner Stadtreinigung (BSR) con una capacidad de procesamiento de 60.000 toneladas por año de material orgánico que es procesado a biogás natural (llamado bio-metano) y distribuido a las tres estaciones de Marzahn, Prenzlauer y Wilmersdorf donde se recarga la flota de camiones a biogás.</p> <p>La producción de biogás es aproximadamente de 32.000MWh/a, de los cuales casi 25.000MWh/a se utiliza para la flota de vehículos de la recolección de basura.</p>
Costos	~ 200.000 euros/vehículo (~ USD 230.000) dependiendo del modelo
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → Reducción del consumo de 2,5 millones de litros de diésel por año → Evitar la emisiones de más de 6.200 toneladas de CO₂ por año (además de óxidos de nitrógeno, azufre y otros partículas) → Ahorro considerable del gasto anual de la recolección de basura → Notable reducción del ruido del motor a gas de los camiones de -2dB (equivalente a una reducción percibida del -50 %)
Impactos	580.000 toneladas de residuos son recolectadas y transportadas cada año con un saldo de emisiones en la atmósfera igual a cero (carbón-neutral).
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Sistema de producción de biogás suficiente para el autoconsumo de los vehículos → Disponibilidad de los fondos de inversiones para la compra de los vehículos
Marco normativo	Un marco normativo favorable es obligatorio para el éxito de esta tecnología, que incluya la participación del sector privado en la gestión de los residuos, los incentivos fiscales para quien invierte en tecnología verde y una reducción de los impuestos de importación de productos extranjeros.
Sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> → Utilizar residuos biológicos para producir biocombustible en lugar de utilizar cultivos que podrían estar destinados para la producción de comida. → Largo periodo de recuperación de la inversión inicial para la compra de los camiones
Lecciones aprendidas	Los combustibles limpios, como el biometano producido por los residuos sólidos orgánicos municipales, pueden ahorrar los costos de transporte, reducir las emisiones de CO ₂ , disminuir el tráfico en la ciudad e incrementar la imagen ecológica del gestor.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2011_wm/2011_WM_551_564_Gosten.pdf 2. https://mbs.mercedes-benz.com/en/ 3. http://www.emo-berlin.de/en/press/news/bsr-testet-elektrisches-sperrmuellfahrzeug/

Manejo de los residuos orgánicos

Recolección intensiva en la fuente de los residuos orgánicos domiciliarios en Milán

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	Separación en la fuente
Ubicación	Milán (Italia)
Contexto	Cabecera de la región Lombardia, es la segunda ciudad más poblada de Italia (1,5 millones de habitantes)
Año de inicio	2012
Problemática	Hasta el 2011 la ciudad de Milán registraba una tasa de reciclaje total del 35 %, principalmente de materiales sólidos inorgánicos como papel, vidrio, plástico y metales. Los residuos orgánicos eran recolectados solo en los restaurantes, supermercados, mercados y hoteles.
Características	Generación de residuos municipales: 0,66 millones de toneladas/año Fracción orgánica: 25-30 % del total
Forma de funcionamiento	En el 2012, la ciudad de Milán empezó a implementar separación en la fuente y recolección puerta a puerta de los restos de comida en las áreas residenciales. Estas medidas fueron acompañadas por una fuerte campaña pública de socialización e información a través de comerciales, una aplicación para smartphones, periódicos y medios. Los ciudadanos utilizan una bolsa biodegradable (Mater-Bi), compostable e higiénica para los residuos orgánicos que depositan en botes domiciliarios recolectados dos veces por semana (seis veces para los restaurantes, hoteles y cafés). La propiedad compostable de las bolsas es un factor fundamental y esencial para garantizar la calidad del material a reciclar. Un equipo externo del municipio revisa en forma aleatoria los contenedores antes de la recolección y según corresponda aplica las multas. En el 2013, el 77 % de la población (casi un millón de habitantes) se beneficiaba de este servicio de recolección y en junio 2014 la cobertura aumentó al 100 %.
Costos	No hay información disponible
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 15.000 ton/año de compost de alta calidad son generados para venderse en el sector de agricultura → el 84 % del total de residuos de comida producidos se recuperan con la recolección diferenciada → menos del 5 % de impurezas se encuentran en los residuos orgánicos recolectados → la buena calidad de los residuos orgánicos a lo largo del tiempo (muy importante para la producción de biogás y de compost) → se recolectan más de 90kg/año/hab de residuos orgánicos (valor significativamente más alto de otras capitales europeas: 45kg/año/hab en Viena y 31kg/año/hab en Múnich) → 130.000 toneladas/año de residuos orgánicos recolectados que permiten generar 5,4MW de energía por año, evitando la emisión de 8.760t CO₂
Impactos	Milán es la megaciudad con la más alta tasa de recolección de los residuos orgánicos de comida de calidad en el mundo. El 90 % de los ciudadanos de Milán están satisfechos con el nuevo sistema de recolección y participan activamente y diariamente en la separación diferenciada.
Requisitos de Implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Fuerte compromiso político por parte del municipio y de la empresa de recolección de residuos (AMSA Spa) que garantice la implementación, los recursos necesarios y el monitoreo constante de los impactos → Alta participación activa y gran interés de los ciudadanos → Un mercado del compost bien estructurado y con precios regulados
Marco normativo	En el 2009, el municipio aprobó un reglamento específico sobre la gestión de los residuos sólidos en las áreas urbanas que planifica todas las acciones implementadas en los años siguientes (a partir del 2012).
Sostenibilidad	La vinculación entre el municipio y el sector privado es fundamental para dar sostenibilidad a estos tipos de medidas de aprovechamiento de los residuos orgánicos, en cuanto permite poder recuperar los costos de inversión. Debido a que el costo del tratamiento de los residuos orgánicos es de €/ton 70 y el de los residuos no separados es de €/ton 100, la ventaja no es solamente ambiental, sino económica
Lecciones aprendidas	Una intensiva separación en la fuente puede ser utilizada con óptimos resultados en ciudades con alta densidad poblacional (> 7.000 personas/km ²). Con esta separación, la cantidad y calidad de los residuos orgánicos recolectados son aceptables para el compostaje industrial y las plantas de digestión anaerobia. El involucramiento y la participación activa de los ciudadanos son fundamentales para el éxito del programa.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.arsambiente.it/la-raccolta-dei-rifiuti-organici-in-una-citta-europea-ad-alta-densita-di-popolazione-il-case-study-di-milano/ 2. http://www.c40.org/case_studies/cities100-milan-collecting-food-waste-city-wide 3. http://www.amsa.it/gruppo/cms/amsa/multilingua/en/raccoltaumido/

Digestión anaerobia para el tratamiento de los bio-residuos en Noruega

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	Digestión Anaerobia
Ubicación	Verdal, Nord-trøndelag (Noruega)
Contexto	Ciudad situada en la parte central del país, tiene una superficie de 22396 km ² y una población de 135.738 habitantes. Su área de intervención del manejo de residuos cubre una población de 230.000 habitantes.
Año de inicio	2008
Problemática	El costo y la seguridad de la energía y emisiones de los GEI y de otros contaminantes por las tecnologías existentes en la producción de energía son dos problemas significativos que se presentan en las fuentes de energía. Otro problema que enfrenta Noruega (como muchos otros países en el mundo) es la eficaz disposición de los RSM, debido a que la fracción orgánica biodegradable produce emisiones de CH ₄ cuando se vierten sin tratamiento previo.
Características	<p>Tipos de residuos tratados: residuos orgánicos domiciliarios, lodos de aguas residuales, residuos de ensilaje de piscicultura</p> <p>Capacidad de la planta: 30.000-45.000 toneladas de residuos orgánicos</p> <p>Capacidad de operación: 9 toneladas/hora de residuos orgánicos</p> <p>Horas de funcionamiento: 8 horas/día, 7 días/semana</p> <p>Performance: 71kg (residuos de rechazo)/1000kg (residuos orgánicos)</p> <p>Superficie de la estructura: 9000m²</p> <p>Funcionamiento original de la planta: 50 % residuos orgánicos y 50 % lodos de aguas residuales</p> <p>Eficiencia térmica de generación de electricidad: 25 %</p> <p>Producción de biogás: 642 m³/tonelada</p>
Forma de funcionamiento	El proceso de funcionamiento de la planta a digestión anaerobia presenta cuatro etapas: 1) pre-tratamiento de los residuos, muy necesario para obtener materia prima homogénea; 2) digestión de los residuos , la planta utiliza un digestor anaerobio basado en la tecnología de THP (proceso de hidrólisis térmica) con altas temperaturas combinadas con explosión de vapor; 3) recuperación de gas , parte del biogás producido en el digestor se vuelve a circular al digestor para permitir la circulación de los materiales; 4) tratamiento de los digestatos , después de la digestión el material es transferido a un depósito de inercia, después es deshidratado y finalmente triturado en dos etapas, produciendo el biofertilizante.
Costos	No hay información disponible
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 30GWh/año de biogás producido → 12.000 toneladas/año de biofertilizantes son producidos → 300.000 euros de ahorro por año (menor cantidad de residuos de rechazos que se eliminan por incineración)
Impactos	La planta está dando servicio a 52 municipios que entregan los residuos orgánicos domiciliarios para su procesamiento.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos de alta calidad → Alta disponibilidad de inversión para la construcción y arranque de la planta → Alta capacidad técnica del personal
Marco normativo	Desde el 2009, en Noruega está prohibida la disposición final de los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios para promover tratamientos alternativos utilizando técnicas biológicas.
Sostenibilidad	Es un ejemplo único del hecho que muchos municipios juntos pueden participar en encontrar soluciones a los problemas de la gestión de residuos que sean económicamente flexibles, orientadas hacia el futuro y enfocadas en el medioambiente. Pocos municipios tienen el tamaño suficiente para hacerlo posible solamente con sus propios recursos, debido a que se requieren entre 25.000-30.000 toneladas por año de residuos orgánicos para justificar la inversión en una planta de alta tecnología y ambientalmente sostenible.
Lecciones aprendidas	La digestión anaerobia ofrece un método efectivo para convertir los residuos orgánicos municipales en: biogás rico de CH ₄ que puede ser utilizado para generar calor o electricidad, fibra que se puede utilizar como acondicionador rico de nutrientes para suelos, líquidos que pueden ser utilizados como fertilizantes.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816308529 2. http://www.biopreplant.com/Resources/CaseStudies/BioPrePlant_Case_Study_Plant_Upgrade_EcoproEN.pdf 3. http://hornonline.com/

Gestión y reciclaje de los RAEE

Manejo de los rae en Noruega

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	Responsabilidad extendida del productor (REP)
Ubicación	Noruega
Contexto	País miembro de la Unión Europea con una población de aproximadamente cinco millones de habitantes
Año de inicio	1999
Problemática	La cantidad de los RAEE recolectados ha incrementado significativamente en los últimos años, pasando desde 40.000 toneladas (2000) hasta más de 150.000 toneladas (2009). En el 2014, Noruega generó 146.000 toneladas métricas de RAEE.
Características	Tasa de recuperación obligatoria de los RAEE: 80 % Técnica de reciclaje: desmantelamiento manual
Forma de funcionamiento	La gestión más adecuada de los RAEE es la REP, la responsabilidad de las empresas que producen materiales eléctricos y electrónicos o que lo importan en Noruega. Importadores y productores han identificado las empresas para la recolección de los RAEE de acuerdo a los reglamentos. Adicionalmente, un acuerdo entre importadores y productores y el Ministerio del Medioambiente ha establecido la garantía de recuperación de por lo menos 80 % de los RAEE y la reducción de los problemas asociados a los mismos. Después de la recolección, los RAEE son desmantelados manualmente en instalaciones especiales. Los componentes que contienen sustancias peligrosas son tratados como residuos peligrosos, pero se recuperan por cuanto sea posible.
Costos	Los costos de la recolección y tratamiento de los residuos RAEE son cubiertos para los importadores y productores. La tarifa ambiental está calculada sobre los datos de exportación o importación para empresas con representantes en Noruega.
Resultados obtenidos	→ 146.148 toneladas de residuos RAEE recolectados (2016) → 27,8kg de RAEE recuperados per cápita → 95 % de los RAEE recolectados son reusados, reciclados o procesados para la recuperación de energía
Impactos	Solamente el 5 % de los componentes residuales no recuperados son depositados o incinerados sin generación de energía.
Requisitos de implementación	→ Los distribuidores están obligados a recuperar los RAEE y a informar los consumidores que lo están cumpliendo. → Cada importador y productor de EEE necesita ser un miembro de una empresa de recogida aprobada y autorizada.
Marco normativo	El capítulo 1 del Reglamento de los residuos (2005) se ocupa de los RAEE y describe cómo los productores cumplen con sus responsabilidades. → Ley noruega relativa a la protección contra la contaminación y los residuos → En el 2002 la Unión Europea adoptó una nueva directiva RAEE, revisada en el 2012.
Sostenibilidad	Si existe un sistema adecuadamente estructurado de Responsabilidad Extendida del Productor, los RAEE se pueden recuperar, reusar y reciclar, garantizando menores impactos en el medioambiente y una sostenibilidad económica al mismo sistema.
Lecciones aprendidas	Los RAEE representan un recurso muy importante que puede ser aprovechado con beneficios de tipo ambiental, económico y social si se crea un sistema eficiente de recolección y reciclaje de los mismos. Las nuevas tecnologías pueden ayudar en la fase de recolección y de desmantelamiento de los materiales eléctricos y electrónicos, a pesar de que actualmente el trabajo manual es el más utilizado.
Referencias	1. http://www.environment.no/topics/waste/avfallstyper/waste-electrical-and-electronic-equipment/ 2. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_%20_electrical_and_electronic_equipment

Reciclaje de los RAEE en Japón

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	3R (reducir, reciclar, reusar)
Ubicación	Japón
Contexto	País insular del Asia oriental, ubicado en el Océano Pacífico, con una población de 127 millones de habitantes.
Año de inicio	2001
Problemática	<ul style="list-style-type: none"> → Entre los años 1960-1970 se registró un drástico aumento de la generación de los residuos debido al rápido crecimiento económico → En el 2014, Japón ha producido 2,2 millones de toneladas de RAEE (17,3kg per cápita/año) → La economía japonesa es fuertemente dependiente de las importaciones de las materias primarias
Características	En octubre del 2003 una revisión de la Ley de Promoción para el Uso Eficiente de los Recursos estableció obligaciones a los productores e importadores de PCs para establecer esquemas de devolución y sistemas de reciclaje de los equipos que alcanzan el fin de su vida útil en los hogares. Asimismo, se les requirió diseñar productos que consideren las 3R (reducir, reusar y reciclar), con el objeto de que las PCs cumplan con lo establecido en la Ley, en lo relativo a productos específicos para reciclaje, como productos específicos de recursos ahorrados y productos específicos de promoción de reúso.
Forma de funcionamiento	El sistema tiene alrededor de 40 plantas de reciclaje de los RAEE que son alimentadas por el sistema nacional de recolección, que opera a través de 380 puntos de recolección que actúan como instalaciones de transferencia. Las plantas solo recuperan productos de las marcas de sus grupos de empresas. En la entrega de los RAEE, el consumidor pagará un impuesto nacional de reciclaje, más una cantidad adicional (USD 10-15), puesto por el intermediario para cubrir los costos de transporte al punto de recolección. Se utiliza un sistema de tickets para rastrear todos los artículos, asegurando la trazabilidad del material en su traslado desde el consumidor hasta el reciclador, y permitir que el centro de reciclaje reclame la cuota de pago. Los diferentes RAEE se clasifican en líneas, antes de cualquier desmontaje manual; el producto es identificado por un código de barras y pesado. Cada tipo de producto sigue un procedimiento de desmontaje diferente.
Costos	Los costos son cubiertos por los mismos impuestos pagados por los consumidores.
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 140.000 toneladas de RAEE recolectadas (2015) → Más del 60 % del volumen de plástico recuperado → 135 millones de unidades de aparatos recuperadas en los últimos años
Impactos	El material reciclado es utilizado en textiles, sábanas, materiales industriales y en artículos para el hogar como las cajas de huevos. Grandes cantidades son enviadas también a China y otros países de Asia, donde se utilizan para producir juguetes y juegos.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> Marco normativo que permita la recuperación y el tratamiento de los RAEE → Esquema bien estructurado del ciclo del reciclaje (recolección, transporte, tratamiento) → Sistema de pago de impuesto obligatorio y bajo control de las autoridades
Marco normativo	La Ley de reciclaje de electrodomésticos (HARL, por sus siglas en inglés), y la Ley para la Promoción del Uso Eficiente de los Recursos (LPEUR por sus siglas en inglés) promulgadas en el año 2001, representan la estrategia implementada por el gobierno japonés para minimizar la generación de residuos electrónicos y eléctricos, y maximizar los recursos aplicables al reciclaje de televisiones y computadoras, y es similar y en gran medida basada en la propuesta de la Directiva WEEE de la Unión Europea
Sostenibilidad	Los RAEE se pueden considerar una oportunidad debido a que contienen recursos de valor, como los metales preciosos que son esenciales para los productos de alta tecnología y pueden ser considerados como minas urbanas. Tomando en cuenta que el acceso a estos recursos se está volviendo más competitivo debido al aumento de la demanda global y a la escasez de estos materiales, recuperarlos desde los residuos podría representar un activo estratégico.
Lecciones aprendidas	Japón ha logrado así incluir una fracción de todos aquellos productos que pueden enmarcarse en residuos eléctricos y electrónicos, en un sistema eficiente con aún grandes oportunidades; el reciclaje de aparatos electrodomésticos se ha ido expandiendo como un sistema social gracias a la cooperación de los involucrados, consumidores y vendedores, y ello está contribuyendo enormemente al desarrollo de una sociedad con un sano ciclo de materiales a través de un uso más eficiente de los recursos reciclados y de tratamientos de residuos adecuados.
Referencias	1. http://cfsd.org.uk/aede/downloads/JapaneseWEE.PDF

Aprovechamiento energético

Tratamiento mecánico-biológico (MBT) y Waste to Energy (WTE) en Hannover

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	MBT y WTE
Ubicación	Hannover (Alemania)
Contexto	Capital de la Región Hannover, ubicada en el centro-norte de Alemania (518.000 habitantes), con una población de la región de 1,1 millones de habitantes
Año de inicio	2000
Problemática	En toda la región de Hannover, aproximadamente 750.000 toneladas de residuos se generaban cada año (2000), después de la separación de la fracción de materiales reciclables (vidrio, papel, RAEE, etc.) alrededor de 300.000 toneladas se quedaban como residuos para su disposición final
Características	<p>Generación actual: 196.000MGw/h</p> <p>Volúmenes de residuos: 1.000 toneladas/día llegan a la planta (2015)</p> <p>Líneas de combustión: 2</p> <p>Capacidad de los búnker para residuos: 10.000m³ (equivalentes a 5.000 toneladas)</p> <p>Rango calorífico de los residuos: 8-17 MJ/kg</p> <p>Temperatura de combustión: > 850°C</p>
Forma de funcionamiento	Los residuos sólidos provenientes de la planta MBT y de varias partes de la región, llegan a la planta de WTE y son mezclados continuamente y transferidos a la tolva de alimentación de donde entran en el área de combustión. Debido a que los residuos se auto-queman con las altas temperaturas (850° mínimo) en la caldera, no se necesita agregar más combustibles fósiles. Estas altas temperaturas permiten destruir la mayoría de las sustancias contaminantes. Los Óxidos nitrosos son convertidos en nitrógeno neutral y agua, añadiendo agua de amoníaco. Alrededor de 120 toneladas de vapor se generan cada hora de la energía térmica en las dos calderas. Con una temperatura de 200°C, los gases de la combustión salen de la caldera y pasan por distintas fases de limpieza, que lo liberan de material particulado, sustancias gaseosas, metales pesados y contaminantes orgánicos. Los gases limpios salen de una chimenea de 70m de altura con la ayuda de una extracción de succión. Lo que se queda son cenizas de fondos, cenizas de combustión y polvos de filtración que se recuperan para la construcción de carreteras y rellenos, y material de relleno en minas, respectivamente.
Costos	100 millones de euros (aproximadamente USD 120 millones)
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 196.000MGw/h de potencia son actualmente generados (equivalente al requerimiento de electricidad de 57.000 viviendas de la región) → 280.000 toneladas/año de residuos son recicladas → 43.000 toneladas de emisiones de CO₂ ahorradas cada año
Impactos	La planta de WTE cumple con las normativas particularmente estrictas que limita las emisiones que en muchos casos se encuentran muy por debajo de los límites permitidos. Además, la planta trabaja sin generación de aguas residuales, que son capturadas y utilizadas en la limpieza de los gases de combustión para enfriamiento.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Disponibilidad de una fuerte inversión inicial para la implementación y arranque → Alta capacidad técnica del personal → Apoyo y aceptación de la población local y de las instituciones locales y nacionales
Marco normativo	La ley nacional sobre la gestión del ciclo de vida de los recursos (Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG 2012) es la base legal para las acciones de gestión de residuos en Alemania; en particular, la ley requiere la promoción del reciclaje y de otras formas de recuperación de los residuos. Además, la directiva europea sobre los residuos del 2010 invita a los países miembros a minimizar la cantidad de residuos al final de su gestión, reduciendo el uso de los rellenos.
Sostenibilidad	La planta de WTE representa un modelo exitoso en Alemania, gracias a la posibilidad de recuperar la inversión inicial y de cubrir los costos de mantenimiento y operación a través la venta de la energía (térmica y eléctrica), la venta de los reciclables y los incentivos y subsidios estatales.
Lecciones aprendidas	La tecnología MBT es un método simple de tratamiento de los residuos, y gracias a su alta flexibilidad puede ser dimensionado a áreas grandes, medianas y pequeñas, operando en forma económica. La tecnología MBT ofrece muy buenas oportunidades para facilitar las necesidades técnicas y financieras de un municipio, una provincia o una región.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vielhaber B., 2015. Mechanical-Biological Treatment plant in Hanover, Germany- Experience in Mechanical processing, Anaerobic digestion and refuse derived fuel quality. In: Thomé-Kozmiensky, 2. K. J., Thiel S.: Waste management, Volume 5. Neurruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 387-398 3. https://www.eew-energyfromwaste.com/fileadmin/content/Standorte/Hannover/Hannover_GB.pdf

Sistema de incineración de residuos en Oslo

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	INCINERACIÓN
Ubicación	Klemetsrud- Oslo (Noruega)
Contexto	Capital de Noruega, es la ciudad más grande del país (660.000 habitantes)
Año de inicio	1985
Problemática	La planta recicla los residuos domiciliarios y comerciales de la ciudad de Oslo, de las comunidades cercanas y también en el extranjero.
Características	<p>Capacidad de reciclaje: 320.000 toneladas/año (440.000 al final del 2017)</p> <p>Tecnología: Planta combinada de calor y electricidad</p> <p>Generación anual estimada: 187 GWh</p> <p>Capacidad total: 114MW</p> <p>Performance de combustión: 20 toneladas/h</p> <p>Operatividad: 24h/día, 365 días/año</p> <p>La energía térmica de la incineración de los residuos es usada para producir agua caliente, que es utilizada en los sistemas de calefacción del distrito y para la producción de electricidad. La planta está ubicada estratégicamente para ser de fácil acceso, reducir los costos de transporte y las emisiones.</p>
Forma de funcionamiento	La clasificación de los residuos es operada con la ayuda de un proceso de clasificación óptica altamente automatizado para residuos domiciliarios, de restaurantes, tiendas, etc. Las bolsas verdes con los restos de comida y las bolsas azules con el empaque plástico son atentamente separadas de los otros residuos (98 % de precisión), y enviadas al reciclaje. Los residuos restantes son incinerados utilizando temperaturas muy altas en un horno para la producción de energía.
Costos	- € 400 millones (USD 450 millones)
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → La electricidad generada se utiliza en las escuelas de Oslo y el calor se distribuye en la red municipal. → El biogás producido por los restos de comida es utilizado como combustible verde para los buses de la ciudad de Oslo y los camiones recolectores de la basura → El bio-fertilizante que se produce se utiliza en la industria agrícola de Noruega → Para cada tonelada de basura procesada para producir energía, es evitada la emisión de alrededor de una tonelada de CO₂ equivalente. → La basura incinerada no genera CH₄, como normalmente se produce en los rellenos sanitarios → Después del proceso de limpieza, las emisiones que salen de la chimenea son 99.78 % vapor de agua.
Impactos	Esta tecnología permitió a la ciudad de Oslo utilizar eficientemente todos sus recursos de residuos, reduciendo al mismo tiempo el uso de combustibles fósiles. Klametsrud puede asegurar muy bajas emisiones que generan pocos impactos ambientales (en el aire y en el suelo), además gracias al eficiente sistema de gestión de los residuos sólidos se optimizó el transporte de la basura. Toda la producción de energía y de biogás, juntos al sistema de reciclaje, genera una producción de emisiones de GEI de aproximadamente 300.000 toneladas de CO ₂ por año. El 99,78 % de las emisiones son vapor de agua.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Disponibilidad de grandes fondos de inversión iniciales → Capacidad técnicas para el diseño y el funcionamiento → Marco normativo que permita el uso de la incineración de los residuos
Marco normativo	Las reglas generales de la ley ambiental sobre la gestión de los residuos sólidos se encuentran en el Acta para el Control de la Contaminación de 1981. Una nueva reglamentación del 2004 cambió la responsabilidad de los municipios que actualmente son responsables únicamente de los residuos domiciliarios. En el 2009 una nueva ley ha prohibido la disposición de los residuos orgánicos biodegradables en los rellenos sanitarios.
Sostenibilidad	En la Planta de Klemetsrud está planificada una iniciativa experimental de CCS (Captura y almacenamiento del carbono) para reducir significativamente las emisiones de GEI. La CCS de la energía renovable contribuye hacia una gestión más sostenible de los residuos, así como la economía circular y puede potencialmente incrementar el funcionamiento sostenible de esta planta.
Lecciones aprendidas	El aprovechamiento energético, como el modelo de la planta de Klemetsrud puede representar una herramienta muy útil para reducir los volúmenes de residuos que se depositan en los rellenos sanitarios, producir energía y calor utilizable a nivel local o para vender a la red nacional.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.trackmyelectricity.com/plants/klemetsrud-chp/ 2. http://www.zeroco2.no/projects/countries/norway 3. http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2017_eaa/2017_EaA_133-144_Stuen.pdf

Reciclaje

Sistema de reciclaje de papel y cartón en España

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	RECOLECCIÓN DIFERENCIADA PÚBLICO-PRIVADA
Ubicación	España
Contexto	País miembro de la Unión Europea con una población de aproximadamente 46 millones de habitantes
Año de inicio	2011
Problemática	<ul style="list-style-type: none">→ En 2016 la producción total española fue de 7,9 millones de toneladas, que se distribuyen en 1,7 millones de celulosa y 6,2 millones de papel y cartón.→ Existen en territorio español 10 fábricas de celulosa y 71 de papel y cartón.→ La industria española es el sexto productor de la UE tanto de papel como de celulosa
Características	<p>Producción de papel (2016): 6.218,6 miles de toneladas</p> <p>Consumo medio de papel: 135kg/año/hab</p> <p>Papel recuperado para el reciclaje: 71 % (96kg) del papel consumido</p> <p>Sistema de recolección: 201.750 contenedores azules para la recolección diferenciada del papel (aproximadamente 1 contenedor cada 210 habitantes)</p> <p>Origen del papel reciclado: 68 % de origen española y el 32 % restante se importó de otros países, principalmente Francia y Portugal.</p>
Forma de funcionamiento	<p>La recolección se realiza por dos canales:</p> <ul style="list-style-type: none">→ la recolección selectiva municipal, a través del contenedor azul, con las recogidas puerta a puerta en pequeños comercios, oficinas, colegios y con los puntos limpios, (se supone el 20 % del total del papel que se recoge para reciclar)→ la recolección que realizan operadores privados en grandes superficies de distribución, imprentas, industrias (se supone el 80 % restante).
Costos	→ Información no disponible
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none">→ 5,2 millones de toneladas de residuos de papel y cartón transformados en materias primas reciclables (2016), equivalente al 78 % de los que se consume en el mercado.→ 528.000 toneladas (12 % del total), provinieron de los sistemas municipales de recolección selectiva y de la colaboración ciudadana→ El 88 % restante (3,8 millones de toneladas), de los sistemas de recolección comerciales e industriales→ 4 millones de toneladas de emisiones de CO₂ ahorradas
Impactos	<p>Por cada tonelada de papel que se recoge y se recicla se ahorran dos metros cúbicos de vertedero, 140 litros de petróleo, 50.000 litros de agua y la emisión de 900 kilos de dióxido de carbono (CO₂)</p> <p>Reciclar el papel recogido en España supone generar riqueza y empleo local, poniendo en valor el esfuerzo que la sociedad española desarrolla en la recuperación de sus residuos</p>
Requisitos de implementación	Alcanzar estos resultados ha sido posible tanto con la colaboración de empresas como de particulares. Las empresas han venido asumiendo compromisos voluntarios cada vez más exigentes. Fue muy importante seguir realizando labores de concientización y difusión de la información a todos los niveles
Marco normativo	Ley de residuos y suelos contaminados (22/2011) tiene como objeto regular la gestión de residuos, prevenir su generación y mitigar los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente
Sostenibilidad	Para poder mantener su producción y garantizar empleo local, en el 2016 la industria papelera española ha necesitado importar 1.638.300 toneladas de papel y cartón para reciclar de otros países. El sector papelero pretende llegar a reciclar hasta el 74 % (en la actualidad, se recicla el 71 %) de este material en 2020.
Lecciones aprendidas	El sector de la recuperación y el reciclaje de papel ha sido clave en el gran proceso de transformación de los últimos años, proporcionando los recursos e inversiones necesarias para acceder a los residuos y convertirlos en materias primas recicladas que se reincorporan en el sistema, mejorando la eficiencia ambiental y económica de los sistemas productivos actuales, siendo la base y la inspiración fundamental del actual concepto de economía circular.
Referencias	<ol style="list-style-type: none">1. http://www.aspapel.es/asociacion/descripcion2. http://www.recyclinginternational.com/recycling-news/10421/paper-and-textiles/spain/spain-039-s-paper-recycling-efforts-039-among-world-039-s-elite-039

Reciclaje de las botellas de plástico PET en Suiza

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	RECICLAJE GRATUITO
Ubicación	Suiza
Contexto	País ubicado en Europa Central, con una población de aproximadamente ocho millones de habitantes
Año de inicio	1990
Problemática	<ul style="list-style-type: none"> → 1,5 mil millones de botellas de PET cada año se venden en Suiza → 200 botellas (6kg de PET) se consumen per cápita por año → Suiza importa combustibles fósiles desde otros países
Características	<p>Puntos de recolección: más de 50.000 en todo el País</p> <p>Contenedores de recolección: más de 100.000</p> <p>Velocidad de separación de una planta: 350.000 botellas PET por hora con un nivel de precisión del 99,8 %</p>
Forma de funcionamiento	<p>Las botellas PET vacías se pueden devolver en todos los puntos de venta del país. Las etapas del reciclaje de PET son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección: las botellas PET vacías se pueden devolver en todos los puntos de venta del país, y contenedores para el PET se encuentran también en los centros urbanos escuelas, hospitales, gasolineras y estaciones de trenes, durante los eventos públicos. 2. Retiro: Suiza tiene una red logística muy ramificada que llega en todo el país 3. Separación: una vez recolectadas las botellas PET, se transportan a los centros de reciclaje, donde se separan por diferente color y se comprimen en cubos de casi 300kg. 4. Recuperación: los cubos de diferente color de las botellas PET se transforman en material reciclado y después en nuevo material de embotellamiento. 5. Producción de botellas: el material reciclado de PET se utiliza para producir nuevas botellas
Costos	Los costos son cubiertos por los mismos consumidores, que pagan alrededor de 2 centavos de euro, adicionales al precio estándar, por botella, cubriendo los costos de recolección y transporte a la planta de reciclaje.
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 83 % de botellas PET recicladas en el 2015 (botellas PET recicladas comparadas con las puestas en el mercado) → 152.000 toneladas de emisiones de GEI (en su mayoría CO₂) son evitadas por no incinerar el PET → 52 % de energía ahorrada (47 millones de litros de petróleo) cada año → Uso del PET reciclado para fabricar nuevas botellas, pero también ropa, carpas, bolsos, fajas para embalajes.
Impactos	<p>Suiza es uno de los primeros países en el mundo en lograr cerrar el ciclo del PET (embotellamiento, recolección, retiro, separación, recuperación, producción)</p> <p>El reciclaje de una botella PET es más ecológico que el tratamiento general de los residuos, reduciendo el impacto ambiental.</p>
Requisitos de implementación	<p>Es fundamental el involucramiento de las empresas y las alianzas público-privadas.</p> <p>Es necesario tener una normativa que obligue al reciclaje del PET, ofreciendo algún tipo de incentivo para los usuarios y subsidios para las empresas.</p>
Marco normativo	La Ordenanza sobre los embalajes de bebidas (OIB) obliga reciclar por lo menos el 75 % de las botellas puestas en el mercado
Sostenibilidad	Desde 1991, las empresas reciben una contribución adelantada para el reciclaje (CAR) de las botellas PET para bebidas que no se pueden reutilizar. Estos fondos se utilizan para el servicio público, la selección, el transporte, la administración y la comunicación.
Lecciones aprendidas	El PET se genera del petróleo o gas natural y su reciclabilidad lo vuelve un material muy precioso; su gran ventaja es conservar sus propiedades durante todo el proceso de reciclaje y entonces poder ser transformado en nuevas botellas. Eso permite dar una importante contribución a favor de la protección del medioambiente.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.petrecycling.ch/it/raccolta/cosa-raccogliere 2. http://www.petrecycling.ch/tl_files/content/PDF/PDF%20Italianisch/Kreislauf_2015/Kreislauf_A4_Factsheet_ital.pdf

Esquema de depósito y retorno de envases de botellas de PET en Noruega

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	ESQUEMA DE DEPOSITO Y RETORNO DE ENVASES
Ubicación	Noruega
Contexto	País ubicado en Europa Septentrional (península escandinava), con una población de aproximadamente cinco millones de habitantes
Año de inicio	1999
Problemática	<ul style="list-style-type: none"> → Cada años se venden 1,6 mil millones de botellas PET en el país → El PET tarda entre 100-1000 años para degradarse → las botellas PET representan un tercio de la contaminación marina de plástico
Características	<ul style="list-style-type: none"> → Ahorro: la botellas recuperadas se reutilizan hasta 17 veces (comparado con otros países donde se utilizan solamente una vez) → Valor: una botella de bebidas de 0,5L tiene un valor de depósito de ~ USD 0,12 , mientras que las botellas más grandes valen ~ USD 0,30
Forma de funcionamiento	<p>El sistema obliga a que los consumidores paguen un pequeño depósito en la compra de las botellas PET (se puede aplicar también en otros productos como latas de aluminio) que es devuelto cuando se regresa las botellas a una máquina automática, a una tienda o a otra instalación. Los consumidores reciben la devolución de su depósito en el mismo momento que devuelven sus botellas vacías.</p> <p>Las grandes tiendas y supermercados muchas veces instalan máquinas de venta inversa que escanean el código de barras y entrega a los consumidores un cupón de descuento para compras o para hacer una donación a la caridad en cambio de otras botellas.</p>
Costos	Información no disponible
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 96 % de las botellas de plástico de bebidas vendidas en el mercado son devueltas por los consumidores para reciclaje → 186 botellas/persona/año se devuelven en promedio (cada persona devuelve 1 botella cada dos días) → 6 botellas PET de cada 7 encontradas en la costa de Noruega provienen del extranjero → El PET (la forma de plástico más utilizada en las botellas de agua y gaseosas) ha adquirido un relativamente alto valor económico → Reducción de las emisiones GEI para la gestión de botellas consumidas (-562kgCO₂eq/tonelada) en el 2000 hasta -1442kgCO₂eq/tonelada en el 2003
Impactos	El sistema de depósito y retorno de envase ha creado una economía circular muy fuerte en el país. Existen también otros beneficios: se volvió parte de la forma de vivir de la población de Noruega y botar las botellas de bebidas es muy raro porque tienen un valor económico.
Requisitos de implementación	Se necesita una colaboración o alianza entre el sector público y privado para la gestión del sistema. El marco normativo debería prever los incentivos económicos para la devolución de las botellas PET usadas.
Marco normativo	El Acta de Control del Producto establece una reglamentación sobre los depósitos de los envases, para limitar la contaminación y la generación de residuos, promocionando el uso de los retornables.
Sostenibilidad	Separando las botellas vacías de los otros residuos, el plástico no se contamina y es más valorado por las empresas que producen nuevas botellas. El sistema de reciclaje del plástico es parcialmente financiado por los depósitos no reclamados de las botellas PET, y los fabricantes de bebidas ponen la cantidad restante.
Lecciones aprendidas	La gente en Noruega entendió que están pidiendo prestada la botella, pero comprando el contenido.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://infinitum.no/english/how-to-join-norways-refundable-deposit-system-for-refundable-packaging 2. http://sustainable-event-alliance.org/norway/about/norwegian-bottle-and-tin-deposit-system/

Producción de aceite con llantas usadas (NFU-neumáticos fuera de uso) en Finlandia

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología/estrategia	Pirólisis
Ubicación	Nokia- Finlandia
Contexto	País ubicado en Europa Septentrional (península escandinava), con una población de aproximadamente 5,5 millones de habitantes
Año de inicio	2017
Problemática	<ul style="list-style-type: none"> → Más de 50.000 toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU) se botan anualmente en Finlandia → La mayoría de los neumáticos desechados se reciclan para nuevo uso (pisos, asfaltos) → Finlandia no es un productor de petróleo e importa combustible de otros países
Características	<ul style="list-style-type: none"> → Productores: 280 en todo el país → Puntos de recolección: 2900 a nivel nacional → Porcentaje de recuperación: 100 % en los últimos años → Eficiencia del proceso: 24 horas para 7 días de trabajo
Forma de funcionamiento	La planta consta de un sistema de pirólisis modificado que lleva los materiales a altas temperaturas en un ambiente sin oxígeno. La alta temperatura rompe los neumáticos en componentes individuales, generando la posibilidad de extraer cada componente como: aceite, carbón, gases y acero que puede ser reciclado y utilizado nuevamente. El aceite que se produce es de alta calidad y se puede utilizar como combustible para calefacción o puede ser convertido en diésel o gasolina (previa refinación).
Costos	-€ 50 millones (más de USD 60 millones)
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> → 8000 llantas usadas procesadas por año → Producción de aceite de alta calidad para uso de combustible → No se emiten emisiones de GEI
Impactos	El reciclaje de los neumáticos, fuera de uso para producción de aceite para combustible, permite reducir los costos de importación para el Estado y disminuir las emisiones de los GEI del transporte de combustible desde el extranjero.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Fuerte inversión de implementación → Alta capacidad técnica → Cantidad mínima permanente de neumáticos fuera de uso
Marco normativo	La política y legislación sobre los residuos en Finlandia se basa en la jerarquía de residuos de la Unión Europea, pero incluye estándar y límites más estrictos de la legislación europea (Ley sobre la protección ambiental, 527/2014; Decreto de protección ambiental, 713/2014; Acta sobre residuos, 646/2011).
Sostenibilidad	En el país no hay ningún sistema de procesamiento de los neumáticos usados más sostenible y con mayor eficiencia comparado con esta planta de tratamiento. El proceso de pirólisis puede producir combustible con un contenido de energía que es 30 veces mayor de lo que consume el proceso.
Lecciones aprendidas	El reciclaje de los neumáticos fuera de uso representa un reto para la mayoría de los países, donde no hay otras opciones que la incineración o la acumulación. Producir aceite para combustible puede ser una oportunidad, en especial para aquellos países que no son productores de combustibles fósiles.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. https://sputniknews.com/science/201710021057874913-finland-tires-oil/ 2. http://www.ecomation.com/home

Anexo 2

Tecnologías Innovadoras de Pequeña Escala

Bolsa de biogás

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	BIOGÁS BACKPACK
Ubicación	Universidad de Hohenheim - Alemania
Problemática	Los materiales combustibles que son utilizados para cocinar, como la leña y el carbón, son asociados con una serie de problemas ambientales en muchos países. La recolección de estos materiales toma tiempo y es difícil, porque muchas veces no son abundantes.
Características	<p>Capacidad: 1,2m³ de biogás</p> <p>Entrada diaria: 20kg de estiércol de vaca</p> <p>Superficie de instalación: 2,0 x 5. metros</p> <p>Salida diaria: más de 1,5m³ de biogás</p> <p>Peso: 4,4kg (en el estado de completamente inflado)</p> <p>Tiempo de retención hidráulica: 30 días</p>
Forma de funcionamiento	A partir de residuos orgánicos (estiércol animal, basura doméstica, heces humanas, residuos agrícolas) y un solvente (agua, aguas residuales, orina) se mezcla un sustrato viscoso y se alimenta al sistema. El biogás producido desemboca directamente en una bolsa, donde se almacena hasta que se transporta para su utilización. Es un sistema conectable por encima del suelo: el material ingresa en el biodigestor por un lado, fluye a través del digestor y sale en el lado opuesto sin mezclarse con el sustrato parcialmente o ya fermentado. En esta forma no se requiere la agitación para el funcionamiento del proceso.
Costos	~€ 200 euros (equivalente a USD 230)
Resultados obtenidos	Se está utilizando en diferentes países del mundo: Alemania, Portugal, Suiza, India, Indonesia, Pakistán, Bangladesh, Malasia, Nepal, Tanzania, Botsuana, Etiopía, Kenia, México.
Impactos	Este sistema provee a las familias rurales pobres una fuente de energía a costo muy accesible para la iluminación y para cocinar, mejorando las condiciones de vida y aprovechando los residuos orgánicos.
Requisitos de implementación	<ul style="list-style-type: none"> → Espacio para instalación → Residuos orgánicos para el funcionamiento de la producción de biogás (estiércol, restos de comida)
Sostenibilidad	Este producto para producir biogás convierte en emprendedores a sus usuarios. La producción de biogás que supera el consumo propio, permite tener ingresos económicos con la venta de biogás. De esta manera la inversión es rentable.
Referencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. https://www.empowering-people-network.siemens-stiftung.org/en/solutions/projects/biogas-backpack/ 2. http://www.be-nrg.com/benergia/

Biogás en clima frío para familias rurales

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	BIOGÁS PARA VIVIENDA RURALES EN CLIMA FRÍO
Ubicación	Adra - Austria
Problemática	Las bacterias que producen biogás necesitan más de 15°C para producir metano. Éste limita el uso del biogás en las áreas de clima frío o cuando en invierno la gente necesita mayor energía. En la mayoría de los países, el bosque es talado y la gente necesita caminar por horas o días para recolectar el combustible de madera para cocinar cotidianamente.
Características	Residuos para la digestión: humanos, animales, orgánicos Proceso Anaerobio: <25°C Volumen: 5m ³ producción anual mayor a 20m ³ Sistema de calefacción: aerobio 30-65°C Aislamiento: 60cm, cáscara de arroz (eficiente hasta -15°C)
Forma de funcionamiento	En el diseño estándar del fermentador, un compartimiento se construye y se llena con residuos orgánicos (ej. mezcla de paja y estiércol). La pared exterior del compartimiento es aislada con ceniza de cascara de arroz o material equivalente. Un buen compost alcanza a una temperatura superior a los 60°C y calienta el fermentador por 3-4 meses. Con temperaturas bajo cero por más de dos semanas, la planta de biogás debe estar cubierta por un invernadero. El invernadero es un valor agregado y el estiércol fermentado (fertilizante alcalino) puede ser utilizado para fertilizar el suelo.
Costos	A partir de €730 (equivalente a USD 800)
Resultados obtenidos	Se está utilizando en diferentes países del mundo: Corea del Norte, Nepal, Mongolia, Bután, China del Norte, región del Cáucaso.
Impactos	Este sistema provee a las familias rurales pobres una fuente de energía a costo muy accesible para la iluminación y para cocinar, mejorando las condiciones de vida.
Requisitos de implementación	Disponibilidad de residuos orgánicos (preferiblemente estiércoles animales) Espacio suficiente para la instalación del fermentador
Sostenibilidad	El fermentador no tiene costos de mantenimiento o gestión; una vez construido e instalado no necesita mucho acompañamiento.
Referencias	1. https://www.adra.at/

Disposición final amigable con el medioambiente de los residuos infecciosos

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	PEQUEÑOS INCINERADORES PARA RESIDUOS PELIGROSOS
Ubicación	Alemania, Technik ohne Grenzen e.V. (technology without borders Germany)
Problemática	En los hospitales y clínicas, los residuos muchas veces son depositados en una forma peligrosa para la salud humana y del ambiente, y son quemados a cielo abierto.
Características	Capacidad de incineración: 20kg/hora Materiales: ladrillos de arcillas y piezas de acero soldadas
Forma de funcionamiento	Un eficiente modelo de incinerador con dos compartimentos se utiliza para el tratamiento ambientalmente amigable de los residuos infecciosos. Una única chimenea de 4-5m elimina los gases de los dos compartimentos de combustión, en los cuales se pueden lograr temperaturas mayores a 800°C. Como resultado, los residuos infecciosos son esterilizados, casi no se obtiene carbón negro ni gases tóxicos, y el volumen de los residuos es reducido. La ceniza se puede enterrar sin problemas.
Costos	~€3500 (equivalente a USD 3.700)
Resultados obtenidos	Se está utilizando en diferentes países del mundo: Ghana, Camerún, Tanzania, Nepal
Impactos	Las áreas rurales o las zonas de periferia de las grandes metrópolis pueden utilizar este sistema de incineración con muy buenos resultados y bajos costos de inversión. Además, los materiales necesarios para la construcción pueden generar un ingreso económico a las familias locales.
Requisitos de implementación	→ Pequeña inversión inicial para la construcción → Disponibilidad de mano de obra local para la construcción
Sostenibilidad	Se necesita una capacitación técnica a los beneficiarios sobre la forma de uso, mantenimiento y reparación en caso de daño.
Referencias	1. www.teog.ngo/?lang=en 2. https://www.empowering-people-network.siemens-stiftung.org/en/solutions/projects/environmentally-friendly-disposal-of-biomedical-waste/

Digestores rurales de biogas

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	DIGESTORES RURALES DE BIOGAS
Ubicación	SimGas BV - Holanda
Problemática	Los materiales combustibles que son utilizados para cocinar, como la leña y el carbón, están asociados a una serie de problemas en muchos países. La recolección de estos materiales toma tiempo y es limitada debido a su poca abundancia. Además, la cocina a leña produce contaminación del aire en las casas que representa una de las causas de enfermedades respiratorias.
Características	Capacidad: 1,2m ³ de biogás Peso: 4,4kg (en el estado de completamente inflado) Materiales: HDPE (polietileno de alta densidad) Vida útil: mínimo 20 años
Forma de funcionamiento	Cada día se llena el digestor con estiércol y agua, permitiendo a los microorganismos presentes al interior del biodigestor trabajar simbióticamente para convertir la materia prima en biogás y lodo a través de un proceso de digestión anaerobia. El biogás fluye a través de la tubería hasta la casa donde se conecta a la cocina o a otras maquinarias que necesitan biogás (ejemplo refrigeradores, lámparas). Los lodos se pueden utilizar como fertilizante orgánico natural.
Costos	-€ 500 (equivalente a USD 600)
Resultados obtenidos	Se está utilizando en diferentes países del mundo (África y Asia): Kenia, Tanzania
Impactos	Este sistema provee a las familias rurales pobres una fuente de energía a costo accesible para la iluminación y para cocinar, mejorando sus condiciones de vida. Reduce las emisiones de por lo menos 6-8 toneladas de CO ₂ por año.
Requisitos de implementación	→ Las viviendas necesitan tener suficiente espacio para el biodigestor → Disponibilidad de recolectar estiércol de 1-2 vacas, preferiblemente de cero pastoreo
Sostenibilidad	Normalmente los pequeños ganaderos tienen un promedio de 1-10 cabezas de ganado, y los hogares pueden beneficiarse de este sistema de producción de biogás (2m ³ -15m ³) recuperando su inversión en aproximadamente 18 meses.
Referencias	1. https://www.empowering-people-network.siemens-stiftung.org/en/solutions/projects/simgas-gesishamba-rural-biogas-digester/ 2. http://simgas.org/biogas-system/

Maquinaria recicla-papel instantanea

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	PAPER LAB
Ubicación	Epson- Japón
Problemática	El papel es uno de los materiales más utilizados y desechados diariamente, y enormes cantidades se desechan sin ningún proceso de reciclaje. Los papeles reciclados, a pesar de que están disponibles, son muy caros en el mercado internacional.
Características	Tecnología: fibra seca (Dry Fiber) Fases del Proceso: 1) desfibración (<i>Fiberizing</i>): el papel usado se reduce en fibras. 2) aglutinamiento (<i>Binding</i>): se agrega un aglutinante que da fuerza y blancura al material. 3) formación (<i>Forming</i>): el nuevo papel se genera por presión. 4) corte (<i>Cutting</i>): el papel se corta en hojas en el tamaño específico Velocidad de producción: 14 nuevas hojas A4/minuto (6.720 hojas por día de 8 horas) Tipos de productos: nuevas hojas de diferentes formatos (A4, A3, etc.), espesor, color
Forma de funcionamiento	La máquina, similar a una fotocopiadora, pulveriza las hojas usadas en fibras individuales, utilizando un proceso de desfibración. El proceso quita las tintas del tóner o de la inyección láser, reduciendo las hojas impresas en fibras de papel blanco. El material reciclado es convertido en nuevas hojas a través la agregación de un aglutinante especial y muy poca agua. El aglutinante agrega fuerza y los productos químicos pueden colorear o aumentar la blancura de las hojas. La mezcla comprimida se calienta para producir nuevas hojas.
Costos	~ USD 65.000
Resultados obtenidos	→ Convierte los papeles usados en papel blanco, limpio en tres minutos → Puede reciclar 14 hojas usadas de tipo A4 en 1 minuto (6.720 hojas en un día de trabajo de ocho horas) → Ahorro de agua y energía (reducción de las emisiones GEI)
Impactos	La primera máquina para reciclar papel para instalar en la oficina. A pesar de que la maquina está diseñada para las oficinas, se puede incrementar de escala. Se reducen las emisiones de CO ₂ producidas y el consumo de agua
Requisitos de implementación	→ Espacio suficiente para la instalación → Capacitación técnica para el personal y usuario
Sostenibilidad	La alta demanda de papel en las oficinas del sector público y privado podrían autogenerar sus propias necesidades para reducir los impactos ambientales y permitir el uso sostenible del papel reciclado
Referencias	1. http://global.epson.com/newsroom/2015/news_20151201.html 2. https://www.psfk.com/2016/03/recycle-paper-in-your-very-own-office-with-epson-paperlab.html

Aplicaciones para smartphone sobre gestión de residuos municipales

DATO	INFORMACIÓN
Tecnología	APP PULiamo
Ubicación	Amsa- Milan (Italia)
Problemática	Milán, una de las más grandes metrópolis de Europa, tenía dificultades en la comunicación rápida y fluida con sus ciudadanos, usuarios del servicio de recolección de residuos sólidos. Además, no tenía un sistema eficiente de comunicación participativa, en donde el ciudadano podía avisar o señalar cualquier anomalía del servicio o problemática encontrada en la ciudad.
Características	Funciones: horarios y días de recolección, puntos verdes, residuos especiales, denuncias, otros Idiomas: Cinco (Italiano, Español, Inglés, Francés, Chino)
Forma de funcionamiento	La nueva aplicación permite al usuario conocer en pocos segundos toda la información relacionada a la recolección de los residuos y a los servicios de limpieza de su ciudad. Agregando su propia dirección, el usuario puede obtener mucha información como: horarios y días de recolección de la basura en su casa, qué tipo de residuos se recolecta cada día, dónde entregar los residuos especiales, peligrosos o voluminosos, enviar fotos de basura botada en la ciudad.
Costos	Gratuito para los usuarios
Resultados obtenidos	Se está implementando desde el 2015 en Italia en Milán, Brescia, Bérgamo, Como y Varese
Impactos	En un año más de 50.000 usuarios han descargados la APP y los ciudadanos han enviado 2.700 avisos sobre el medioambiente, limpieza y recolección de residuos.
Requisitos de implementación	Tener un <i>smartphone</i> para poder descargar e instalar la aplicación
Sostenibilidad	La aplicación permite volver más activa la participación y la contribución de los ciudadanos en la gestión de los residuos sólidos municipales, asegurando mejores resultados, menores costos y mayor sostenibilidad del sistema.
Referencias	1. http://www.amsa.it/gruppo/cms/amsa/link_rapidi/puliamo/ 2. http://www.amsa.it/gruppo/cms/amsa/comunicazione/news/anno_2015/articoli/011215_puliamo.html

Anexo 3

Acrónimos y abreviaciones

ALC	América Latina y el Caribe
BAU	Business-as-usual
CCG	Cambio Climático Global
CO₂eq	Dióxido de carbono equivalente
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GIRS	Gestión Integral de los Residuos Sólidos
IPCC	Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
ODS/ODM	Objetivos de Desarrollo Sostenible / Objetivos de Desarrollo del Milenio
OECD	Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo
PET	Polietileno tereftalato
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
RSM	Residuos Sólidos Municipales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
MBT	Tratamiento Mecánico Biológico
WTE	Waste to Energy

Anexo 4

Glosario

Biogás: mezcla gaseosa en la que predomina el gas metano; se obtiene a partir de la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos.

Botadero a cielo abierto (o vertedero): es un sitio de disposición final donde los residuos son acumulados en la superficie del suelo en forma no controlada; no existen medidas para controlar vectores, la dispersión de la basura por el viento, la escorrentía de las aguas residuales (Slimak, 1978).

Disposición final: acción de depositar o confinar permanentemente residuos en diversos tipos de sitios e instalaciones.

Economía Circular: es un concepto que engloba todas aquellas empresas, proyectos e iniciativas que emplean una economía sostenible, cuyo objetivo sea que el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan en el círculo económico durante el mayor tiempo posible. El objetivo de la economía circular es alargar la vida útil de los residuos, convirtiéndolos en recursos, para implementar una economía justa, social, colaborativa y sostenible, que huya del actual sistema lineal de usar y desechar.

Incineración: cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden controlarse, a fin de alcanzar eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos.

Material reciclable: son materiales que después de servir a su propósito original, tienen propiedades físicas por las cuales pueden ser reutilizados o transformados en nuevos productos.

Procesamiento térmico: cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso a través de calor. En esta definición se incluye la incineración, la pirólisis, la gasificación y el plasma.

Pirólisis: proceso alternativo a la incineración convencional, consistente en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes; en el proceso se obtienen tres grupos de productos: i) gas de síntesis, ii) aceites, 3) *char*. Cada uno de estos productos aparecen a temperaturas distintas entre los 150° - 900°C.

Reciclaje: actividad mediante la cual determinados residuos sólidos provenientes de los servicios de aseo urbano son separados, recogidos, clasificados y procesados para reincorporarlos a un ciclo doméstico, comercial o industrial.

Recolección selectiva: sistema que recoge los residuos reciclables previamente separados por el generador de los residuos sólidos urbanos.

Relleno sanitario: un método de disposición de los residuos en el terreno sin crear riesgos para la salud pública y la seguridad, utilizando los principios de ingeniería para confinar los residuos en una pequeña superficie, para reducir los volúmenes depositados y cubrirlos con una capa de tierra al final de las operaciones cotidianas o cuando sea necesario (ASCE, 1959).

Residuos sólidos domiciliarios: residuos sólidos o semisólidos de origen exclusivamente residencial, generados por la actividad humana dentro de la vivienda.

Residuos sólidos urbanos (RSU) o municipales (RSM): residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyen los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucional, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en las oficinas de las industrias, en el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

Responsabilidad extendida del productor (REP): transferencia para los responsables por la cadena productiva de la responsabilidad y costos por los residuos post consumo, que generalmente recaen sobre el gobierno y todos los ciudadanos que pagan impuestos.

Sector de Residuos Sólidos: conjunto de instituciones y recursos de diversas naturalezas existentes en un país, relacionados con los servicios de aseo urbano.

Waste to Energy: proceso el que busca capitalizar el tratamiento de residuos para la generación de energía del tipo eléctrica o calórica.

Anexo 5

Ejemplos de Proyectos

ECUBE LABS

ECUBE Labs ofrece una variedad de soluciones para el manejo de los residuos. Esto incluye:



Clean CUBE: compactadores que funcionan con energía solar. Pueden contener hasta 8 veces más residuos en comparación con contenedores no compactadores, reduciendo la frecuencia de recolección hasta en un 80 %. Además, transmite información constantemente indicando el nivel de los residuos dentro del contenedor.



Clean FLEX: sensor Wireless ultrasónico para detectar el nivel de los residuos en un contenedor. Este sensor permite aumentar la eficiencia de recolección hasta en un 50 %. Puede ser instalado en cualquier tipo de contenedor o tanque para monitorear todo tipo de residuos, incluyendo sólidos y líquidos.

Para más información dirigirse a: www.ecubelabs.com

CAMIONES RECOLECTORES CON COMBUSTIBLE DE BIOMETANO (ALEMANIA)



El biometano puede emplearse como combustible al ser inyectado en la red de gas natural o al comprimirse en cilindros para su almacenamiento y transporte. Todos los motores que funcionan con gas natural pueden usar biometano como combustible. En Berlín, Alemania, hay camiones recolectores de residuos que utilizan combustible de biometano producido en la planta de biogás BSR (Berliner Stadtreinigung) en Berlín, asegurando la movilización de 150 vehículos.

Para más información dirigirse a: <http://sutp.org/es/news-reader/el-uso-de-biometano-en-el-sector-del-transporte-una-opcion-viable.html>

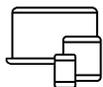
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (MILÁN)



En Milán, la recolección de residuos orgánicos es mayor que en cualquier otra ciudad de Europa gracias a su sistema de recolección puerta a puerta. Dicha recolección se realiza con bolsas biodegradables y compostables que pueden ser procesadas en plantas de digestión anaeróbica y compostaje. En esta ciudad, se recolecta cerca de 90 kg de residuos orgánicos por persona por año.

Para más información dirigirse a: <http://materbi.com/en/case-history/milan-an-outstanding-example-of-separate-waste-collection/>

RECICLAJE DE LOS RAEE (NORUEGA Y JAPÓN) Y RECICLAJE DE NEUMÁTICOS (FINLANDIA)



En Noruega el 95 % de los RAEE recolectados son reusados, reciclados o procesados para la recuperación de energía. En Japón alrededor de 140.000 toneladas de RAEE son recolectadas cada año (2015) y más del 60 % del volumen de plástico es recuperado.

En Finlandia, se procesan 8000 llantas usadas por año con una producción de aceite de alta calidad para uso de combustible y sin emisión de GEI.

Para más información dirigirse a:

<http://www.downtoearth.org.in/blog/e-waste-disposal-what-india-can-learn-from-norway-48398>

<https://www.recyclinginternational.com/recycling-news/9783/ferrous-metals/asia/japan-039-s-mitsubishi-and-hanwa-target-european-e-scrap?page=10>

<http://www.ecomation.com/>

RECICLAJE DE PAPEL (ESPAÑA) Y RECICLAJE DE PET (SUIZA Y NORUEGA)



En España, 5,2 millones de toneladas de residuos de papel y cartón han sido transformados en materias primas reciclables (2016), equivalente al 78 % de los que se consume en el mercado. En Suiza, 83 % de las botellas PET han sido recicladas en el 2015 y 152.000 toneladas de emisiones de GEI (en su mayoría CO₂) fueron evitadas por no incinerar el PET. En Noruega, 186 botellas/persona/año se devuelven en promedio (cada persona devuelve 1 botella cada dos días).

Para más información dirigirse a:

<https://www.residuosprofesional.com/alemania-francia-y-espana-encabezan-la-industria-europea-de-reciclaje-de-papel/>

https://www.swissinfo.ch/ita/multimedia/riciclaggio-di-rifiuti_le-bottiglie-in-pet-diventano-un-po-pi%C3% %B9-care/42263534

CAF no se hace responsable por la actualización de los links, los cuales fueron probados en el momento de la edición

