



Programa País
**CARBONO
NEUTRALIDAD** 2.0
Oficial del Gobierno de Costa Rica



**Portafolio de Acciones de
Mitigación de Emisiones de
Gases de Efecto Invernadero a
Escala Cantonal de Costa Rica**
Tema: Gestión de los residuos





AGRADECIMIENTOS

El presente documento ha sido elaborado por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, con apoyo del Centro para la Sostenibilidad Urbana, bajo la coordinación de Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible y el financiamiento de UNEP DTU Partnership.

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO:

- Ana Lucía Moya Mora y Esteban Bermúdez Forn, Centro para la Sostenibilidad Urbana
- Arturo Steinvorth Álvarez y Natalia Bonilla Gámez, CEGESTI

Se agradecen los aportes para la elaboración de este documento a las siguientes personas:

- Andrea Meza, directora de la Dirección de Cambio Climático, MINAE
- Marianella Feoli Peña, Directora Ejecutiva, Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible
- Laura Mora Mora, Equipo Técnico PMR-Costa Rica
- Andrea San Gil León, Directora Ejecutiva, Centro para la Sostenibilidad Urbana
- Jessica Rocard, Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible

También se agradece a las personas, las municipalidades y las organizaciones, públicas y privadas, de distintos sectores, que participaron en los talleres de consulta realizados los días 16 de mayo y 21 de junio de 2017.

Versión de este documento: 01. El presente documento se encuentra en su versión 01, por lo tanto sustituye a versiones borradores previas compartidas con los actores e interesados del presente programa.

ÍNDICE

Contenido	
Agradecimientos.....	2
Elaboración del documento:.....	2
Acrónimos	4
Introducción	5
Residuos Sólidos.....	7
Justificación de las medidas propuestas	8
Medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.....	9
Matriz de priorización de las medidas.....	10
Medidas de reducción priorizadas de acuerdo con la matriz.....	11
Conclusiones	12
Referencias.....	13
ANEXOS	14
Anexo 1. Medidas de Mitigación de GEI de Residuos Sólidos.....	14
A.1.A. Medidas de mitigación de GEI de residuos sólidos priorizadas	14
A.1.A.1 Optimización de las rutas de recolección de residuos	15
A.1.A.2 Compost mediante pilas en hileras aireadas pasivamente	15
A.1.A.3 Compost mediante pilas estáticas aireadas activamente.....	16
A.1.A.4 Compost mediante tambores rotativos	18
A.1.A.5 Vermicompost.....	19
A.1.B. Medidas de mitigación de GEI de residuos sólidos no priorizadas.....	20
A.1.B.1 Digestión anaerobia con alto contenido de sólidos.....	20
A.1.B.2 Tratamiento térmico de residuos: Co-procesamiento o co-incineración.....	20
A.1.B.3 Tratamiento mecánico-biológico.....	21
A.1.B.4 Modernización de los vehículos de recolección	21
A.1.B.5 Relleno sanitario con aprovechamiento de gas	22



LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- AED: Asociación Empresarial para el Desarrollo
- BEV: Vehículo Eléctrico de Batería, por sus siglas en inglés
- CAF: Corporación Andina de Fomento
- CEGESTI: Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial
- CGR: Contraloría General de la República
- COSEVI: Consejo de Seguridad Vial
- DCC: Dirección de Cambio Climático
- DSE: Dirección Sectorial de Energía
- DTU: Universidad Técnica de Dinamarca, por sus siglas en inglés
- ENSRVR: Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos
- GAM: Gran Área Metropolitana
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- ICE: Instituto Costarricense de Electricidad
- IMN: Instituto Meteorológico Nacional
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía
- MBT: Tratamiento Biológico Mecánico, por sus siglas en inglés
- MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes
- ONU: Organización de las Naciones Unidas
- PHEV: Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable, por sus siglas en inglés
- SUV: Vehículo utilitario deportivo, por sus siglas en inglés
- TCO: Costo Total de Propiedad, por sus siglas en inglés
- UNEP: Programa de Ambiente de las Naciones Unidas

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO DEL PORTAFOLIO

Este documento es una herramienta para las Comisiones Intersectoriales de Cambio Climático creadas para implementar el Programa País Carbono Neutralidad a nivel de cantón o distrito en Costa Rica, el cual tiene como fin ayudar a identificar las mejores medidas o acciones de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a escala territorial. La herramienta se enfoca en los sectores de movilidad sostenible, eléctrica y residuos sólidos.

Es importante resaltar que cada cantón presenta condiciones particulares (relieve, población, presupuesto, tamaño, entre otros), por lo que este documento no debe reemplazar el análisis individual. Más bien debe ser el punto de partida para el análisis a profundidad de las situaciones y condiciones de cada caso individual.

¿QUÉ ES UNA ACCIÓN DE MITIGACIÓN?

Una acción de mitigación, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC, 2014), se define como “una intervención humana para reducir las fuentes o aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero”. Así, las acciones de mitigación son la principal herramienta para la reducción de las emisiones de GEI a través del tiempo. Además, son uno de los componentes medulares para alcanzar la carbono neutralidad y cumplir las metas fijadas por el país en la Contribución Nacionalmente Determinada. Por otro lado, a nivel territorial se debe procurar que las acciones de mitigación, además de reducir emisiones de GEI, mejoren la calidad de vida de los habitantes y que promuevan el desarrollo cantonal bajo en emisiones.

¿CUÁNDO UTILIZAR ESTE PORTAFOLIO?

Se recomienda a la Comisión Intersectorial de Cambio Climático, creada para implementar el Programa País Carbono Neutralidad en el cantón o el distrito, consultar este documento en el proceso inicial de planificación de acciones de mitigación para su territorio. Es preferible que este proceso ocurra después de la realización de un inventario de GEI a escala territorial, pues así se tendrá mejor claridad de los sectores de intervención prioritarios (con la mayor cantidad de emisiones) y además se contará con una línea base para el reporte y la comparación posterior al avance de las acciones.

CONSIDERACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE ESTE PORTAFOLIO

Las acciones de mitigación descritas en este portafolio tienen el propósito de brindar un listado de alternativas para la reducción de GEI enfocadas en dos grandes temas: Residuos Sólidos y Movilidad. A su vez, Movilidad se subdivide en Movilidad Sostenible y Movilidad Eléctrica.

Se seleccionaron estos dos sectores pues se consideran prioritarios para el país en relación con mitigación. El transporte es el mayor emisor de GEI del país: sus emisiones representan un 44% del total de emisiones de GEI (MINAE & IMN, 2015). Por su parte, el sector residuos emite el 15,7% del total de las emisiones del país (Ministerio de Salud, 2016), siendo así la tercera fuente con más relevancia de mitigación en Costa Rica. Además, estos dos sectores representan verdaderos retos para las administraciones municipales. Estos retos se abordarán en secciones posteriores.

Es importante aclarar que los cantones participantes del Programa País pueden realizar acciones de mitigación en su territorio en otros sectores, como por ejemplo el sector agricultura, forestal, industrial, energía estacionaria, entre otros. Se insta a que, posterior a la realización del inventario, las municipalidades hagan un análisis de las categorías clave de su inventario de manera tal que identifiquen cuáles son los sectores en los que una acción de mitigación tendría más impacto en relación con emisiones. Para el caso del sector agricultura, existe de momento un trabajo conjunto entre el INTA, y Fundecooperación, para desarrollar un portafolio similar al presente.

Mediante criterio de expertos, se seleccionaron medidas de mitigación funcionales para la realidad de Costa Rica (10 de Residuos Sólidos, 20 de Movilidad Sostenible y 10 de Movilidad Eléctrica). Posteriormente, se desarrolló una matriz de priorización para extraer las mejores medidas de acuerdo con base en criterios técnicos, ambientales y económicos. Al tratarse de temas diferentes, se elaboró una matriz de priorización individual para Residuos Sólidos y otra para Movilidad con el fin de evaluar las medidas de la mejor manera.

El portafolio cuenta con una descripción de cada uno de los temas, fichas con información de las medidas priorizadas y no priorizadas, así como con la matriz de priorización utilizada para cada caso en formato de Excel. Como se mencionó anteriormente, cada cantón experimenta una realidad diferente, por tanto, se recomienda utilizar la matriz adjunta para valorar las medidas propuestas tomando en cuenta las condiciones de cada cantón y adecuar así la priorización.

RESIDUOS SÓLIDOS

La gestión de residuos sólidos municipales es un importante reto a nivel mundial. Además de presentar impactos en la salud de las personas, también tiene un impacto significativo en el ambiente. El sector de residuos a nivel mundial representa alrededor del 11% de las emisiones de metano y es un importante emisor de carbono negro, contaminante de vida corta con impactos en salud y en cambio climático (Climate and Clean Air Coalition, 2017). El caso de Costa Rica no es una excepción.

De acuerdo con la Estrategia Nacional de Separación, Valorización y Recuperación de Residuos (ENSRVR), elaborada por el Ministerio de Salud en el 2016, en el país, el sector de residuos ocupa el tercer lugar en cuanto a emisiones de GEI con un 15,7% del total (Ministerio de Salud, 2016). La Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (Ministerio de Salud, 2016) menciona que se generan diariamente en el país 4000 toneladas de residuos sólidos, de las cuales 2332 toneladas se disponen en rellenos sanitarios, 792 toneladas en vertederos controlados y 852 en botaderos a cielo abierto. El objetivo de la ENSRVR es “desarrollar un modelo inclusivo para la gestión integral de los residuos sólidos en el país que permita el fortalecimiento de las capacidades entre el sector público, sector privado y sociedad civil, del 2016 al 2021”. Esta gestión necesariamente debe estar alineada a las metas nacionales para el avance hacia una economía baja en emisiones.

A partir de la promulgación de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, las municipalidades han sido dotadas de herramientas para mejorar sus labores. Sin embargo, según estudios de la Contraloría General de la República, aún existen comunidades en 70 de los 81 cantones en las que no se presta el servicio de recolección de residuos segregado (Contraloría General de la República, 2016). Además del reto de aumentar

la cobertura hasta alcanzar un 100% de la población servida, se menciona frecuentemente las dificultades para poder brindar también la recolección separada de residuos. Esta separación desde la fuente es esencial para poder lograr una valorización efectiva de los distintos residuos que se puedan generar en las viviendas y comercios, sean residuos orgánicos que se puedan destinar a tratamientos biológicos o residuos valorizables como materiales reciclables que se puedan comercializar o a partir de los que sea posible producir otro tipo de productos. Actualmente, tanto la ENSRVR como el informe de la Contraloría General de la República señalan que se recupera apenas 1,26% de los residuos generados a nivel nacional (Ministerio de Salud, 2016). Es necesario reforzar las acciones destinadas a la recuperación de residuos desde su fuente de generación para obtener mayores beneficios.

De acuerdo con estudios de generación y composición de residuos realizados por el CEGESTI para 8 municipalidades del país, siguiendo la metodología oficial del Ministerio de Salud, se encontró que, en promedio, en zonas urbanas 51% de los residuos sólidos ordinarios son orgánicos y en zonas rurales un 45% (CEGESTI, 2017). Cabe resaltar que son pocas las municipalidades que cuentan con este tipo de estudios, de suma importancia para poder contemplar distintas tecnologías de tratamiento de residuos y garantizar su adecuada operación y sostenibilidad. La falta de información técnica debe ser abordada para poder tomar decisiones fundamentadas e inversiones bien justificadas. Las propuestas de soluciones que no tomen en cuenta la información técnica relevante sobre los residuos generados podrían ser perjudiciales para los intereses municipales.

El país cuenta con muchas oportunidades a través de toda la gestión de residuos sólidos para

mejorar su desempeño, por ejemplo: la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos N°8839, los instrumentos y lineamientos derivados de esta y los compromisos y acuerdos internacionales a los cuales Costa Rica se encuentre adherido.

JUSTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS

La Ley N° 8839 establece la jerarquización para la gestión de residuos, en la cual se indica el siguiente orden: evitar, reducir, reutilizar, valorizar, tratar y disponer. Los actores de la gestión integral de residuos sólidos deberán promover esta jerarquización en sus acciones. El sector municipal es el encargado de prestar o garantizar el servicio de recolección de residuos ordinarios y valorizables en el país. La recolección diferenciada de residuos, ya sea de valorizables o de orgánicos, es una de las principales opciones de mejora que tienen los municipios, especialmente si se considera que alrededor de la mitad de los residuos generados son orgánicos (residuos de comida, de jardín o madera). En este nicho existe una amplia gama de opciones de tratamiento que serán descritas en las fichas generales.



Figura 1. Jerarquía de priorización conceptual de jerarquización de residuos sólidos
Fuente: (Ministerio de Salud, 2016)

Otro de los aspectos a los que el informe de la CGR hace referencia es a la operación de los servicios de recolección. Se explica cómo la poca planificación de las rutas y frecuencias de recolección pueden encarecer significativamente el servicio. La logística involucrada para el tratamiento o la disposición final de los residuos es otro de los aspectos que impactan en la sostenibilidad. Ligado a esto, un punto poco comprendido y explorado es el de los vehículos utilizados para la prestación del servicio, así como su mantenimiento.

Actualmente se fabrican vehículos que superan en términos de eficiencia energética y desempeño ambiental a los vehículos que realizan la recolección. Debido a los largos recorridos, las mejoras en los consumos de combustible pueden tener un impacto positivo en las finanzas del servicio, además de reducir los costos de mantenimiento que han venido en aumento, de acuerdo con la CGR.

Por último, a nivel de disposición final de residuos, el país también cuenta con posibilidades de mejora. Los datos de la Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos indican que los tres tipos de sitios de disposición final son: rellenos sanitarios (58,3% de los residuos generados), vertederos controlados (19,8%) y botaderos a cielo abierto (21,3%). Estos tipos de tratamiento, en especial los vertederos controlados y botaderos a cielo abierto, no cuentan con buenos sistemas de recolección y aprovechamiento del metano que genera la descomposición de los residuos y que es un potente gas de efecto invernadero, un gas precursor de la generación de ozono troposférico y que aumenta el riesgo de explosiones en los sitios de disposición. Algunos de los rellenos sanitarios cuentan con antorchas para quemar el gas, lo que al menos reduce su impacto ambiental. Sin embargo, este recurso podría aprovecharse para la generación de electricidad, para la producción de calor o como sustituto a combustibles para la operación de ciertos equipos.

Otro de los tratamientos sobre los que se ha conversado en el país es el Co-procesamiento o co-incineración de los residuos. Este tratamiento térmico, bajo condiciones de temperatura y oxígeno controladas para permitir una combustión adecuada de los residuos y evitar la generación de sustancias dañinas para la salud y el ambiente, tiene como uno de sus principales beneficios la reducción del volumen de residuos que deben ser dispuestos en un relleno sanitario. Las cenizas generadas en las instalaciones de un incinerador deben ser dispuestas adecuadamente en rellenos sanitarios para evitar problemas que estas puedan dar, especialmente porque pueden contener metales pesados que podrían llegar a infiltrarse en cuerpos de agua subterráneos. A nivel de emisiones de gases de efecto invernadero este tipo de tratamiento tendría una ventaja sobre un relleno sanitario sin recuperación o aprovechamiento de metano debido a que convierte el metano (de mayor potencial de calentamiento global) en dióxido de carbono. Si fuera posible aprovechar en el incinerador el calor producido para la generación de electricidad y otros usos, aumentaría la reducción de emisiones ya que se estarían sustituyendo fuentes fósiles que son de mayor emisión de GEI.

Como resumen, las medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se pueden agrupar bajo tres categorías: tratamientos de residuos orgánicos, mejoras logísticas y operativas del servicio y mejoras en la disposición final de los residuos. A continuación, se describen brevemente las medidas propuestas (para mayor información, consultar las fichas generales en el Anexo 2).

MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las medidas consideradas se pensaron en primera instancia para el tratamiento de residuos orgánicos, por ser la mayor fracción de residuos que se generan en el país, tanto en zonas urbanas como rurales. La segunda categoría de opciones se centra en logística y aspectos operativos del sistema, en la planificación y uso eficiente de los recursos con los que cuentan las municipalidades para brindar su servicio. La tercera categoría se

enfoca en otros tipos de tratamiento y disposición final de los residuos.

Tratamiento de residuos orgánicos:

- **Compost mediante pilas en hileras aireadas pasivamente:** Tratamiento biológico de la materia orgánica de forma aerobia utilizando una pila extendida en forma de hilera. Las pilas son aireadas pasivamente mediante una red de tuberías que se ubica debajo de las hileras.
- **Compost mediante pilas estáticas aireadas activamente:** Tratamiento biológico de la materia orgánica de forma aerobia utilizando una pila con aireación asistida. La materia orgánica es aireada mediante ventiladores u otros equipos para acelerar su descomposición.
- **Compost mediante tambores rotativos:** Tratamiento biológico de la materia orgánica de forma aerobia utilizando un tambor rotativo. La aireación se realiza mediante agitación mecánica o inyección de aire.
- **Vermicompost:** Tratamiento biológico que utiliza lombrices de tierra para crear una mezcla heterogénea de residuos vegetales o de alimentos en descomposición, materiales de cobertura y vermicompost.

Medidas operativas y logísticas

- **Modernización de vehículos de recolección:** Cambio de los vehículos destinados al servicio de gestión de residuos por vehículos más eficientes y con mejores controles de emisiones. Las nuevas tecnologías vehiculares han avanzado de tal modo que el rendimiento de los vehículos es mayor y sus emisiones contaminantes son menores (especialmente material particulado y óxidos de nitrógeno).
- **Optimización de rutas de recolección de residuos:** Es un trabajo de logística para optimizar los recursos municipales, tanto económicos como de personal y equipos. El servicio de recolección puede representar de un 60-80% del costo total de la gestión de residuos sólidos municipales.

Tratamientos y disposición final de residuos

- **Digestión anaerobia:** Tratamiento biológico de la materia orgánica de forma anaerobia en un reactor. La materia orgánica se descompone, generando biogás (compuesto mayoritariamente por metano y dióxido de carbono) y digerido. Ambos subproductos son aprovechables.
- **Co-procesamiento o co-incineración:** Tratamiento térmico de los residuos a altas temperaturas (sobre 850°C), bajo condiciones controladas de temperatura y oxígeno, para reducir el volumen que será dispuesto en un sitio de disposición final. El calor generado en la combustión se puede aprovechar para usos industriales o para la producción de electricidad.
- **Rellenos sanitarios con aprovechamiento de gas:** Tratamiento anaeróbico de los residuos sólidos municipales mezclados. Está diseñado para capturar los gases que se forman en la descomposición de los residuos (metano, CO₂ y otros gases traza) y aprovechar este gas para la generación de electricidad o para ser utilizado como un sustituto de combustibles fósiles en procesos de combustión.
- **Tratamiento mecánico biológico:** Procesamiento mecánico parcial de los residuos sólidos municipales mediante la remoción de ciertos componentes y el proceso biológico de las partes restantes. Se pueden obtener varios subproductos aprovechables dependiendo de la configuración de la planta.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

Para determinar cuáles opciones pueden resultar más convenientes a nivel cantonal, el equipo consultor desarrolló una herramienta que permita priorizar las medidas de reducciones de acuerdo con variables técnicas, económicas y ambientales. Esta herramienta se basa en

el criterio del experto a cargo y basada en información disponible para una toma de decisiones con mejor juicio.

Entre las variables técnicas se encuentran: el requerimiento de equipo o maquinaria nueva, las necesidades de capacitación, requerimientos de espacio y mantenimiento, requerimientos de combustibles y/o electricidad y aspectos relacionados con seguridad e higiene ocupacional. En el caso de necesidad de área para el desarrollo de inmuebles o infraestructura para implementar la medida, se definió como estándar un terreno de 3000 m², por encima de eso, entonces, se requeriría espacio para la medida de reducción. La determinación del puntaje en las variables técnicas depende de su complejidad. A mayor complejidad técnica, se le asigna un puntaje menor, debido a que requerirá una mayor especialización para su implementación.

A nivel económico se contemplaron los costos de inversión y los de operación y mantenimiento. A mayores costos económicos para el cantón participante del programa, menor su puntuación. Muchas municipalidades cuentan con presupuestos bastante reducidos para realizar una gestión integral de residuos adecuada, por lo que sería un reto destinar una gran cantidad de recursos a estas actividades. Los rangos de los costos de inversión se definieron como:

- Bajo: menor a \$85 000.
- Medio: entre \$85 000 y \$250 000.
- Alto: sobre \$250 000.

Los beneficios ambientales esperados se centraron en el potencial de reducción de emisiones, la disminución de consumo de recursos, el potencial de aprovechamiento de subproductos generados y el orden en la jerarquización de residuos de acuerdo con la Ley 8839 para la Gestión Integral de Residuos. Entre mayores sean los beneficios ambientales, mayor será la puntuación otorgada.

Habrán dos maneras de priorizar las medidas. Una basada en puntuación y la otra en una ponderación. La puntuación sumará la evaluación de los criterios técnicos, económicos y ambientales. La ponderación para la priorización final de las medidas otorga un máximo de 30% de peso al aspecto técnico, 40% al aspecto económico y 30% a los beneficios ambientales. La utilidad de las dos maneras de evaluar las opciones es para que, en caso de que haya empate en la matriz de puntuación, se pueda lograr una diferenciación en la matriz de ponderación. Las cinco medidas con mayor puntaje son las recomendadas para su implementación.

MEDIDAS DE REDUCCIÓN PRIORIZADAS DE ACUERDO CON LA MATRIZ

La matriz de priorización contempla aspectos técnicos, económicos y ambientales, con su respectivo puntaje y criterios de puntuación. Es conveniente revisar los resultados obtenidos en la herramienta de puntuación para mayor comprensión. Idealmente, la matriz se creó para que cada cantón la utilice con su información local para obtener resultados más convenientes para su propia situación. En la Tabla 1 se pueden apreciar con un asterisco (*) las cinco medidas priorizadas, así como el puntaje total obtenido para cada una.

TABLA 1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL SECTOR RESIDUOS SÓLIDOS

Medida	Puntuación Total
* Pilas en hileras aireadas pasivamente	81
* Vermicompost	81
* Optimización de rutas de recolección	76
* Pilas estáticas aireadas activamente	49
* Tambores rotativos	49
Modernización de flota	47
Tratamiento mecánico biológico	35
Digestión anaerobia	29
Rellenos sanitarios con aprovechamiento de gas	29
Co-procesamiento o co-incineración	25

Se observa que claramente el tratamiento de residuos orgánicos mediante el compostaje es prioritario para la situación nacional. Esto concuerda además con el conocido hecho de que, en los residuos generados en el país, la fracción orgánica es la mayoritaria y su reducción y aprovechamiento requieren atención. Para facilitar la implementación del compostaje, se debe comenzar por sensibilizar a las personas para que separen desde la fuente este tipo de residuos. Una de las ventajas que presenta el compostaje es que se puede realizar a distintas escalas y puede ser descentralizado o concentrado en instalaciones de mayor tamaño. Para sitios en los que no se cuente con recolección de residuos, se podría contemplar un sistema comunal de tratamiento, con una recolección menos formal que los camiones de recolección compactadores, y así brindarle una solución a estas poblaciones que actualmente recurren a prácticas no deseadas para la disposición de sus residuos.

Aparte de los tratamientos mediante compostaje, la otra medida de reducción con mayor impacto sería la optimización de las rutas de recolección de residuos. Esta medida operativa permitiría, además de una reducción en emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir el ruido y la contaminación local en las comunidades a las cuales les brinda el servicio, disminuir el consumo de combustible y así liberar recursos económicos para la gestión de residuos.

Las medidas priorizadas se adaptan muy bien a cualquier tipo de cantón, ya que los tratamientos para orgánicos propuestos pueden realizarse a distintas escalas y sin necesariamente requerirse una instalación única. Además, el subproducto del tratamiento, el compost, podría ser utilizado como abono en parques municipales, como material de cobertura o, si cumpliera todos los parámetros necesarios, vendido como compost al público. La mejor opción o configuración para el compostaje dependerá de distintas variables (como las contempladas en la matriz) y en especial de las condiciones propias de cada municipio.

Conclusiones

El sector de residuos es el tercer mayor emisor de gases de efecto invernadero en el país (Ministerio de Salud, 2016). Existen grandes opciones para mejorar la gestión de residuos sólidos en el país, especialmente en el tratamiento de los residuos orgánicos generados. Las municipalidades y el gobierno central deben poner en marcha planes para sensibilizar y educar a la población de la importancia de una gestión adecuada de los distintos tipos de residuos sólidos municipales generados y brindar servicios de recolección diferenciada para facilitar el tratamiento de estos y así contribuir a mejorar la salud pública, reducir el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector y obtener beneficios económicos por mejoras en el servicio. El avance hacia una economía baja en emisiones también pasa por el sector de residuos sólidos y particularmente los residuos orgánicos.

REFERENCIAS

American University of Beirut. 2016. Guide to Municipal Solid Waste Management. Beirut, Líbano.

Banco Interamericano de Desarrollo. 2013. Manual para la aplicación de tecnologías Waste to Energy en América Latina y el Caribe. Consultado el 9 de abril de 2014 en: http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf

CMNUCC. (2014). Glossary of climate change acronyms and terms. Consultada en: http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php#M.

Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial CEGESTI. 2017. Introducción a la metodología de estudios de generación y composición: Resultados obtenidos en diferentes municipalidades de Costa Rica. Ponencia en el Lanzamiento de la Red Centroamericana de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el marco de la Coalición para el Clima y Aire Limpio (CCAC). San José, Costa Rica.

Climate and Clean Air Coalition. 2017. Mitigating SLCPs from the municipal solid waste sector. Consultada en: <http://www.ccacoalition.org/en/initiatives/waste>.

Contraloría General de la República. 2016. Auditoría Operativa: Recolección de Residuos Ordinarios. Obtenido de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/estrategias/3026-estrategia-nacional-de-reciclaje-2016-2021/file>

Corporación Nacional Forestal. (s.f.). Ficha 5. Técnicas de Compostaje. Chile.

Department for Environment, Food and Rural Affairs. 2013. Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Wastes. Consultado el 26 de marzo de 2014 en: <https://www.gov.uk/government/publications/mechanical-biological-treatment-of-municipal-solid-waste>.

Friends of the Earth. (Setiembre de 2008). Mechanical and Biological Treatment (MBT).

MINAE & IMN. 2015. Informe Bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático-Costa Rica. Consultado el 10 de julio de 2017 en: <http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/bur-2015.pdf>

Guinan, B. Kristiansen, T. Milton, D. 2008. Critical Analysis of the Potential of Mechanical Biological Treatment for Irish waste Management. Consultado el 7 de abril de 2014 en: <http://erc.epa.ie/safer/resource?id=d22d6f8a-217b-102c-b381-901ddd016b14>.

Juniper Consultancy Services Ltd. 2005. MBT: A Guide for Decision Makers – Processes, Policies and Markets. Consultado el 24 de abril de 2014 en: http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT_Summary_Report_Final.pdf.

McGrouther, K. (April de 2013). Technical Sheet: Vermicomposting.

Minister of the Environment. (2013). Technical Document on Municipal Solid Waste Organic Processing. Environment Canada.

Ministerio de Salud. 2016a. Estrategia Nacional de Separación, Valorización y Recuperación de Residuos 2016-2021. San José, Costa Rica. Obtenido de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/estrategias/3026-estrategia-nacional-de-reciclaje-2016-2021/file>.

Ministerio de Salud. 2016b. Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021. San José, Costa Rica. Obtenido de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>

World Bank. 1999. Decision Makers' Guide to Municipal Solid Waste Incineration. Washington D.C. Estados Unidos de América.

Zurbrügg, C. (2016). Vermicomposting in Biowaste. Lausanne, Suiza.

ANEXOS

ANEXO 1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI DE RESIDUOS SÓLIDOS

A.1.A. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI DE RESIDUOS SÓLIDOS PRIORIZADAS

A.1.A.1 Optimización de las rutas de recolección de residuos

¿En qué consiste?

- Mejorar la frecuencia y el recorrido de las rutas de recolección de residuos.
- Es un trabajo de logística para optimizar los recursos municipales, tanto económicos como de personal y equipos.
- El servicio de recolección puede representar hasta un 60-80% del costo total de la gestión de residuos sólidos municipales.

Beneficios

- Reducción del consumo de combustibles por el servicio de recolección y sus emisiones.
- Potencial reducción de cantidad de camiones recolectores y menor cantidad de horas trabajadas en el servicio.
- Ahorro económico por menor combustible usado.

Contexto en el que sería útil

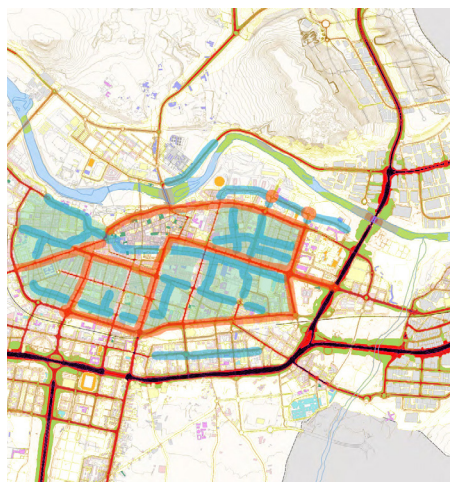
- Todas las municipalidades, en especial aquellas que cuentan con muchas rutas de recolección y muchos recorridos por día.
-

Nivel típico de inversión

- Costo de inversión bajo-medio, de acuerdo con la cantidad de rutas.

Requisitos necesarios para implementarla

- Información sobre rutas, frecuencias, personal, consumo de combustible, vialidades, tipo de recolección, entre otras.



Actores mínimos por involucrar

- Municipalidad.
- Prestador del servicio de recolección (en caso de ser un servicio subcontratado).
- Consumidores u organizaciones de usuarios (Acorde con los principios de responsabilidad compartida y participación de la Ley GIR).

Reducción de emisiones

- Potencial de reducción de emisiones: medio
- Sector del inventario con posibilidad de ser afectado: residuos.
- Motivo: Los camiones recolectores emiten dióxido de carbono y otros gases como hollín y óxidos de nitrógeno durante su uso.

Consideraciones adicionales

- En caso de que no sea la municipalidad la que brinde el servicio de recolección, se debe coordinar con la empresa que brinde dicho servicio.
- Indicadores propuestos para monitoreo: rendimiento de combustible (km/l) por ruta, rendimiento de combustible por camión recolector, capacidad de carga promedio por ruta.

Injerencia municipal

- Directa.

Tiempo típico de implementación

- Corto (menos de 1 año).

A.1.A.2 Compost mediante pilas en hileras aireadas pasivamente

¿En qué consiste?

- Degradación de la materia orgánica de forma aerobia utilizando una pila extendida en forma de hilera. Las pilas son aireadas pasivamente mediante una red de tuberías que se ubica debajo de las hileras.
- Manejo en exteriores.
- Tratamiento de residuos de jardín.
- Capacidad de tratamiento: hasta 10 000 toneladas anuales de residuos.

Beneficios

- Bajos costos de inversión y de operación.
- Poca mano de obra requerida.
- No requiere de energía eléctrica.
- Baja generación de lixiviados.
- Bajo consumo de agua.

Contexto en el que sería útil

- Municipalidades con una generación menor a 30 toneladas diarias de residuos de jardín.
- Cualquier municipalidad en el país, principalmente en zonas rurales que permitan aprovechar el compost generado y que no cuenten con un 100% de cobertura.
- Recomendable en zonas que cuenten con mucho espacio.

Nivel típico de inversión

- Bajo nivel de inversión.
- Costos operativos bajos.

Requisitos necesarios para implementarla

- Alta demanda de espacio.
- Pretratamiento de los residuos: trituración y mezclado.
- Tiempo de compostaje: largo.

Reducción de emisiones

- Potencial de reducción de emisiones: medio.
- Sector del inventario con posibilidad de ser afectado: residuos.
- Motivo: La descomposición de los residuos orgánicos emite gases de efecto invernadero como dióxido de carbono y metano. El compost evita la emisión de metano.

Actores mínimos por involucrar

- Municipalidad.
- Prestador del servicio (pretratamiento y tratamiento).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Salud.
- Consumidores (separación desde la fuente).

Consideraciones adicionales

- El compost debe cumplir con criterios de calidad para ser comercializado.
- Durante el proceso de compostaje se requiere de un constante monitoreo de ciertos parámetros.
- Indicadores propuestos para el monitoreo: cantidad de materia orgánica tratada, cantidad de compost que sustituye fertilizantes químicos.

Injerencia municipal

- Directa.

Tiempo típico de implementación

- Medio (de 1 a 3 años).



A.1.A.3 Compost mediante pilas estáticas aireadas activamente

¿En qué consiste?

- Degradación de la materia orgánica de forma aerobia utilizando una pila con aireación asistida. La materia orgánica es aireada mediante ventiladores u otros equipos.
- Manejo en exteriores e interiores.
- Tratamiento de residuos de jardín y residuos de comida.
- Capacidad de tratamiento: de 1 000 a más de 100 000 toneladas anuales de residuos.

Beneficios

- Tiempos de compostaje bajos.
- Se puede trabajar en espacios más compactos que las pilas en hileras.
- Baja área superficial reduce el impacto de la infiltración por lluvia.

Contexto en el que sería útil

- Cualquier cantón en el país, principalmente en zonas rurales que permitan aprovechar el compost generado.
- Útil para tratamiento descentralizado en municipalidades que no cuentan con una tasa de recolección de 100%.

Nivel típico de inversión

- Costos de inversión medios.
- Costos operativos de bajos a medios.

Requisitos necesarios para implementarla

- Demanda de espacio de baja a moderada.
- Pretratamiento de los residuos: trituración y mezclado.
- Tiempo de compostaje: corto.

Actores mínimos por involucrar

- Municipalidad.
- Prestador del servicio.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Salud.
- Consumidores (Separación desde la fuente).

Reducción de emisiones

- Potencial de reducción de emisiones: medio
- Sector del inventario con posibilidad de ser afectados: residuos.
- Motivo: La descomposición de los residuos orgánicos emite gases de efecto invernadero como dióxido de carbono y metano. El compost evita la emisión de metano.

Consideraciones adicionales

- El compost debe cumplir con criterios de calidad para ser comercializado.
- Durante el proceso de compostaje se requiere de un constante monitoreo de ciertos parámetros.
- Indicadores propuestos para el monitoreo: cantidad de materia orgánica tratada, cantidad de compost que sustituye fertilizantes químicos.

Injerencia municipal

- Directa.

Tiempo típico de implementación

- Medio (de 1 a 3 años).



A.1.A.4 Compost mediante tambores rotativos

¿En qué consiste?

- Degradación de la materia orgánica de forma aerobia utilizando un tambor rotativo. La aireación se realiza mediante agitación mecánica o inyección de aire.
- El método de compostaje se realiza en un recipiente cerrado.
- Para interiores o exteriores.
- Capacidad de 1 000 a más de 100 000 toneladas anuales de residuos.
- Para residuos de jardín y de comida.

Beneficios

- Variedad en escala, de acuerdo con la generación.
- Los tambores se pueden colocar de forma modular.
- Permite el tratamiento descentralizado de los residuos.
- Tiempo de compostaje: corto.
- Bajo consumo de agua.
- Baja generación de lixiviados.

Contexto en el que sería útil

- Cualquier cantón en el país, independientemente de su tamaño y ubicación (urbano o rural).
- Útil para tratamiento descentralizado en municipalidades que no cuentan con una tasa de recolección de 100%.

Nivel típico de inversión

- Costo de inversión medio.
- Costos operativos medios.

Requisitos necesarios para implementarla

- Se requiere trituración.
- Requiere electricidad para la agitación.
- El compost necesita un tratamiento posterior.

Actores mínimos por involucrar

- Municipalidad.
- Prestador del servicio.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Salud.
- Consumidores (separación desde la fuente).

Reducción de emisiones

- Potencial de reducción de emisiones: medio
- Sector del inventario con posibilidad de ser afectados: residuos.
- Motivo: La descomposición de los residuos orgánicos emite gases de efecto invernadero como dióxido de carbono y metano. El compost evita la emisión de metano.

Consideraciones adicionales

- El compost debe de cumplir con criterios de calidad para ser comercializado.
- Durante el proceso de compostaje se requiere de un constante monitoreo de ciertos parámetros.
- Indicadores propuestos para el monitoreo: cantidad de materia orgánica tratada, cantidad de compost que sustituye fertilizantes químicos.

Injerencia municipal

- Directa.

Tiempo típico de implementación

- Corto (menos de 1 año).



A.1.A.5 Vermicompost

¿En qué consiste?

- Proceso de compostaje que utiliza lombrices de tierra para crear una mezcla heterogénea de residuos vegetales o de alimentos en descomposición, materiales de cobertura y vermicompost.
- Como producto final se obtiene vermicompost (humus de lombriz).
- Sirve para residuos de comida, residuos de jardín, y residuos agrícolas (evitar residuos lácteos, carne, cítricos y productos grasosos).
- Capacidad de tratamiento de residuos es muy versátil.

Beneficios

- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- El vermicompost puede ser utilizado como abono o acondicionador del suelo.
- La acción conjunta de lombrices y microorganismos intensifica la descomposición de la materia orgánica.
- Permite tratamiento descentralizado.

Contexto en el que sería útil

- Cantón de cualquier tamaño, preferiblemente rural para que cuente con un terreno grande que se encuentre alejado de áreas residenciales debido a los olores.

Nivel típico de inversión

- Costo de inversión bajo a medio.
- Costos de operación bajos.

Requisitos necesarios para implementarla

- Ausencia de luz.
- Biosólidos requieren deshidratación previa.
- Los residuos verdes requieren una reducción previa de tamaño.
- Se requieren grandes superficies.
- El tiempo de vermicompost es medio.

Actores mínimos por involucrar

- Municipalidad.
- Prestador del servicio.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Salud.
- Consumidores.

Reducción de emisiones

- Potencial de reducción de emisiones: medio.
- Sector del inventario con posibilidad de ser afectados: residuos.
- Motivo: La descomposición de los residuos orgánicos emite gases de efecto invernadero como dióxido de carbono y metano. El compost evita la emisión de metano.

Consideraciones adicionales

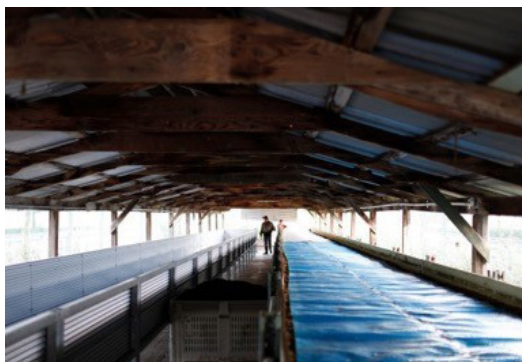
- El compost debe cumplir con criterios de calidad para ser comercializado.
- Durante el proceso de compostaje se requiere de un constante monitoreo de ciertos parámetros.
- Indicadores propuestos para el monitoreo: cantidad de materia orgánica tratada, cantidad de compost que sustituye fertilizantes químicos.

Injerencia municipal

- Directa.

Tiempo típico de implementación

- Corto (menos de 1 año).



A.1.B. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PRIORIZADAS

A.1.B.1 Digestión anaerobia con alto contenido de sólidos

¿En qué consiste?

- Degradación de la materia orgánica de forma anaerobia en un reactor. La materia orgánica se descompone, generando biogás y digerido. Ambos subproductos son aprovechables.
- Operación en lotes.
- Capacidad de 10 000 a 100 000 toneladas anuales de residuos.
- Para residuos de jardín y de comida.

Beneficios

- Tiempo de retención: corto.
- Subproductos aprovechables: digerido, efluente y biogás.
- Puede procesar residuos mezclados (con plásticos, metales, piedras).

Contexto en el que sería útil

- Para municipalidades de tamaño medio o grande o proyectos intermunicipales.
- Para municipalidades urbanas y/o rurales.

Nivel típico de inversión

- Altos costos de inversión.
- Costos operativos de medio a altos. Capacidad técnica

Requisitos necesarios para implementarla

- Se requiere pretratamiento: sacar de la bolsa, tamizar y mezclar.
- Requiere material como residuos de jardín para agregar porosidad.
- Tamaño de partículas menor a 20 cm.
- Requiere agua dependiendo de la cantidad de residuos tratados.



A.1.B.2 Tratamiento térmico de residuos: Co-procesamiento o co-incineración

¿En qué consiste?

- Descomposición térmica de los residuos a altas temperaturas (sobre 850°C), bajo condiciones controladas, para reducir su volumen.
- El calor generado puede ser usado para la generación de electricidad o para usos industriales.
- Permite tratar todo tipo de residuos sin separación previa. Mínimo 50 000 toneladas anuales de residuos combustibles.

Beneficios

- Reducción de volumen de los residuos.
- Potencial aprovechamiento para generar electricidad o calor.
- Bajo condiciones óptimas evita la generación de olores.

Contexto en el que sería útil

- Municipalidades o federaciones de municipalidades con generaciones de residuos altas (mínimo 50 000 toneladas anuales de residuos combustibles).
- Preferiblemente en municipios donde se pudiera ubicar el incinerador cerca de las fuentes de generación para evitar aumentar los costos por el transporte de residuos.



Nivel típico de inversión

- Costo de inversión alto.
- Costo de operación alto.

Requisitos necesarios para implementarla

- Bajo contenido de humedad en los residuos (menor a 30%).
- Valor calorífico mínimo de los residuos de 6 MJ/kg.
- Alta capacidad técnica y especialización.
- Marco institucional bien definido.

A.1.B.3 Tratamiento mecánico-biológico

¿En qué consiste?

- Procesamiento mecánico parcial de los residuos sólidos municipales mediante la remoción de ciertos componentes y el proceso biológico de las partes restantes.
- Posibles productos finales: fracción orgánica estabilizada, materiales reciclables, materiales inertes, combustible derivado de residuos y biogás.
- La capacidad de las plantas puede variar de 10 000 a 250 000 toneladas anuales de residuos.

Beneficios

- Las plantas de MBT están diseñadas para procesar los residuos residenciales mezclados, así como residuos comerciales e industriales.
- Se logra valorizar materiales que no fueron separados desde la fuente y evitar que se pierdan en la corriente de residuos hacia el relleno sanitario.
- Las plantas pueden ser modulares.
- Generación de subproductos valorizables.



Contexto en el que sería útil

- Municipalidades o federaciones de municipalidades con generaciones de residuos de medio a alto (mínimo 27 toneladas diarias), ya sea urbanas y/o rurales.

Nivel típico de inversión

- Costo de inversión medio.
- Costo de operación alto.

Requisitos necesarios para implementarla

- Consumo de electricidad.
- Clientes para los productos generados.
- Instalaciones techadas.

A.1.B.4 Modernización de los vehículos de recolección

¿En qué consiste?

- Sustitución de los vehículos destinados al servicio de gestión de residuos por vehículos más eficientes y con mejores controles de emisiones.
- Las nuevas tecnologías vehiculares han avanzado a puntos en los cuales el rendimiento de los vehículos es mayor y sus emisiones contaminantes son menores (especialmente material particulado y óxidos de nitrógeno).

Beneficios

- Reducción en consumo de combustible y su consecuente ahorro de dinero.
- Reducción en emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación local.
- Menor ruido por exigencias de fabricación más rigurosas.

Contexto en el que sería útil

- Para cualquier municipalidad en el país que cuente con flota propia.
- Se puede exigir en los contratos a los proveedores de servicios que utilicen vehículos modernos con mejores condiciones.

Nivel típico de inversión

- Costo de inversión de medio a alto (por cambio de flota).

Requisitos necesarios para implementarla

- Conocimiento en distintas normativas sobre vehículos.
- Establecimiento de las condiciones en los contratos públicos.



A.1.B.5 Relleno sanitario con aprovechamiento de gas

¿En qué consiste?

- Tratamiento anaeróbico de los residuos sólidos municipales mezclados. Está diseñado para capturar los gases que se forman en la descomposición de los residuos (metano, CO₂ y otros gases traza) y aprovechar este gas para la generación de electricidad o para ser utilizado como un sustituto de combustibles fósiles en procesos de combustión.

Beneficios

- Mejor manejo ambiental (agua, ruido, GEI) y de vectores y enfermedades.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por el aprovechamiento y canalización del metano.
- Posible venta de electricidad a la red. Esta sería una fuente fija debido a que se espera que la producción de residuos crezca conforme crece el poder adquisitivo de la población.
- Los rellenos sanitarios tienen una amplia vida útil.

Contexto en el que sería útil

- Municipalidades o federaciones de municipalidades con generaciones de residuos altas.
- Rellenos sanitarios grandes (mayores a 100 000 toneladas anuales).

Nivel típico de inversión

- Costos de inversión altos.
- Costos de operación altos.

Requisitos necesarios para implementarla

- Capacidad técnica sobre el diseño y operación de rellenos sanitarios.
- Información sobre caracterización, composición y generación de residuos.
-





**Programa País
CARBONO
NEUTRALIDAD**
Oficial del Gobierno de Costa Rica

**PARA MAYOR INFORMACIÓN CONTACTAR A LA DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO
DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA (MINAE).**

Teléfonos: 2253-4298 / 2253-4295 / 2234-0076

Fax: 2253-4298 / 2253-4295 / 2234-0076

programapais.dcc@minae.go.cr

Apartado Postal: 10104-1000 San José, Costa Rica

www.minae.go.cr • www.cambioclimaticocr.com  [/dccCostaRica](https://www.facebook.com/dccCostaRica)

